



Métodos Multicritério em Big Data Analytics rumo à Indústria 4.0: uma Análise Bibliométrica

Plínio Silva de Sousa

Universidade Federal de Goiás (UFG) (pliniosousa@discente.ufg.br)

Nadya Regina Galo

Universidade Federal Fluminense (UFF) (nadyagalo@id.uff.br)

Resumo

A Indústria 4.0 representa uma nova lógica produtiva, marcada pela geração ininterrupta de dados. Integrar o valor destes dados às decisões industriais é desafio que requer novas tecnologias e capacidades, fornecida por seu pilar de Big Data Analytics. Em especial, os métodos multicritério de tomada de decisão (MCDM) surgem como ferramentas capazes de lidar com a complexidade de dados massivos em tais decisões. Porém, em meio a abundância de dados e lacunas de implementação de BDA à I4.0, como tais métodos têm sido aplicados? Desta forma, o objetivo deste estudo é conduzir o mapeamento científico de estudos que intersectem as áreas de MCDM e BDA rumo à I4.0, em que a bibliometria foi adotada como procedimento metodológico. Estatísticas descritivas, características e análises foram produzidas a partir de 249 artigos produzidos entre 2013-2025, como os principais autores, suas afiliações, principais estudos, coocorrência, dentre outras. China e Índia são países proeminentes, ao passo que há lacunas de estudos em contextos dos países em desenvolvimento. Identifica-se também artigos que buscam integrações sustentáveis para maior robustez em processos decisórios. Deste modo, este estudo é um dos primeiros a delimitar a identidade emergente deste núcleo temático.

Palavras-chave: Multicritério, Big Data Analytics, Indústria 4.0, Bibliometria.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Abstract

Industry 4.0 (I4.0) marks a new productive logic. It is characterized by uninterrupted data generation. Integrating this data into industrial decision-making is an opportunity. It requires new technologies and capabilities provided by its Big Data Analytics (BDA) pillar. Multi-Criteria Decision Making (MCDM) emerges as a tool to handle the complexity of massive data in such decisions. However, with abundant data and gaps in BDA implementation in I4.0, how have such methods been applied? The main goal of this article is to map studies that intersect MCDM and BDA in I4.0. Bibliometrics was the chosen methodological procedure. Descriptive statistics, characteristics, and analysis are drawn from 249 papers published between 2013 and 2025. The review covers main authors, their affiliations, key studies, and co-occurrences. China and India stand out as prominent countries. Studies focusing on developing countries still require development. The article identifies studies seeking sustainable integration for better decision-making. Moreover, this research is among the first to define the emerging identity of this thematic core.

Keywords: Multicriteria, Big Data Analytics, Industry 4.0, Bibliometrics.

Resumen

La Industria 4.0 representa una nueva lógica productiva, caracterizada por la generación ininterrumpida de datos. Integrar el valor de estos datos en la toma de decisiones industriales constituye un desafío que requiere nuevas tecnologías y capacidades, proporcionadas por su pilar de Big Data Analytics (BDA). En particular, los métodos de Multi-Criteria Decision Making (MCDM) surgen como herramientas capaces manejar la complejidad de los datos masivos en dichas decisiones. Sin embargo, con la abundancia de datos y las brechas en la implementación de BDA en I4.0, ¿cómo se han aplicado estos métodos? El objetivo principal de este estudio es mapear los trabajos que intersectan las áreas de MCDM y BDA en I4.0, adoptando la bibliometría como procedimiento metodológico. Se presentan estadísticas descriptivas, características y análisis extraídos de 249 artículos publicados entre 2013 y 2025. La revisión abarca los principales autores,

sus afiliaciones, estudios clave y coocurrencias. China e India destacan como países prominentes. Los estudios centrados en países en desarrollo aún requieren desarrollo. El artículo identifica trabajos que buscan una integración sostenible para una mejor toma de decisiones. Además, esta investigación es una de las primeras en definir la identidad emergente de este núcleo temático.

Palabras clave: Multicriteria, Big Data Analytics, Industria 4.0, Bibliometría.

1. INTRODUÇÃO

O processo da quarta revolução industrial tem conduzido à capitalização do mundo digitalizado a partir da interconectividade em tempo real. A Indústria 4.0 (I4.0), fundamentada em uma intensiva troca de dados e análises preditivas, tem assim provocado um novo paradigma produtivo orientado por resultados de automação, otimização e produtividade. Quanto mais assertiva as indústrias conseguirem integrar o valor de tais dados em suas decisões industriais, mais benefícios em termos de rentabilidade e eficiência operacional atingirão (PARIDA et al., 2019).

Tais dados são gerados ao longo dos fluxos produtivos industriais que os tornam complexos: são volumosos, velozes, variados, valiosos e precisam ser verídicos. Logo, as tecnologias tradicionais de processamento se tornam inviáveis nesta larga escala. Novas arquiteturas e conceitos surgiram de forma integrada as capacidades necessárias para esta gestão de dados, pilar conhecido como *Big Data Analytics* (BDA) (KAMBLE et al., 2020).

Ren et al. (2019) e Zhang et al. (2020) apontam ainda há lacunas na implementação de tecnologia de BDA em direção à I4.0, em que diferentes setores produtivos precisam conduzir suas decisões de forma específica e assertiva para atender suas necessidades estratégicas, operacionais e ambientais.

Entretanto, um questionamento surge : se por um lado há lacunas de transição tecnológica nas indústrias rumo à I4.0, há também uma abundância de dados a serem integrados em

tais decisões, logo como novos modelos de apoio a decisão têm surgido para apoiar tal processo?

