

Análise bibliométrica sobre Indústria 4.0

Vander Luiz da Silva, João Luiz Kovaleski, Regina Negri Pagani, Jaqueline de Matos Silva

Resumo: Este estudo tem como foco uma importante abordagem de configuração industrial, o conceito de Indústria 4.0, e tem por objetivo apresentar análise bibliométrica de principais dados sobre Indústria 4.0. Portanto, sua finalidade é fornecer uma visão ampla desse conceito. Uma revisão sistemática da literatura foi realizada, adotando um procedimento estruturado, nas bases de dados Scopus e Web of Science. Um portfólio de artigos distintos de Periódicos foi obtido e analisado. A abrangência dos artigos analisados é atual, apresentando estudos recentes de 2018 (479 artigos) e 2019 (449 artigos), principalmente. Este estudo buscou fornecer uma visão macro sobre Indústria 4.0, apresentando definições, principais tecnologias, Periódicos com resultados de publicações, termos mais frequentes e autores.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Fabricação digital, Empresa.

Bibliometrics analysis on Industry 4.0

Abstract: This study focus on an important industrial configuration approach, the concept of Industry 4.0, and aims to present bibliometrics analysis from main data on Industry 4.0. Therefore, its purpose is to provide a broad view of this concept. A systematic literature review was carried out, adopting a structured procedure, based on bibliographical data from Scopus and Web of Science. A distinct articles portfolio of Journals was obtained and analyzed. Analyzed articles' range is current, presenting recent 2018 studies (479 articles) and 2019 (449 articles), mainly. This study aimed to provide a macro view on Industry 4.0, presenting definitions, main technologies, Journals with higher results of publications, more frequent terms and authors.

Key-words: Industry 4.0, Digital manufacturing, Enterprise.

1. Introdução

A Indústria 4.0 é um conceito amplo que engloba uma diversidade de tecnologias, sistemas, procedimentos e integra uma variedade de recursos visando tornar os processos produtivos mais autônomos, dinâmicos (TORTORELLA; FETTERMANN, 2017), flexíveis e precisos.

Na Indústria 4.0, o processo além de ser automatizado também apresenta operações de digitalização (integração homem-máquina, máquina-máquina, rede-máquina, entre outras interfaces). Este conceito requer a integração efetiva de tecnologias físicas e digitais com outros recursos diversos (pessoas, sistemas e tecnologias) (HADDARA; ELRAGAL, 2015).

A Indústria 4.0 já é uma realidade em países desenvolvidos como a Alemanha, no entanto, no Brasil e também em outros países emergentes, muito ainda está sendo discutido nos congressos de especialistas científicos sobre as implicações da Indústria 4.0 no contexto industrial.

Uma análise bibliométrica foi realizada sobre a Indústria 4.0, tendo como base dados bibliográficos de duas bases de dados, a Scopus e Web of Science. O objetivo deste estudo é fornecer uma visão ampla deste conceito aos interessados.

2. Referencial teórico

O conceito de Indústria 4.0 foi discutido apresentado e discutido pela primeira vez na Alemanha durante a feira de tecnologia Hanôver, no ano de 2011. Os termos mais discutidos no mundo como referência ao conceito são Indústria 4.0 nos idiomas de inglês e alemão (DRATH; HORCH, 2014; WANG et al., 2016), Quarta Revolução Industrial (PARK et al., 2017), além de Indústria Inteligente.

Segundo o Ministério Federal de Economia e Energia da Alemanha (BMW i) (2018), Indústria 4.0 é definida como uma rede inteligente de máquinas e processos industriais, estruturada por tecnologias de informação e comunicação para conectividade física e digital de recursos. Máquinas e equipamentos, processos e produtos trocam dados e mantêm uma comunicação técnica constante, tanto na indústria como entre diferentes empresas.

Na Indústria 4.0 há uma melhoria na automação, aumento da digitalização de processos e produtos e a interconexão de vários recursos. Isso resulta na aproximação de ambientes físicos e virtuais (LEYH *et al.*, 2017). De acordo com Leyh *et al.* (2017, p. 105):

“A Indústria 4.0 descreve a transição da produção centralizada para uma que é muito flexível e autocontrolada. Nesta produção, os produtos e todos os sistemas afetados, bem como todas as etapas do processo da engenharia, são digitalizados e interconectados para compartilhar e transmitir informações e distribuí-las pelas cadeias de valor verticais e horizontais”.

