

Análise bibliométrica da produção científica da indústria 4.0 e sua relação com a indústria calçadista

A bibliometric analysis of the scientific production of industry 4.0 and its relationship with the footwear industry

Análisis bibliométrico de la producción científica de la industria 4.0 y su relación con la industria del calzado

Recebido: 13/05/2021 | Revisado: 20/05/2021 | Aceito: 24/05/2021 | Publicado: 08/06/2021

Frederico Romel Maia Tavares

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5156-2167>
Universidade Regional do cariri, Brasil
E-mail: prof_fred@hotmail.com

Francisco Bruno Juvino Da Cruz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6622-7783>
Universidade Regional do cariri, Brasil
E-mail: cruzbruno596@gmail.com

Caio Vinicius De Araujo Ferreira Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4952-2454>
Universidade Regional do cariri, Brasil
E-mail: caioviniciusa2@gmail.com

Caio Vinicius De Araujo Ferreira Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4952-2454>
Universidade Regional do cariri, Brasil
E-mail: caioviniciusa2@gmail.com

José Francisco De Sousa Figueredo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1772-0878>
Universidade Regional do cariri, Brasil
E-mail: jfengenharia56@gmail.com

Resumo

Este artigo buscou mostrar o crescimento da produção científica e mapear os principais estudos referentes à indústria 4.0 nos últimos cinco anos, evidenciando as suas principais características e tecnologias. O trabalho mostrou a relação do tema com uma das indústrias mais tradicionais e responsáveis pelo desenvolvimento regional em diversos países, a indústria de calçados. O trabalho também revelou a relação com a indústria 4.0 mostrando que existem ainda lacunas, e possibilidades de estudos promissores envolvendo os temas principalmente na área de design para indústria calçadista. A pesquisa foi realizada na base Web of Science a qual apontou os principais artigos publicados no período. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura que juntamente com o auxílio da técnica bibliométrica, permitiu mostrar a ascendência dos temas estudados. É possível afirmar que o tema indústria 4.0 tem cada vez mostrado a sua relevância com o crescimento das pesquisas. O engajamento da indústria de calçados com a implementação de ferramentas da indústria 4.0 pode vir a permitir avanços na formulação de estratégias competitivas para o setor.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Indústria calçadista; Bibliometria; Análise sistemática.

Abstract

This article sought to show the growth of scientific production and to map the main studies referring to industry 4.0 in the last five years, highlighting its main characteristics and technologies. The work showed the relationship of the theme with one of the most traditional industries responsible for regional development in several countries, the footwear industry. The work also revealed the relationship with industry 4.0, showing that there are still gaps, and possibilities for promising studies involving themes mainly in the area of design for the footwear industry. The research was carried out on the Web of Science database, which pointed out the main articles published in the period. A systematic review of the literature was carried out to show the ancestry of the studied themes. It is possible to affirm that the theme of industry 4.0 has increasingly shown its relevance with the growth of research. The engagement of the footwear industry with the implementation of industry 4.0 tools may allow advances in the formulation of competitive strategies for the sector.

Keywords: Industry 4.0; Footwear industry; Bibliometrics; Systematic analysis.

Resumen

Este artículo buscó mostrar el crecimiento de la producción científica y mapear los principales estudios cinco años, destacando sus principales características y tecnologías. El trabajo mostró la relación del tema con una de las industrias más tradicionales responsable del desarrollo regional en varios países, la industria del calzado. El trabajo también reveló la relación con la industria 4.0, mostrando que aún existen brechas y posibilidades de estudios prometedores que involucren temas principalmente en el área del diseño para la industria del calzado. La investigación se llevó a cabo en la base de datos Web of Science, que señaló los principales artículos publicados en el período. Se realizó una revisión bibliográfica sistemática que, junto con la ayuda de la técnica bibliométrica, permitió evidenciar la ascendencia de los temas estudiados. Es posible afirmar que el tema de la industria 4.0 ha mostrado cada vez más su relevancia con el crecimiento de la investigación. El compromiso de la industria del calzado con la implementación de herramientas de la industria 4.0 puede permitir avances en la formulación de estrategias competitivas para el sector.

Palabras clave: Industria 4.0; Industria del calzado; Bibliometría; Análisis sistemático.