Os métodos multicritério de apoio a tomada de decisão (*Multi-Criteria Decision Making*, MCDM) são eficientes para lidar sistematicamente com as subjetividades, incertezas e múltiplos critérios em cenários complexos (Almeida, 2013), tais como do emprego de BDA à I4.0. Desta forma, a fim de se responder a tal questionamento, o seguinte objetivo de pesquisa (OP) foi delineado:

OP: mapear os estudos que tratam da integração dos métodos MCDM em conjunto a BDA para cenários de transição à I4.0, conduzindo análise bibliométrica para compreender panorama científico de tais estudos, sua evolução e características.

As seções deste artigo foram organizadas da seguinte forma: na Seção 2, a fundamentação teórica; Seção 3, método para análise bibliométrica; Seção 4, resultados e discussões; Seção 5, as considerações finais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. INDÚSTRIA 4.0

Uma vez a I4.0 se estabelecendo e transformando diferentes setores econômicos, os sistemas tecnológicos passam a ser interconectados em seus processos, operações físicas, virtualizando assim o mundo físico. Tal integração se dá ainda em seu contexto ambiental e competitivo, em que as diferentes decisões podem ser cada vez mais tomadas com o menor grau possível de intervenção humana (GHOBAKHLOO, 2020; GILCHRIST, 2016).

Este novo patamar de desenvolvimento, avanço tecnológico e comunicação digitalizada têm provocado não somente a automação de processos, mas uma geração ininterrupta dados pela integração nas diferentes camadas das cadeias produtivas. As características técnicas tornam os métodos e arquiteturas tradicionais de tratamento, extração e análise

obsoletos e assim novas tecnologias são demandadas para lidar com tais desafios (Zhang et al., 2020)

2.2. *Big Data Analytics* e Tomada de Decisão Multicritério (*Multi-Criteria Decision Making* – MCDM)

Deste modo, *Big Data Analytics* (BDA) engloba o conjunto de arquiteturas, ferramentas e tecnologias capazes de examinar um extenso e variado conjunto de dados a fim de se extrair informações valiosas contornando os desafios de volume, variedade e velocidade, de forma íntegra e que reflita a veracidade do mundo físico. Desta forma, auxilia o processo de tomada de decisões nos sistemas produtivos a partir de dados valiosos, (ABELL ET AL., 2017; GANTZ ET AL., 2011; LANEY, 2001;).

Neste sentido, BDA se torna fundamental na I4.0 por seu caráter preditivo quanto as complexidades e volatilidades inerentes a modelos de negócios, competitividade e demandas por recursos naturais. Desta forma, é pilar que influencia o modelo e a inteligência de negócios em si, englobando o valor das tecnologias avançadas da manufatura na otimização dos processos decisórios necessários à manufatura sustentável. Conjuntamente a informações sendo fornecidas aos tomadores de decisão, os métodos multicritério fornecem técnicas eficiente para lidar com as subjetividades, incertezas e situações com múltiplos critérios e alternativas de forma sistemática. São métodos, no campo da Pesquisa Operacional, que viabilizam a tomada de decisão em cenários complexos, como o da I4.0 (JAMIL ET AL., 2013; MORKŪNAITĖ ET AL., 2019)

3. MÉTODO

O mapeamento científico por meio de dados quanto ao estado da arte permite a avaliação e discussão de seu desempenho ao longo do tempo. Deste modo, a compreensão de padrões, lacunas e oportunidades é alcançada de forma estruturada e sistêmica (CHISTOV ET AL., 2021; SHARMA ET AL., 2023).

A análise bibliométrica é uma técnica que auxilia na avaliação publicações, citações, seus autores e demais inter-relações a partir de estatísticas descritivas (Donthu et al., 2021;

Mukherjee et al., 2022). Deste modo, a bibliometria foi aplicada a fim de se mapear os artigos científicos em que os métodos e técnicas de apoio a decisão multicritério tem sido incorporados à Big Data Analytics em cenários de transição à I4.0.

Os subtópicos a seguir detalham a execução das escolhas, passos e operacionalização ao longo da condução da pesquisa e a Figura 1 representa os passos metodológicos deste estudo.

3.1. DELIMITAÇÃO DOS CAMPOS E STRINGS DE BUSCA

Os campos de conhecimento e temas específicos foram delimitados para a exploração e investigação em torno do OP e a posterior construção das chaves de busca necessárias à coleta dos dados. São estes:

- Gestão Estratégica e Operacional da Produção: com o tema Indústria 4.0;
- Tecnologias pilares da Indústria 4.0: com o pilar de *Big Data Analytics* (BDA);
- Métodos e técnicas de apoio a tomada de decisão multicritério (MCDM);

Figura 1. Passos e abordagem metodológica da pesquisa.



Nota. Elaborado pelos autores.

Uma vez delimitadas as áreas, uma chave de busca final - foi construída e combinadas da seguinte forma: *(TS=("MCDM" OR "Multi-Criteria Decision Making" OR "Multi-Criteria Decision Analysis" OR "multicriteria" OR "multi-criteria" OR "AHP" OR "ANP" OR "PROMETHEE" OR "ELECTRE" OR "VIKOR" OR "DEMATEL") AND TS=("Big Data Analytics" OR "Big Data" OR "Data-Driven Decision Making" OR "Predictive Analytics" OR "Machine Learning" OR "Data Mining") AND TS=("Industry 4.0" OR "Industrial 4.0" OR "Smart Manufacturing" OR "Cyber-Physical Systems" OR "Digital Twin" OR "IoT" OR "Internet of Things" OR "Smart Factory")) AND (DT=("Article") OR DT=("Review")) AND LA=("English").*

Operadores booleanos “OR” e “AND” constituem tais *strings* a fim de combinar a busca entre diferentes temas e definir opções alternativas ‘ou’ para se ampliar o resultado sem comprometer a delimitação de temas.