A Indústria 4.0 abrange três dimensões principais, varredura avançada, produção inteligente e conectividade digital comercial (MÜLLER; BULIGA; VOIGT, 2018). Portanto, é necessário interconectar máquinas e equipamentos / produtos por meio de sensores, atuadores, inteligência artificial, internet, entre outros recursos tecnológicos, com o objetivo de criar cenários propícios para a digitalização e conectividade de dados. As principais tecnologias da Indústria 4.0 estão descritas no Quadro 1.

Tecnologia	Definição
Sistema Cibernético Físico (CPSs)	São sistemas de engenharia multidisciplinares, constituídos por tecnologias nas áreas de computação, comunicação e automação industrial (LIU et al., 2017).
Internet das Coisas (IoT)	É um tipo de rede usada para conectar objetos e coisas à rede, fornecendo transmissão e processamento confiáveis de dados e informações (LIU et al., 2017).
Maior volume de dados - Big Data	Big Data é um conjunto de dados processados com tecnologia analítica, que inclui dados não estruturados e sem formatos compatíveis, como dados de serviços de redes sociais, dados de blogs, dados de notícias e fotos, entre outros elementos (PARK et al., 2017).
Computação em nuvem	Permite o acesso ao software e armazenamento de dados na representação em nuvem da Internet. Os serviços são fornecidos por meio de centros comuns criados em servidores para usuários (MALATHI, 2011).
Ciber segurança	Refere-se à confiabilidade, integridade e disponibilidade de dados e informações em tempo real (LEE, 2015).
Realidade aumentada	Consiste no conceito de realidade virtual com dados de cenários do mundo real. É possível maximizar as características de componentes e peças para os usuários (WEHLE, 2016)

Tecnologia	Definição
Simulação	A simulação é o processo de criar e projetar um sistema real ou imaginário usando modelos físicos ou matemáticos, ou modelos de outro tipo, para modelagem, a fim de avaliar e prever o comportamento do sistema (RODIČ, 2017).
Robôs	Os robôs são máquinas desenvolvidas com o objetivo de executar tarefas específicas de forma autônoma ou por meio de comandos de controle remoto (ULLAH et al., 2016).

Quadro 1. Principais tecnologias da Indústria 4.0.

Essas tecnologias são essenciais para a Indústria 4.0, pois através delas é possível realizar a integração de recursos físicos e digitais e aproximar o cenário virtual na Indústria. Silva, Kovalski e Pagani (2018) apresentam um agrupamento de tecnologias-chave da Indústria 4.0 (Quadro 2).

Tecnologia para análise de dados	
Elevado volume de dados - <i>Big Data</i>	Almada-Lobo (2015), Rüßmann et al. (2015) Assad neto et al. (2017), Grieco et al. (2017), Tjahjono et al. (2017), Witkowski (2017), Zhong et al. (2017), Kayikci (2018)
Mineração de dados - <i>Data mining</i>	Trstenjak and Cosic (2017)
Tecnologia para armazenamento e distribuição de dados	
Computação em nuvem - <i>Cloud computing</i>	Almada-Lobo (2015), Rüßmann et al. (2015) Reddy et al. (2016), Assad neto et al. (2017) Chen (2017) Majeed and Rupasinghe (2017), Tjahjono et al. (2017) Kayikci (2018), Molka-Danielsen, Engelseth, Wang (2018)
Tecnologias para visualizar e analisar cenários	
Realidade aumentada - <i>Augmented reality</i>	Rüßmann et al. (2015) Assad neto et al. (2017) Tjahjono et al. (2017), Kayikci (2018)
Simulação - <i>Simulation</i>	Rüßmann et al. (2015), Grieco et al. (2017) Mohammed and Ahmed (2017)
Realidade virtual - <i>Virtual reality</i>	Assad neto et al. (2017) Tjahjono et al. (2017)
Tecnologia para automação e digitalização de processos	
Robôs autônomos - <i>Autonomous robots</i>	Rüßmann et al. (2015)
Sistemas automatizados - <i>Automation systems</i>	Dossou and Nachidi (2017)
Softwares de Inteligência artificial - <i>Artificial Intelligence</i>	Mohammed and Ahmed (2017) Tjahjono et al. (2017)
Sistema Cibernético Físico - <i>Cyber-Physical System</i>	Davis et al. (2012) Ivanov and Sokolov (2012) Neugebauer et al. (2016) Reddy et al. (2016) Assad neto et al. (2017) Bogataj et al. (2017) Chen (2017) Trstenjak and Cosic (2017) Molka-Danielsen, Engelseth, and Wang (2018) Tuptuk and Hailes (2018)