1. Introdução

As revoluções industriais ocorrem à medida que surgem novos avanços tecnológicos significativos e são adotados pelas fábricas, mudando assim toda a dinâmica produtiva. A primeira revolução industrial foi à passagem do processo de fabricação artesanal para o uso de máquinas a vapor. Em seguida, veio à segunda revolução, a qual foi marcada pela utilização da energia elétrica, combustíveis derivados do petróleo e a invenção do motor a explosão. Já a terceira revolução industrial foi definida, principalmente, pela adoção do computador.

Nesse contexto, muito ainda se discute sobre o que seria a quarta revolução industrial ou Indústria 4.0, quais as tecnologias que a compõem, bem como os benefícios que trará. Para Bär et al., (2018), ainda não existe um único conceito acerca da quarta revolução industrial, porém, a literatura ressalta o impacto na indústria e na concorrência internacional que as tecnologias que a integram acarretam. Assim, segundo Lasi et al., (2014), uma possível definição é que a indústria 4.0 é a adoção ao processo produtivo a combinação dos avanços tecnológicos baseados na integração da internet com dispositivos físicos atendendo a demanda dos clientes bem como a escassez dos recursos.

Diversos setores industriais já iniciaram a implementação dos conceitos e tecnologias referente à atual revolução industrial, entre elas a tradicional indústria de calçados a qual possui sua produção baseada em grande parte no trabalho manual, assim, exigindo uma grande quantidade de mão-de-obra. Essas novas tecnologias empregadas podem revolucionar o modo de produção com emprego de ferramentas como: análise de *big data*, CPS - *Cyber Physical System*, IoT - *Internet of Things*, impressão e *scanner 3d*, dentre outras. A indústria calçadista atua em um ambiente muito competitivo, e muitas dessas ferramentas podem promover o aumento dessa competitividade proporcionada pela redução de custos de produção, redução de mão-de-obra, redução no tempo de produção entre outros como ressaltam trabalhos recentes sobre o tema (Bai et al., 2020; Chang, 2020; Di Roma, 2017; Garzoni et al., 2020; Janson et al., 2019).

A análise bibliométrica é uma ferramenta robusta que possibilita o mapeamento e análise do desempenho acadêmico possibilitando entender a correlação entre os autores, disciplinas e estudos. Logo, esta ferramenta tem se tornado cada vez mais popular, visto que ela possibilita a obtenção de insights do meio acadêmico. (Gil et al., 2020; Kipper et al., 2020).

Este artigo tem por objetivo mapear os temas mais abordados nos últimos 5 (cinco) anos a respeito da indústria 4.0, mostrar a sua relação com a indústria de calçados e propor caminhos para pesquisas futuras correlacionando os dois temas.

2. Metodologia

O artigo caracterizasse como uma pesquisa quantitativa. Segundo Pereira et al. (2018), o método quantitativo trabalha com um grande fluxo de dados quantitativos ou numéricos que se utilizando de técnicas matemáticas para possibilitar análises detalhadas e previsões de acontecimentos.

A revisão sistemática da literatura é uma ferramenta de pesquisa que tem por objetivo encontrar contribuições científicas expandindo o banco de dados bibliográficos do pesquisador relacionado ao assunto, assim, evitando reinvenções de soluções já existentes. (Gil *et al.*, 2020).

Neste presente artigo foi selecionado um método de revisão sistemática da literatura. Esse método ajudou a obter informações importantes sobre a Indústria 4.0 e a sua relação com a indústria de calçados. Para realizar a pesquisa, foi necessário utilizar a base de dados Web of Science referente aos últimos cinco anos.

Após os primeiros refinamentos foram escolhidos os 20 principais artigos referentes à indústria 4.0 tomando como critério de escolha o número de citações. Em seguida, foi realizado o mapeamento dos principais assuntos de interesse separados por clusters com o auxílio de software *VOSViewer* e uma descrição dos assuntos por periódicos.

Finalmente, fizemos um segundo refino na base de dados buscando identificar a relação entre a indústria 4.0 e a indústria de calçados. Após isso, foi realizado um mapeamento para identificar os principais assuntos de interesse, separados por *cluster* utilizando o software *VOSViewer*.