3.2. ESCOLHA DA BASE Web Of Science (WoS) E COLETA DE DADOS

O processo de levantamento de dados requer a definição de alternativas e a escolha de fontes de dados íntegros, tal como conjunto ferramental para seu tratamento, processamento e obtenção de informações. A *Web of Science* (WOS) e *Scopus* são duas interfaces que indexam produções científicas de diferentes naturezas em vários campos do conhecimento. Ainda não há consenso ou veredito sobre qual é a mais aprimorada (PRANCKUTĖ, 2021).

A sobreposição de documentos entre as bases WoS e Scopus foi tema investigado por Singh *et al.*, (2021), em que 99,1% da amostra de artigos em seu estudo estava sobreposta quando comparada diretamente com a Scopus. Dada que há uma prevalência dos estudos presentes na Scopus estarem presentes na WoS, esta foi a escolha para a coleta dos dados bibliométricos do estudo.

Para a produção da análise bibliométrica, o aplicativo *VOSViewer* foi escolhido para criação, visualização e exploração dos dados. É um software estabelecido desde 2010 na comunidade bibliométrica que produz mapas visuais de *network*, que representam uma medida de força na relação entre dois ou mais itens a serem observados. Sua escolha

também é reforçada pelo fato de sua amigável interface permite uma visualização e interpretação direta dos resultados por meio de seu algoritmo (ROMERO-SILVA & DE LEEUW, 2021; VAN ECK & WALTMAN, 2010).

A partir da coleta de dados, o *VOSViewer* permite uma série de opções de construtos para gráficos, mapas de redes e outras visões. Contudo, somente é possível a análise de um de banco de dados por vez dentro da sua interface.

Tentativas de unificação entre os dados coletados foram consideradas a partir de linguagem de programação em R, mas nos testes iniciais foram identificados dois riscos a esta pesquisa: a) comprometimento da integridade dos dados pela unificação de campos com padrões distintos de dados e b) o fato da ferramenta *VOSViewer*, em seu manual oficial, não ser referenciar nenhuma alternativa ao processamento de bases combinadas. A extração dos dados a partir da busca conduzida abril de 2025 na WoS e realizado o levantamento de artigos científicos que correspondessem a tais termos. Foram coletados todos os artigos que corresponderam a tal *string*, logo todos os documentos datados de 2013 a 2025, sendo restringidos a documentos do tipo artigo.

Uma vez obtido o retorno de dados disponíveis de acordo com a string de busca, foi feita a exportação direta de tais dados dessas publicações em arquivo com formato ‘.csv’, onde todos os campos de dimensões dos dados foram selecionados. O arquivo foi salvo eletronicamente em computador local e não foi manipulado em nenhuma ferramenta a fim de garantir a integridade dos dados.

3.3. CRIAÇÃO DE MAPAS GRÁFICOS NO VOSViewer E USO DO R

Desta forma, os dados acerca das pesquisas delineadas a partir da chave de busca foram importados no software *VOSViewer* (versão 1.60.20), onde as versões dos gráficos em diferentes visões (termos chaves, autores, revistas) foram selecionadas uma a uma, bem como os parâmetros de ajustes da ferramenta (escala de frequências, citações e conexões mínimas para plotagem).

Neste estudo, foram utilizadas as seguintes ferramentas a fim de auxiliar e complementar a condução da investigação e análise, sendo elas:

- O software R, em sua versão R 4.4.1;
- em conjunto com sua linguagem de programação própria executada no Rstudio (2024.09.0 Build 375), onde comandos de código básicos como `'results ()'` foram executados para visualização de informações consolidadas em tela;
- o pacote bibliométrico *Bibliometrix*, amplamente conhecido dentre a comunidade bibliométrica e própria do ambiente R, e;
- a interface online denominada *Biblioshiny*, que juntas fornecem construtos bibliométricos visuais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A busca conduzida partir da *string* de busca resultou em um universo de 249 artigos científicos publicados desde 2013 até 2025 do WoS, todos em língua inglesa, e dada a especificidade da intersecção dos temas, não se justificou recorte temporal.

A Figura 2 apresenta um resumo dos resultados globais obtidos desta análise bibliométrica: 139 fontes de publicações, de 842 autores diferentes, sendo 18 em autoria individual. Neste período de doze anos, a taxa de crescimento média anual foi de 25,99%, em que o índice de coautorias é de 3,95 autores por documento, mas um percentual de 46,18% no nível de colaboração internacional em tais pesquisas. Foram identificadas 1048 palavras-chaves distintas de acordo com o texto dos autores.

Figura 2. Panorama da análise bibliométrica.

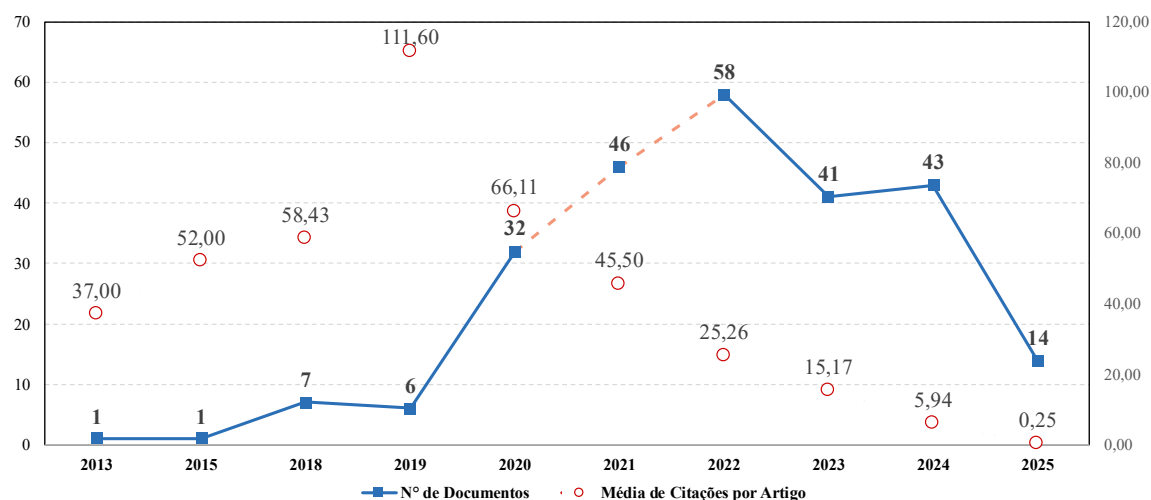


Nota. Elaborado pelos autores com uso do VOSViewer, pacote Bibliometrix e da interface Biblioshiny.