Robôs - <i>Robots</i>	Chen (2017) Dossou and Nachidi (2017) Tjahjono et al. (2017) Dieber, Schlotzhauer, and Brandstötter (2018) Kayikci (2018)
Veículos autônômicos - <i>Vehicles autonomous</i>	Chen (2017)
Tecnologia digital e rede	
Internet das Coisas - <i>Internet of Things</i>	Rüßmann et al. (2015) Byrne et al. (2016) Neugebauer et al. (2016) Assad neto et al. (2017) Barreto, Amaral, and Pereira (2017) Bogataj et al. (2017) Dossou and Nachidi (2017) Jensen and Remmen (2017) Majeed and Rupasinghe (2017) Shamim et al. (2017) Tjahjono et al. (2017) Witkowski (2017) Zhong et al. (2017) Abdel-Basset, Manogaran, and Mohamed (2018) Kayikci (2018) Molka-Danielsen, Engelseth, and Wang (2018)
Integração <i>Machine-to-Machine</i>	Tjahjono et al. (2017)
Redes sem fio - <i>Wireless networks</i>	Bogataj et al. (2017) Chen (2017) Zhong et al. (2017)
Tecnologia para segurança de dados e informações	
Ciber segurança - <i>Cyber security</i>	Annunziata and Biller (2014) Rüßmann et al. (2015) Mohammed and Ahmed (2017) Tjahjono et al. (2017) Tuptuk and Hailes (2018)
Protocolo IPv6	Chen (2017)
Technology: Data collection and control device	
Aplicativos e dispositivos móveis	Davis et al. (2012) Bogataj et al. (2017)
Sistemas RFID	Chen (2017) Majeed and Rupasinghe (2017) Tjahjono et al. (2017)
Sensores	Bogataj et al. (2017) Chen (2017) Majeed and Rupasinghe (2017) Kayikci (2018)
Technology: manufacturing system	
Manufatura aditiva - <i>Additive manufacturing</i>	Rüßmann et al. (2015) Tjahjono et al. (2017)
Integração digital de sistemas horizontais e verticais	Rüßmann et al. (2015) Grieco et al. (2017)
Impressão em 3D - <i>3D printing</i>	Tjahjono et al. (2017) Kayikci (2018)

Fonte. Silva, Kovalski e Pagani (2018)

Quadro 2. Tecnologias da Indústria 4.0.

3. Metodologia

Foi elaborada uma revisão sistemática da literatura, adotando protocolos estruturados, constituídos pelas seguintes etapas (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015; 2018):

- Etapa 1. Estabelecimento do objetivo da pesquisa;
- Etapa 2. Pesquisa preliminar por palavras-chave e bases de dados;
- Etapa 3. Definição certa de palavras-chave ("Indústria 4.0"), base de dados bibliográficos (Scopus e Web of Science), critérios básicos de pesquisa (palavras-chave inseridas em "Title-Abstract-Keywords" dos artigos) e delimitação temporal (período de pesquisa "all years" ≤ agosto de 2019).
- Etapa 4. Execução de buscas por artigos nas bases de dados: a busca e a respectiva coleta de dados foram realizadas utilizando o gerenciador de referências Mendeley;
- Etapa 5. Procedimentos de filtragem de artigos: no gerenciador de referência Mendeley, os artigos duplicados foram excluídos. Posteriormente, artigos fora do escopo são eliminados baseando-se nas leituras de títulos e resumos. Após a aplicação dos procedimentos de filtragem, os artigos foram exportados para o gerente JabRef, cuja função era fazer uma lista de artigos organizados em planilha.
- Etapa 6. Identificação do fator de impacto, o ano de publicação e o número de citações, respectivamente, para cada artigo da etapa anterior. O fator de impacto foi pesquisado nos sites Clarivate Analytics - Web of Science ou CiteScore da Scopus;
- Etapa 7. Cálculo de valores de InOrdinatio para obtenção de um portfólio de artigos (ordenação de artigos conforme fator de impacto, número de citações e ano de publicação). Esta etapa permite a ordenação dos artigos de acordo com a relevância científica. Junto com os resultados de InOrdinatio, o pesquisador também pode selecionar artigos baseando-se no tema abordado.
- Etapa 8. Identificação e obtenção dos artigos selecionados em formato de texto completo, e;
- Etapa 9. Leitura e análise sistemática: todos os artigos selecionados foram analisados na íntegra.