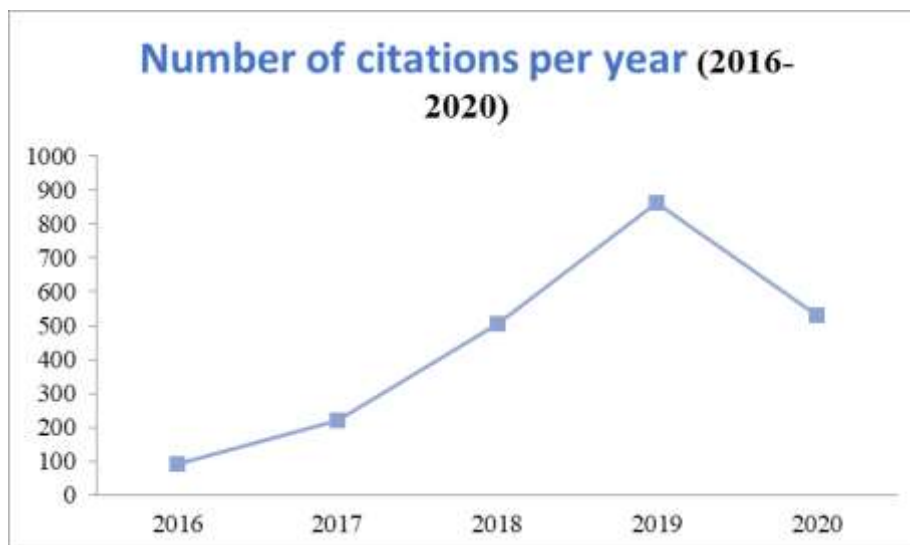
3. Revisão Sistemática da Literatura – Indústria 4.0

A indústria 4.0 tem se tornado objeto de estudos, intensificados nos últimos 5 anos, a partir da disseminação dos seus conceitos. Conforme Lasi *et al.*, (2014), a evolução da industrialização passa por o que hoje se define como indústria 4.0 na visão de produção futura com sistemas de fabricação modulares e eficientes caracterizados por processos dos quais o controle da produção com amparo tecnológico se torna cada vez mais presente.

Inicialmente foi realizada uma busca na base de dados da *Web of Science*, usando apenas o tópico “*Industry 4.0*”, revelando um total de 4.495 documentos publicados, considerando todo o período da base de dados até a data da busca. A produção técnica-científica com a temática indústria 4.0 iniciou-se em 2013 com apenas 01 artigo publicado, porém, foi apenas em 2017 que a produção ganhou destaque com um aumento de mais de 200% em relação ao ano anterior.

A revisão sistemática da literatura foi preparada buscando identificar o grau de relevância do assunto presente nas pesquisas realizadas, as principais palavras-chaves e características, possibilitando assim apontar aspectos relevantes na área e potenciais linhas de pesquisa. O primeiro filtro empregado limitou a pesquisa para os documentos publicados nos últimos cinco anos, mostrando um crescimento significativo no número de citações, conforme mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1. Número de citações.



Fonte: *Web of Science* (2020).

Vale a pena salientar que quando foi feita a análise referente às áreas do conhecimento as informações gerais da amostra indicam uma dispersão, isso é indicativo da proporção que o estudo sobre indústria 4.0 já alcançou desde 2013. A Tabela 1 mostra a distribuição de citações por campo do conhecimento destacando-se: Engineering electrical electronic, Engineering industrial, Engineering manufacturing. Citações nos campos de: Engineering industrial, Engineering manufacturing. Além de citações nos campos operations research management, engineering multidisciplinar e management, mostram a importância do projeto proposto.

Tabela 1. Distribuição de citações por campo do conhecimento.

Campo: Categorias da Web of Science	Contagem do registro	% de 4,495
ENGINEERING ELECTRICAL ELECTRONIC	909	20.222 %
ENGINEERING INDUSTRIAL	706	15.706 %
ENGINEERING MANUFACTURING	671	14.928 %
AUTOMATION CONTROL SYSTEMS	531	11.813 %
COMPUTER SCIENCE THEORY METHODS	470	10.456 %
COMPUTER SCIENCE INFORMATION SYSTEMS	413	9.188 %
COMPUTER SCIENCE INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS	371	8.254 %
COMPUTER SCIENCE ARTIFICIAL INTELLIGENCE	361	8.031 %
TELECOMMUNICATIONS	323	7.186 %
OPERATIONS RESEARCH MANAGEMENT SCIENCE	270	6.007 %
ENGINEERING MULTIDISCIPLINARY	245	5.451 %
MANAGEMENT	231	5.139 %
ENGINEERING MECHANICAL	171	3.804 %

Fonte: Web of Science (2020).