4.1. Evolução anual das publicações

A Figura 3 ilustra a evolução anual das publicações obtidas neste estudo. Dos 249 artigos publicados neste período, os anos de 2020 a 2024 concentram 88,0% das produções conduzidas, em que 55,0% ocorreram durante os anos mais críticos da pandemia por Covid-19 (2020-2022). Pode-se observar uma crescente produção contínua desde 2019, que ainda é recente dado que a primeira produção neste sentido data de 2013. Porém, observa-se que por mais que um novo patamar da quantidade produzida tenha sido alcançado em 2022, com 58 artigos, os que mais geraram repercussão de acordo com sua a média de citações (6 em 2019). Dentre essas, um dos artigos com maiores citações é o “*Connecting Circular Economy and Industry 4.0*” (Rajput & Singh, 2019) que realiza um estudo multicritério a partir dos fatores habilitadores e de barreira para compreender conexões ainda não vistas entre a Economia Circular e I4.0.

Figura 3. Evolução da produção anual e média de citações dos artigos.



Nota. Elaborado pelos autores com uso do pacote Bibliometrix e da interface Biblioshiny.

4.2. Cerne de publicações

O número de citações de um artigo pode ser entendido como uma medida interessante para se identificar as produções mais influentes ao se explorar uma área de pesquisa (Merigó et al., 2015). Desta forma, a Tabela 1 apresenta as 10 maiores publicações citadas segundo a WoS, dos quais três foram divulgados pelo *Journal of Cleaner Production*,

que em conjunto com o *International Journal of Production Economics*, *International Journal of Information Management* e *Process Safety and Environmental Protection* têm contribuído de forma proeminente. Tais pesquisas têm enfoque nas aplicações e considerações dos métodos MCDM para transição tecnológica em sistemas produtivos em direção a I4.0, como também em torno de EC e a operações sustentáveis, sendo este um achado interessante quanto a ampliação da perspectiva ecológica em I4.0.

Ressalta-se ainda que uma das pesquisas pioneira no contexto das aplicações de MCDM para transição à I4.0 ao se implementar BDA é o artigo “*Environmental Informatics For Solid and Hazardous Waste Management: Advances, Challenges, And Perspectives*”, (Lu et al., 2013), em que discutem projetos de tecnologias de informação na gestão do descarte de resíduos perigosos, no contexto da falta de estratégias sinérgicas ao desenvolvimento sustentável e como priorizar tais tecnologias a partir de métodos multicritério de ordenação.