Devido ao fato de este estudo apresentar apenas dados bibliométricos, as etapas 6, 7, 8 e 9 de Pagani, Kovaleski e Resende (2015) não foram executadas. Portanto, na análise, todos os artigos de periódicos foram considerados.

4. Resultados e discussão

4.1 Bibliometria

Os resultados da pesquisa para a respectiva palavra-chave em cada uma das duas bases de dados estão descritos na Tabela 1.

Palavra-chave	Base de dados		Total
	Scopus	Web of Science	
"Industry 4.0"	2.000	1.321	3.321 articles

Tabela 1. Resultados brutos de artigos.

A base de dados Scopus apresentou maior representatividade de artigos sobre o tema pesquisado, seguida da Web of Science. Foi obtido um total de 3.321 artigos nas duas bases. Os procedimentos de filtragem aplicados estão descritos na Tabela 2.

Procedimento	Total bruto de artigos	Total de artigos após procedimento
Eliminar artigos duplicatos	3.321	2.444
Eliminar capítulos de livros	2.444	2.418
Eliminar artigos de conferências	2.418	1.469

Table 2. Resultados de artigos após filtrações.

O total de 1.469 artigos de revistas foi selecionado para análise bibliométrica. Os respectivos anos de publicações são apresentados na Figura 1.

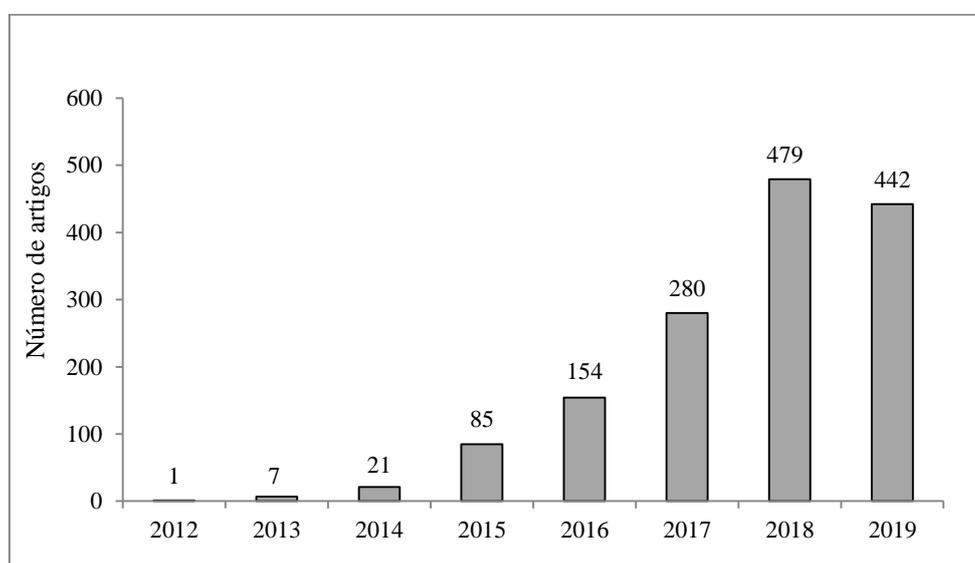


Figura 1 - Anos de publicações dos artigos de periódicos. Período pesquisado: "all years" ≤ agosto de 2019.

Os artigos analisados são atuais, apresentando-se estudos recentes de 2018 (479 artigos) e 2019 (449 artigos), principalmente. Cabe ressaltar que, durante o período da pesquisa, o ano de 2019 foi incompleto, passando de janeiro a agosto.

Os principais periódicos dos artigos, classificados de acordo com a frequência de publicação são apresentados na Tabela 3.