Após sete anos da introdução do termo “indústria 4.0” algumas obras destacaram-se por ter mais influência em decorrência da quantidade de citações que receberam de outros documentos. Desse modo, o artigo mais citado foi Industry 4.0 (Lasi et al., 2014) publicado na *Busines & Information Systems* com o total de 18.714 citações.

Posteriormente um segundo filtro foi adicionado para permitir foco nos artigos relacionados com a pesquisa proposta. Seleccionadas como categorias da *Web of Science: Engineering industrial, regional urban planning, Engineering manufacturing, Operations research, Management science, Management or business, Economics e industrial relations labor*. O resultado apontou um total de 76 artigos, nos quais os 20 mais citados estão dispostos no quadro abaixo:

Quadro 1. Artigos em ordem de número de citações.

Nº	Artigo	Autor/Ano	Revista
01	Business model innovation in small- and medium-sized enterprises Strategies for industry 4.0 providers and users	Mueller, Julian Marius (2019).	Journal of manufacturing technology management
02	Identifying Industry 4.0 IoT enablers by integrated PCA-ISM-DEMATEL approach	Rajput, Shubhangini; Singh, Surya Prakash (2019).	Management decision
03	Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context A business model proposal	Por: Mattos Nascimento, Daniel Luiz; Alencastro, Viviam; Goncalves Quelhas, Osvaldo Luiz; et al. (2019).	Journal of manufacturing technology management
04	Knowledge management, decision-making style and organizational performance	Abubakar, Abubakar Mohammed; Elrehail, Hamzah; Alatailat, Maher Ahmad; et al. (2019)	Journal of innovation & knowledge
05	Towards Industry 4.0 Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration	Ardito, Lorenzo; Petruzzelli, Antonio Messeni; Panniello, Umberto; et al. (2019)	Business process management journal
06	Considering Industry 4.0 aspects in the supply chain for an SME	Bar, Kristina; Herbert-Hansen, Zaza Nadja Lee; Khalid, Waqas (2018).	Production engineering-research and development
07	Complexity reduction in engineer-to-order industry through real-time capable production planning and control	Rauch, Erwin; Dallasega, Patrick; Matt, Dominik T.(2018)	Production engineering-research and development
08	The impact of marketing innovation on the competitiveness of enterprises in the context of industry 4.0	Ungerman, Otakar; Dedkova, Jaroslava; Gurinova, Katerina (2018)	Journal of competitiveness
09	What do we know about manufacturing reshoring?	Barbieri, Paolo; Ciabuschi, Francesco; Fratocchi, Luciano; et al (2018)	Journal of global operations and strategic sourcing
10	How does Industry 4.0 contribute to operations management?	Fettermann, Diego Castro; as Cavalcante, Caroline Gobbo; de Almeida, Tatiana Domingues; et al. (2018)	Journal of industrial and production engineering
11	Additive manufacturing in the wood-furniture sector: Sustainability of the technology, benefits and limitations of adoption	Murmura, Federica; Bravi, Laura (2018)	Journal of manufacturing technology management
12	Procurement 4.0: factors influencing the digitisation of procurement and supply chains	Bienhaus, Florian; Haddud, Abubaker (2018)	Business process management journal
13	Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries	Lugert, Andreas; Batz, Aglaya; Winkler, Herwig (2018)	Journal of manufacturing technology management
14	Sustainable industrial value creation: benefits and challenges of industry 4.0	Kiel, Daniel; Mueller, Julian M.; Arnold, Christian; et al. (2017)	International journal of innovation management

digitalização e uso de ferramentas de tecnologia da informação, mas que não se limitam em suas utilizações. Dentre essas tecnologias é possível destacar: *Big data & analytics*, *internet of things*, *Cyber Physical Systems – CPS*, robôs autônomos, simulação e realidade aumentada (Lu, 2017; Wang & Wang, 2016). A Tabela 2, evidencia as principais tecnologias utilizadas pela indústria 4.0.

Tabela 2. Principais tecnologias da indústria 4.0.