Tabela 1. Ranking dos 10 artigos mais citados

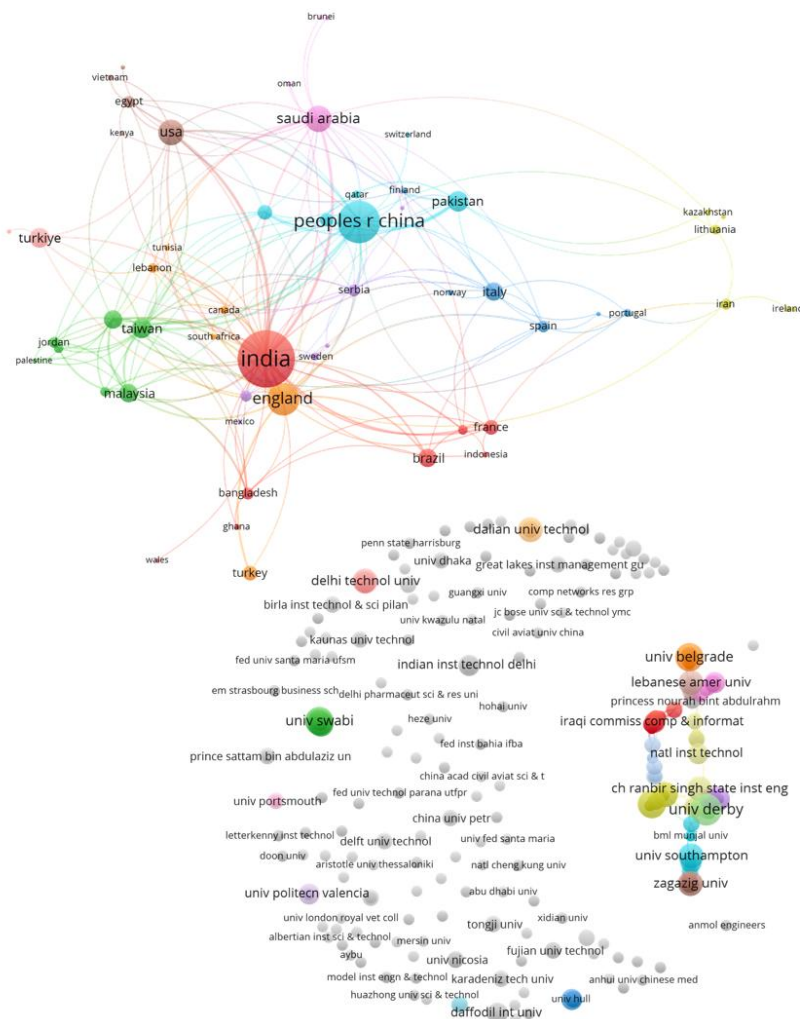
Ranking	Título do artigo	Citações Totais	Citações Totais por ano	Autor	Jornal
1	<i>Industry 4.0 Technologies Assessment: A Sustainability Perspective</i>	646	107,67	Bai et al. (2020)	<i>International Journal of Production Economics</i>
2	<i>Connecting Circular Economy and Industry 4.0</i>	350	50,00	Rajput et al. (2019)	<i>International Journal of Information Management</i>
3	<i>Application of Industry 4.0 Technologies in SMEs for Ethical and Sustainable Operations: Analysis of Challenges</i>	264	44,00	Kumar et al. (2020)	<i>Journal of Cleaner Production</i>
4	<i>Assessing Challenges for Implementing Industry 4.0: Implications for Process Safety and Environmental Protection</i>	244	30,50	Moktadir et al. (2018)	<i>Process Safety and Environmental Protection</i>
5	<i>To Identify Industry 4.0 and Circular Economy Adoption Barriers in the Agriculture Supply Chain by Using ISM-ANP</i>	244	48,80	Kumar et al. (2021)	<i>Journal of Cleaner Production</i>
6	<i>Industry 4.0, Cleaner Production and Circular Economy: An Integrative Framework for Evaluating Ethical and Sustainable Business Performance of Manufacturing Organizations</i>	209	41,80	Gupta et al. (2021)	<i>Journal of Cleaner Production</i>
7	<i>FedMCCS: Multicriteria Client Selection Model for Optimal IoT Federated Learning</i>	180	36,00	Abdulrahman et al. (2021)	<i>IEEE Internet of Things Journal</i>
8	<i>A Novel Pythagorean Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methodology for Green Supplier Selection in the Industry 4.0 Era</i>	172	34,40	Calik, A. (2021)	<i>Soft Computing</i>
9	<i>Synchronized Barriers for Circular Supply Chains in Industry 3.5/Industry 4.0 Transition for Sustainable Resource Management</i>	163	27,17	Ozkan et al. (2020)	<i>Resources, Conservation and Recycling</i>
10	<i>An Integrated DEMATEL-MMDE-ISM Based Approach for Analysing the Barriers of IoT Implementation in the Manufacturing Industry</i>	128	21,33	Singh et al. (2020)	<i>International Journal of Production Research</i>

Nota. Elaborado pelos autores com uso do pacote Bibliometrix e da interface Biblioshiny.

4.3. Redes de colaboração: países e instituições

Foram identificados 65 países distintos e 504 instituições neste conjunto de documentos analisados, no qual se observa o nível de colaboração internacional, a partir da Figura 4, a fim de entender o quão difundido está este tema de pesquisa em grupos de pesquisas (46,18% de coautorias). Cada círculo representa a quantidade de documentos de cada país e de cada instituição, sendo seu tamanho proporcional à sua quantidade publicada. As linhas de conexão, por sua vez, representam a força desta conexão de acordo com o quantitativo de artigos produzidos em conjunto.

Figura 4. Mapas de Rede e Ranking dos principais países e instituições.



Ranking	País	Citações Totais	Citações Totais por ano	Nº Artigos
1	Índia	2 454	38,95	218
2	China	1 411	28,22	179
3	Turquia	452	75,33	20
4	Ghana	265	132,5	4
5	USA	260	28,89	40
6	UK	199	18,09	57
7	Brazil	187	20,78	37
8	Leabon	187	93,5	7
9	Italy	167	23,86	27
10	Egypt	121	40,33	10

Ranking	Instituição	Nº Artigos
1	Yasar University (Turquia)	10
2	University of Derby (Reino Unido)	10
3	Dalian University of Technology (DUT) (China)	9
4	Delhi Technological University (DTU) (Índia)	7
5	University of Belgrade (Sérvia)	6
6	Yildiz Technical University (YTÜ) (Turquia)	5
7	Lebanese American University (LAU) (Libano)	5
8	University of Swabi (Paquistão)	4
9	Ch. Ranbir Singh State Institute of Engineering and Technology (CRSSIET) (Índia)	4
10	Indian Institute of Technology Delhi (IIT Delhi) (Índia)	4

Nota. Elaborado pelos autores com uso do pacote Bibliometrix, da interface Biblioshiny e do VOSViewer.

Quanto as instituições, a *Yasar University* (Turquia), *University of Derby* (Reino Unido) e *Dalian University of Tecnology* (China) concentram as maiores quantidades de artigos publicados. Porém, há três universidades da Índia que juntas totalizam 15 produções, o que se destaca ao se observar o grau de colaboração com outros países, tal como Turquia, Brasil e Arábia Saudita.

Baseado nestes resultados, Índia, China e Reino Unido são os mais proeminentes nestas pesquisas com 218, 179 e 57 artigos, respectivamente. A produção científica dos três países conjuntamente representa 75,8%, ao passo que EUA, Brasil e Itália somam 104 - 20,7% do total. Conforme apresentado na Figura 5, Índia e China são os países pioneiros, cujas pesquisas já datam desde 2013 e ambas atingem novos patamares significativos de produção em 2021 e 2020, respectivamente.

As crises globais desencadeadas pela pandemia da Covid-19 em 2019, Agenda 2030 de 2015, aceleração dos temas da manufatura inteligente, internet das coisas e políticas nacionais como o plano diretor industrial da China são exemplos de hipóteses que podem explicar estes novos patamares de pesquisa (ISDP, 2018). Este último, foi um plano do governo chinês, também de 2015, com o objetivo de assegurar a posição estratégica global do país enquanto cadeia independente e digitalizada de tecnologia industrial e integração vertical inovativa para competição nos mercados globais.