Periódico	Número de artigos
ATP Edition	86
Zwf Zeitschrift Fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb	56
Advances in Intelligent Systems and Computing	55
IFIP Advances in Information and Communication Technology	43
Procedia Manufacturing	32
Lecture Notes in Computer Science	31
Lecture Notes in Mechanical Engineering	31
IFAC Papers Online	27

Periódico	Número de artigos
Studies in Systems, Decision and Control	27
Communications in Computer and Information Science	19
IEEE Access	19
International Journal of Production Research	19
Sustainability	18
Dyna	16
Computers in Industry	15
Elektrotechnik und Informationstechnik	16
Fleischwirtschaft	14
Lecture Notes in Business Information Processing	13
Social Sciences	13
Stahl Und Eisen	13
Studies in Computational Intelligence	13
Productivity Management	12
Wt Werkstattstechnik	12
Benchmarking	10
Manufacturing Letters	10
Processes	10
Lecture Notes in Networks and Systems	9
Manufacturing Engineering	9
Technological Forecasting and Social Change	9
Zkg International	9
IEEE Engineering Management Review	8
Sensors	8
Brazilian Journal of Operations & Production Management	7
Journal of Manufacturing Technology Management	7
Process Safety and Environmental Protection	7

Tabela 3. Principais periódicos e frequência de publicação.

Os autores com maiores representatividades, em número de publicações sobre Indústria 4.0, são apresentados na Figura 2.

5. Conclusões

Este estudo teve como objetivo fornecer uma visão macro da Indústria 4.0, apresentando definições, principais tecnologias, revistas com maiores volumes de publicações, autores e palavras-chave mais frequentes.

O objetivo é auxiliar os pesquisadores interessados na indústria 4.0 a entender significados e gerar temas para pesquisas futuras.

Referência

BMW - Federal Ministry of Economy and Energy of Germany. **Was ist Industrie 4.0?, 2018**. Accessed 20 August 2018, available from: <https://www.plattform40.de>.

DRATH, R.; HORCH, A. *Industrie 4.0: Hit or Hype?*. **IEEE industrial electronics magazine**, p. 56-58, 2014.

HADDARA, M.; ELRAGAL, A. *The Readiness of ERP Systems for the Factory of the Future*. **Procedia Computer Science**, v. 64, p. 721-728, 2015.

LEE, E. A. *The past, present and future of Cyber-Physical Systems: a focus on models*. **Sensors**, v. 15, p. 4837-4869, 2015.

LEYH, C.; BLEY, K.; SCHÄFFER, T.; BAY, L. **The Application of the Maturity Model SIMMI 4.0 in Selected Enterprises**, 2017.

LIU, Y.; PENG, Y.; WANG, B.; YAO, S.; LIU, Z. *Review on Cyber-physical Systems*. **Journal of Automatica Sinica**, v. 4, n. 1, p. 27-40, 2017.

MALATHI, M. *Cloud computing concepts*. **IEEE**, p. 236-239, 2011.

MÜLLER, J. M.; BULIGA, O.; VOIGT, K. I. *Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0*. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 132, p. 2-17, 2018.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ci.Inf.**, Brasília, v. 46, n. 2, p. 161-187, 2018.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. *Methodi ordinatio®: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication*. **Scientometrics**, Springer, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015.

PARK, S. H.; SHIN, W. S.; PARK, Y. H.; LEE, Y. *Building a new culture for quality management in the era of the Fourth Industrial Revolution*. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 28, n. 9, p. 934-945, 2017.

RODIČ, B. *Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm*. **Oganizacija**, v. 50, n. 3, p. 193-207, 2017.

TORTORELLA, G. L.; FETTERMANN, D. *Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies*. **International Journal of Production Research**, 2017.

ULLAH, M. I.; AJWAD, S. A.; IRFAN, M.; IQBAL, J. *Non-linear Control Law for Articulated Serial*. **Elektronika ir Elektrotechnika**, v. 22, n. 1, 1-5, 2016.

WANG, W.; ZHU, X.; WANG, L.; QIU, Q.; CAO, Q. *Ubiquitous robotic technology for smart manufacturing system*. **Computational Intelligence and Neuroscience**, 2016.

WEHLE, H. D. **Augmented Reality and the Internet of Things (IoT)**, 2016.