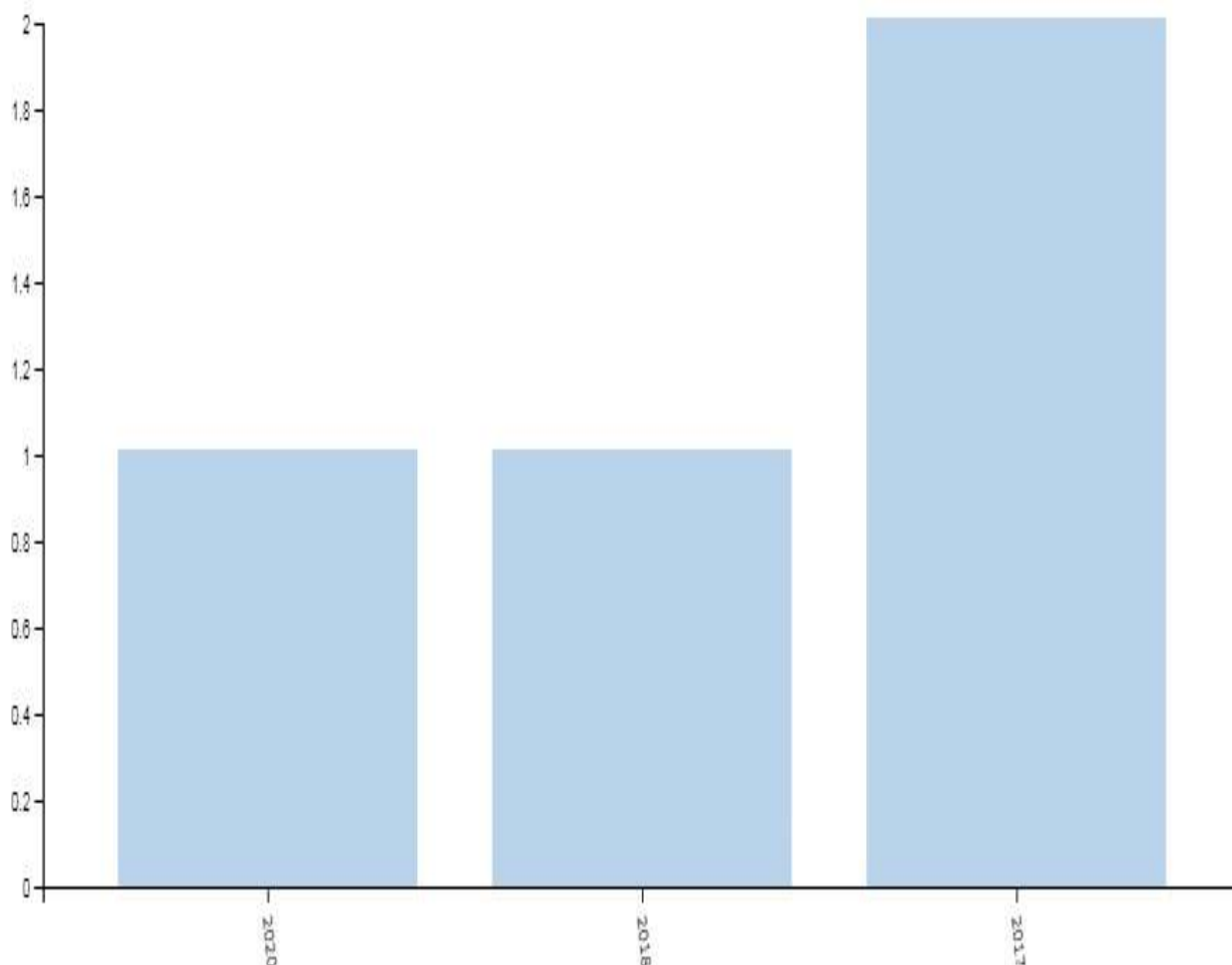
Tecnologias	Definição	Autor
Internet of things (IoT)	A IoT refere-se a interconexão entre o ambiente físico e o digital, por meio de sensores e softwares que conduzem a conectividade. Permite que objetos e mecanismos sejam detectados em meio à produção fornecendo uma linha de produção mais eficiente e autônoma.	KANG,2016
Big Data & Analytics	É um sistema de análise de dados com características específicas em termos de precisão, quantidade, velocidade, valor e diversidade, que tem como objetivo capturar, transmitir, compartilhar e armazenar dados em diferentes ambientes e cenários apresentados. Desempenha um papel importante na otimização da qualidade e melhoria das atividades de produção na Indústria 4.0.	WANG, 2016; LIU E XUN, 2017
Cyber Physical Systems – CPS	O CPS é a integração de processos físicos com processos computacionais. Computadores incorporados e redes de comunicação monitoram (do físico ao cibernético) e controlam (do cibernético ao físico) os processos físicos, geralmente em um circuito fechado onde elementos físicos e computacionais interagem mutuamente.	FRANK et al, 2019
Manufatura Aditiva	A manufatura aditiva tornou-se uma das tecnologias de desenvolvimento mais dinâmico relacionadas à indústria 4.0 nos últimos anos. O uso de impressoras 3D relativamente baratas e amplamente disponíveis possibilita a rápida prototipagem e produção sob demanda de vários elementos e detalhes exclusivos.	OKARMA,2020
Robôs autônomos	A automação inteligente, incluindo robótica, é uma das tendências atuais na fabricação industrial no contexto da "Indústria 4.0", onde os sistemas ciber-físicos controlam a produção em fábricas automatizadas ou semi-automatizadas. Os robôs são substitutos perfeitos para uma força de trabalho qualificada para algumas tarefas repetíveis, gerais e estrategicamente importantes.	PÉREZ, L et al, 2020
Simulação	A simulação ajuda a avaliar os efeitos e impactos das ações no modo de segurança, melhora o aprendizado e as tomadas de decisão. As mudanças de comportamento nas configurações de máquinas, fluxo de processos e projetos de plantas podem ser observadas no ambiente, assim como a eficácia das mudanças pode ser testada sem que sejam realizadas no mundo real.	IBRAHIM,A et al, 2019
Realidade aumentada	A realidade aumentada pode ser um elemento essencial na indústria inteligente para execuções de operações, informações em tempo real são fornecidas aos trabalhadores para melhorar os procedimentos de tomada de decisão. Permite que os usuários simulem e explorem Interativamente. A produção é realizada recriando um mapeamento realista do processo de fabricação.	VAIDYA, 2018