Figura 5. Evolução da produção científica por país.



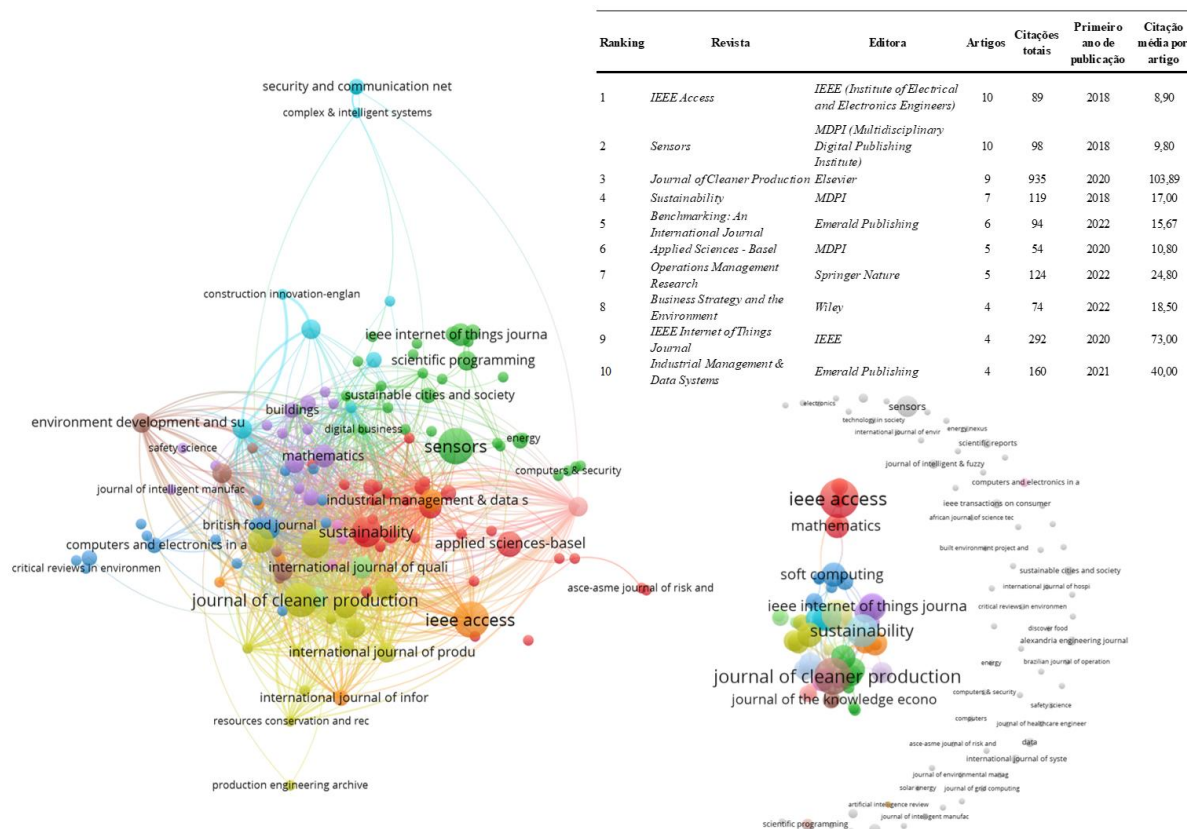
Nota. Elaborado pelos autores com uso do pacote Bibliometrix e da interface Biblioshiny e *Flourish*.

4.4. Acoplamento bibliográfico: rede de cocitações e jornais

O acoplamento bibliográfico é uma técnica bibliométrica que analisa em que grau os artigos analisados citam exatamente os mesmos referenciais bibliográficos, conectando-os assim por sua proximidade temática (Ranjbari et al., 2021). A Figura 6 apresenta este acoplamento e a rede de cocitações dentre as revistas, em que tal proximidade é

representada por meio de suas cores, como em verde com as revistas *Sensors* e *IEEE Internet of Thing Journal* que com as demais foram um grupo de tecnologias em BDA. Já o círculo apresentado no gráfico de rede é a quantidade de artigos por revista, ao passo que as linhas representam a dimensão em que seus artigos partilham das mesmas referências.

Figura 6. Acoplamento bibliográfico e Redes de cocitação: principais revistas científicas.



Nota. Elaborado pelos autores com uso do pacote Bibliometrix, da interface Biblioshiny e escolha dos parâmetros do VOSViewer.