Fonte: Kang (2016); Wang (2016); Liu e Xun (2017); Frank et al (2019); Okarma (2020); Pérez, L et al, (2020); Ibrahim, A et al (2019); Vaidya, 2018 (2020)

3.1 Relação da indústria 4.0 e a indústria calçadista

Após o primeiro refino na base utilizando apenas o tópico “*Industry 4.0*” com preferência nos artigos publicados nos últimos cinco anos, foi feito um novo refino buscando correlacionar os temas indústria 4.0 e indústria calçadista. Para tanto, usamos os tópicos “*Industry 4.0*” e “*Footwear Industry*” na base de dados *Web of Science*, conforme o Gráfico 2.

Gráfico 2: Número de publicações dos últimos cinco anos.



Fonte: Web of Science (2020).

A nova revisão sistemática da literatura foi realizada com o objetivo de identificar o grau de relevância da união dos dois assuntos nos últimos 5 anos. De acordo com o Gráfico 2, constata-se que as publicações científicas iniciaram apenas em 2017 com dois artigos publicados mostrando, assim, um início nas pesquisas. Novamente, a base *Web of Science* realizou a distribuição dos artigos por categoria e a quantidade de citações por campo do conhecimento, conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Distribuição de citações por campo do conhecimento.

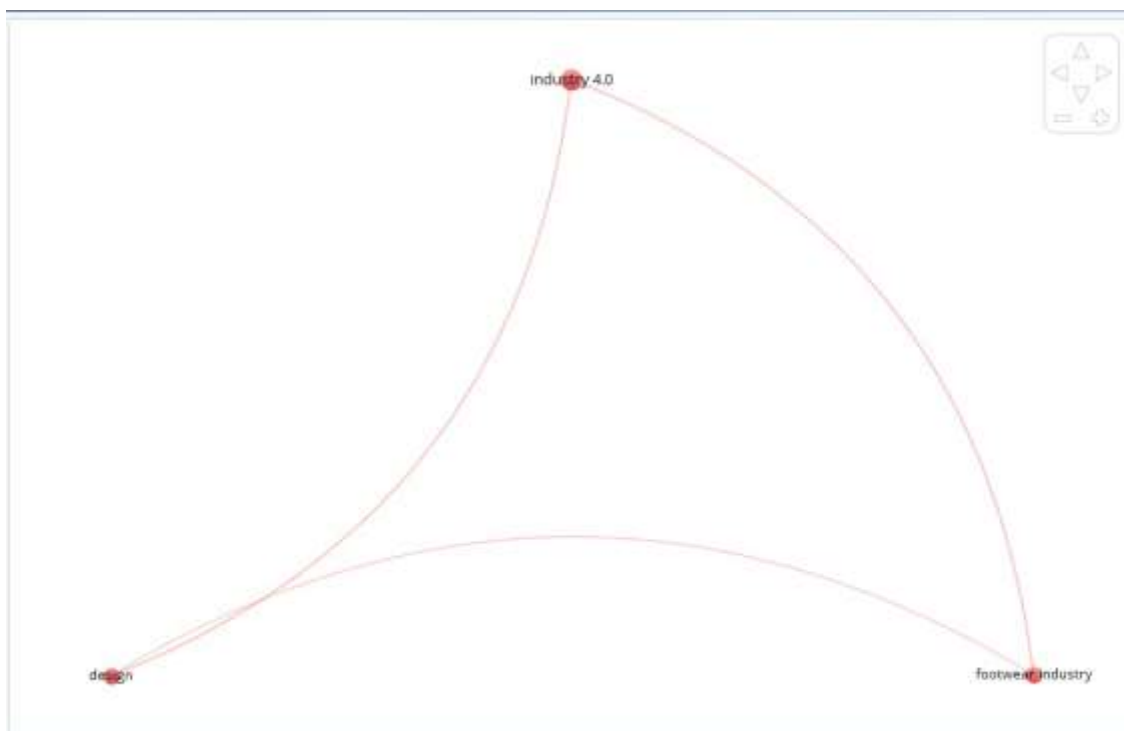
Campo: Categorias Da Web Of Science	Contagem De Registros	% de 4
COMPUTER SCIENCE INTERDISCIPLINARY	2	50.000%
ENGINEERING MULTIDISCIPLINARY	2	50.000%
CHEMISTRY MULTIDISCIPLINARY	1	25.000%
COMPUTER SCIENCE INFORMATION SYSTEMS	1	25.000%
ENGINEERING MANUFACTURING	1	25.000%
MATERIAL SCIENCE MULTIDISCIPLINARY	1	25.000%
OPERATIONS RESEARCH MANAGEMENT SCIENCE	1	25.000%
PHYSICS APPLIED	1	25.000%

Fonte: Web of Science. (2020)