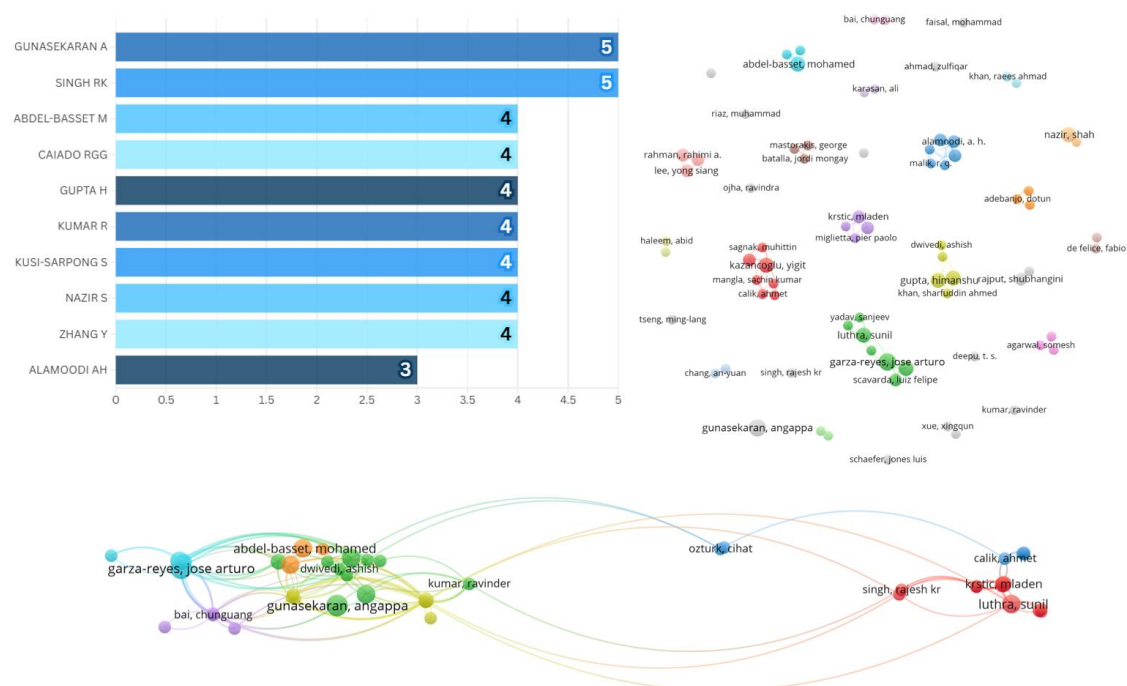
Foram identificadas 139 revistas distintas, em que a *IESS ACESS e Journal of Cleaner Production* com 10 artigos e a revista *Sustainability* com 9, são as que concentram maior número de publicações dos estudos nesta intersecção de áreas. Por mais que haja um quantitativo interessante de estudos, observa-se que tais pesquisas são publicadas em

revistas de diferentes áreas do conhecimento, o que indica tanto a transversalidade nos campos, mas também a ausência de um corpo concentrado enquanto linha de pesquisa.

4.5. Análise dos autores, coautorias e cocitações

Foram identificados 817 autores, dos quais ao ser parametrizados na interface do *VOSViewer* um mínimo de 2 artigos por autor, 76 atendiam ao critério e estão apresentadas na Figura 7. Devido a uma melhor visualização gráfica, apenas o grupo de 45 autores que partilham de relacionamento mútuo. Observa-se que há ao menos 6 grupos com 4 autores, destacando com cores mais intensas, coproduzindo suas pesquisas. Ressalta-se que para o gráfico de coautoria, o método da contagem fracionada foi escolhido como parâmetro de seleção no *VOSViewer*, no qual cada autor de um artigo recebe o mesmo peso proporcional ao quantitativo total dos presentes em um documento e equilibrando melhor a contagem do que o método inteiro.

Figura 7. Autores: da esquerda para a direita, Nº de artigos, Redes de Coautoria e Redes de Cocitações.



Nota. Elaborado pelos autores com uso do pacote Bibliometrix, da interface Biblioshiny e VOSViewer.

Os três maiores autores são Angappa Gunasekaran (com 5 publicações), Rajesh Kr. Singh (4) e Mohamed Abdel-Basset (4), em que os dois primeiros são indianos e o terceiro egípcio. A fim de se compreender melhor quais pesquisas tais autores possuem, a Tabela 3 apresenta o artigo mais citado, segundo dados da WoS, de cada um dos 10 maiores autores apresentados anteriormente. Percebe-se que tais artigos referenciam as aplicações de MCDM nas mais diversas áreas, como em cadeias de suprimentos em agricultura, gestão de inventário, operações sustentáveis, implementação da Indústria 4.0 e conservação de energia.

Tabela 2. Artigo mais citados por autor.

Ranking	Autor	Ano	Título	Revista	Citação Total	Citação Total por ano
1	GUNASEKARAN A	2018	<i>Big GIS analytics framework for agriculture supply chains: a literature review identifying the current trends and future perspectives</i>	Computers and Electronics in Agriculture	89	11,13
2	SINGH RK	2020	<i>Application of Industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: analysis of challenges</i>	Journal of Cleaner Production	264	44,00
3	ABDEL-BASSET M	2020	<i>A novel group decision-making model based on neutrosophic sets for heart disease diagnosis</i>	Multimedia Tools and Applications	79	13,17
4	CAIADO RGG	2022	<i>Decision support framework for inventory management combining fuzzy multicriteria methods, genetic algorithm, and artificial neural network</i>	Computers & Industrial Engineering	15	3,75
5	GUPTA H	2021	<i>Industry 4.0, cleaner production and circular economy: an integrative framework for evaluating ethical and sustainable business performance of manufacturing organizations</i>	Journal of Cleaner Production	209	41,80
6	KUMAR R	2020	<i>Application of Industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: analysis of challenges</i>	Journal of Cleaner Production	264	44,00
7	KUSI-SARPONG S	2018	<i>Assessing challenges for implementing Industry 4.0: implications for process safety and environmental protection</i>	Process Safety and Environmental Protection	244	30,50
8	NAZIR S	2020	<i>Deep learning algorithms and multicriteria decision-making used in big data: a systematic literature review</i>	Complexity	32	5,33
9	ZHANG Y	2020	<i>The influence of smart manufacturing towards energy conservation: a review</i>	Technologies	23	3,83
10	ALAMOUDI AH	2023	<i>Systematic review of MCDM approach applied to the medical case studies of COVID-19: trends, bibliographic analysis, challenges, motivations, recommendations, and future directions</i>	Complex & Intelligent Systems	29	9,67

Nota. Elaborado pelos autores com uso do pacote Bibliometrix e da interface Biblioshiny.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo atingiu seu objetivo ao realizar o mapeamento científico quanto aos estudos na intersecção entre MCDM, BDA e I4.0 por meio da análise e procedimento bibliométrico. As análises a partir de 249 publicações e seu núcleo específico fazem deste estudo um dos primeiros a delinear o perfil emergente deste núcleo temático, já apontando sua integração com a agenda da sustentabilidade e fornecendo base para futuras pesquisas.