Podemos observar uma predominância nas áreas de *computer Science* interdisciplinar e *engineering* multidisciplinar, também, dando a devida relevância, às demais categorias, ao levar em conta a quantidade de artigos publicados, destacaram as categorias selecionadas para o primeiro refino usando “industry 4.0”: *engineering manufacturing e operations research management Science*.

Finalmente, com os dados da *Web of Science* dos tópicos “*Industry 4.0*” e “*Footwear Industry*” e com o auxílio do software *VOSViewer* foi novamente possível mapear os principais assuntos de interesse separados por cluster, conforme a Figura 2.

Figura 2. Mapa de assuntos relacionados ao tópico “*Industry 4.0*” e “*Footwear Industry*”.



Fonte: Web of Science, VOSViewer (2020).

De acordo com a Figura 2, podemos observar a presença de apenas 1 (um) *cluster* formado por *Industry 4.0*, *Footwear industry* e *Design*.

4. Considerações Finais

Este presente estudo buscou mapear, por meio de uma revisão sistemática da literatura, o desenvolvimento científico referente à quarta revolução industrial ou indústria 4.0. O assunto relativo a indústria 4.0 é recente, a pesquisa sobre o tema foi crescendo de forma mais expressiva nos últimos 5 anos, conforme revelam as publicações na base da *web of Science*. Ao realizar refino na base, o número inicial de artigos foi reduzido. Foi realizada a seleção de artigos mais relevantes, inicialmente pelo título, leitura de resumos e alguns casos foram realizadas a leitura integral de artigos. Sobre o aumento da produção científica sobre o tema, a pesquisa revelou interesse inicial nos estudos a partir de 2013, havendo aumento considerável no número de publicações ano pós ano, segundo os registros na base da *Web of Science*. Com o auxílio do *software VOSViewer*, foi possível mapear os principais assuntos de interesse em pesquisa, se destacando: *industry 4.0, management, futute, big data, innovation, tecnologia e internet*.

Houve aumento considerável nas publicações em 2017 devido a disseminação e adoção dos princípios em várias indústrias, inclusive na indústria calçadista, importante no desenvolvimento regional em diversos países sendo tradicionalmente uma indústria de características relevantes como o uso abundante de mão de obra. Observa-se uma alta competitividade nessa indústria sendo que os principais assuntos correlacionados com a indústria 4.0 são: *industry 4.0, footwear industry e design*.

O design é uma forma dessas empresas criarem um diferencial competitivo. Outras ferramentas relacionadas ao design são importantes de serem conjuntamente estudadas, relevando uma lacuna a ser preenchida em pesquisas futuras. Além disso, percebe-se que questões relacionadas ao trabalho e ao trabalhador precisam ser exploradas no futuro, ou seja, perguntas como: Quais as implicações terão a adoção de ferramentas da indústria 4.0 no trabalho? Perguntas como essa precisa ser estudada

Diante desse contexto, percebe-se o aumento da pesquisa sobre a indústria 4.0 a cada ano. Nota-se que o interesse de compreender esse fenômeno, e de utilizar as suas ferramentas é algo essencial nas estratégias de gestão das empresas.

Referências

- Frank, A., Dalenogare, L., & Ayala, N. (2019). Industry 4.0 technologies: implmeentation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229, 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- Bär, K., Herbert-Hansen, Z. N. L., & Khalid, W. (2018). Considering Industry 4.0 aspects in the supply chain for an SME. *Production Engineering*, 12 (6), 747–758. [10.1007/s11740-018-0851-y](https://doi.org/10.1007/s11740-018-0851-y)
- Chang, C. W. (2020). Evaluation of smart alarm systems for industry 4.0 technologies. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10 (6). 2022. <https://doi.org/10.3390/app10062022>
- Di Roma, A. (2017). Footwear Design. The paradox of “tailored shoe” in the contemporary digital manufacturing systems. *The Design Journal*, 20 (sup1), S2689–S2699. <http://doi.org/10.1080/14606925.2017.1352780>.
- Garzoni, A., De Turi, I., Secundo, G., & Del Vecchio, P. (2020). Fostering digital transformation of SMEs: a four levels approach. *Management Decision*, 58, 1543. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/MD-07-2019-0939/full/html>
- Gil, M., Wróbel, K., Montewka, J., & Goerlandt, F. (2020). A bibliometric analysis and systematic review of shipboard Decision Support Systems for accident prevention. *Safety Science*, 128, 104717. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104717>
- Ibrahim, A., Kadir, T. A. A., & Kamaludin, A. (2019). Industry 4.0: Eyeing The Future via Simulation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 769, 012001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/769/1/012001>
- Janson, D., Newman, S. T., & Dhokia, V. (2019). Next generation safety footwear. *Procedia Manufacturing*, 38, 1668–1677. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.117>
- Kang, H. S. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3 (1), 111-128. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>

- Kipper, L. M., Furstenuau, L. B., Hoppe, D., Frozza, R., & Iepsen, S. (2020). Scopus Scientific mapping production in industry 4.0 (2011–2018): a bibliometric analysis. *International Journal of Production Research*, 58 (6), 1605–1627. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2019.1671625>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, 6 (4), 239–242. <http://link.springer.com/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Liu, Y., & Xu, X. (2017). Industry 4.0 and cloud manufacturing: A comparative analysis. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 139 (3), 034701. <http://doi.org/10.1115/1.4034667>
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10. <http://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Okarma, K., & Fastowicz, J. (2020). Improved quality assessment of colour surfaces for additive manufacturing based on image entropy. *Pattern Anal Applic*, 23, 1035–1047. <http://doi.org/10.1007/s10044-020-00865-w>
- Pérez, L., Rodríguez-Jiménez, S., Rodríguez, N., Usamentiaga, R., & García, D. F. (2020). Digital Twin and Virtual Reality Based Methodology for Multi-Robot Manufacturing Cell Commissioning. *Applied Science*. 10(10), 3633; <https://doi.org/10.3390/app10103633>
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhose, S. (2018). Industry 4.0: A glimpse. *Procedia manufacturing*. 20. 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>
- Wang, L., & Wang, G. (2016). Big data in cyber-physical systems, digital manufacturing and Industry 4.0. *International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*, 6 (4), 18. <http://doi.org/10.5815/ijem.2016.04.01>