Há um crescimento recente demonstrado ao se analisar a evolução anual das publicações, dado que 88% das mesmas se concentram nos últimos 5 anos (2020 a 2024). Isto demonstra interesse científico nesta intersecção de temas e o possível impacto pós-pandêmico atenuado pela Agenda 2030, a estudos que busquem decisões mais robustas na integração de BDA à I4.0.

Índia e China são destacados como duas economias proeminentes em pesquisas nestas áreas, sugerindo que economias em ascensão investem sistematicamente na manufatura inteligente e no fortalecimento de sua indústria nacional, como exemplificado pelo plano diretor existente na China. Entretanto, a baixa quantidade de pesquisa em países em desenvolvimento indica lacunas que tratem da aplicação de tais modelos em diferentes cenários regionais, industriais e ambientais.

Revistas como *Journal of Cleaner Production* possuem relevância quanto artigos que integram a perspectiva da Economia Circular à I4.0, sendo um achado crucial ao indicar que muitos estudos de MCDM e BDA já visam considerações sustentáveis nas operações industriais. O fato de tais estudos serem publicados em 139 revistas distintas mostrou a transversalidade dos temas em diferentes áreas, bem como sinaliza a oportunidade de estudos que se consolidem em uma linha de pesquisa mais concentrada.

Ainda que este estudo tenha se limitado ao mapeamento científico das produções nestes temas, sugere-se que pesquisas futuras busquem detalhar e comparar os diferentes usos de métodos MCDM específicos (AHP, PROMETHEE, VIKOR, etc.) para aprofundar a compreensão e discussão de tais aplicações. Adicionalmente, recomenda-se a condução

de estudos quali-quantitativos que investiguem as perspectivas temáticas de tais aplicações e implementações no contexto da prática industrial sob olhar da Agenda 2030.

REFERÊNCIAS

- ABELL, J. A. et al. Big Data-Driven Manufacturing - Process-Monitoring-for-Quality Philosophy. **Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME**, v. 139, n. 10, 2017.
- ALMEIDA, A. T. de. **Processo de Decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2013.
- CHISTOV, V.; ARAMBURU, N.; CARRILLO-HERMOSILLA, J. Open eco-innovation: A bibliometric review of emerging research. **Journal of Cleaner Production**, v. 311, 2021.
- DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285–296, 2021.
- GANTZ, J.; REINSEL, D.; GANTZ, B. J. **Extracting value from chaos**. Framingham, MA: IDC, 2011. (IDCview).
- GHOBAKHLOO, M. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, 2020.
- GILCHRIST, A. **Industry 4.0: the Industrial Internet of Things**. Heidelberg: Springer, 2016.
- JAMIL, N.; BESAR, R.; SIM, H. K. A Study of Multicriteria Decision Making for Supplier Selection in Automotive Industry. **Journal of Industrial Engineering**, 2013, p. 1–22, 2013.
- LANEY, D. **3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety**. Stamford, CT: Gartner, 2001. (META Group Research Note).
- LU, J. W.; CHANG, N. B.; LIAO, L. Environmental Informatics for Solid and Hazardous Waste Management: Advances, Challenges, and Perspectives. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 43, n. 15, p. 1557–1656, 2013.
- MERIGÓ, J. M. et al. A bibliometric overview of the Journal of Business Research between 1973 and 2014. **Journal of Business Research**, v. 68, n. 12, p. 2645–2653, 2015.
- MORKŪNAITĖ, Ž.; KALIBATAS, D.; KALIBATIENĖ, D. A bibliometric data analysis of multi-criteria decision making methods in heritage buildings. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 25, n. 2, p. 76–99, 2019.
- MUKHERJEE, D. et al. Guidelines for advancing theory and practice through bibliometric research. **Journal of Business Research**, v. 148, p. 101–115, 2022.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

- PARIDA, V.; SJÖDIN, D.; REIM, W. Reviewing literature on digitalization, business model innovation, and sustainable industry: Past achievements and future promises. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 2, 2019.
- PRANCKUTĖ, R. Web of Science (WoS) and Scopus: the titans of bibliographic information in today's academic world. **Publications**, v. 9, n. 1, 2021.
- RAJPUT, S.; SINGH, S. P. Connecting circular economy and industry 4.0. **International Journal of Information Management**, v. 49, p. 98–113, 2019.
- RANJBARI, M. et al. Two decades of research on waste management in the circular economy: Insights from bibliometric, text mining, and content analyses. **Journal of Cleaner Production**, v. 314, 2021.
- REN, S. et al. A comprehensive review of big data analytics throughout product lifecycle to support sustainable smart manufacturing: A framework, challenges and future research directions. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 1343–1365, 2019.
- ROMERO-SILVA, R.; DE LEEUW, S. Learning from the past to shape the future: A comprehensive text mining analysis of OR/MS reviews. **Omega (United Kingdom)**, v. 100, 2021.
- SHARMA, A. et al. Blockchain enabled food supply chain management: A systematic literature review and bibliometric analysis. **Operations Management Research**, v. 16, n. 3, p. 1594–1618, 2023.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.
- ZHANG, X.; MING, X.; YIN, D. Application of industrial big data for smart manufacturing in product service system based on system engineering using fuzzy DEMATEL. **Journal of Cleaner Production**, v. 265, 2020.
- ZIKOPOULOS, P. et al. **Harness the power of Big Data – The IBM Big Data Platform**. Emeryville: McGraw-Hill Osborne Media, 2013.