

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PESQUISA OPERACIONAL E
INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL
CURSO DE MESTRADO EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA
COMPUTACIONAL

LEANDRO SCALA DA ROCHA

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE A INDÚSTRIA 4.0: UMA PERSPECTIVA DO
BRASIL**

CAMPOS DOS GOYTACAZES

2024

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PESQUISA OPERACIONAL E
INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL
CURSO DE MESTRADO EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA
COMPUTACIONAL

Leandro Scala da Rocha

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE A INDÚSTRIA 4.0: UMA PERSPECTIVA DO
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Pesquisa Operacional e
Inteligência Computacional da
Universidade Candido Mendes – Campos
dos Goytacazes/RJ, para obtenção do
grau de MESTRE EM PESQUISA
OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA
COMPUTACIONAL.

Orientador: Prof. Ítalo de Oliveira Matias, D. Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES

2024

Catálogo na fonte

Preparada pela Biblioteca da **UCAM – CAMPOS** 019/2024

Rocha, Leandro Scala da.

Análise bibliométrica sobre a indústria 4.0: uma perspectiva do Brasil. / Leandro Scala da Rocha. – 2024.
129 f.

Orientador(a): Ítalo de Oliveira Matias.

Dissertação de Mestrado em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional – Universidade Candido Mendes – Campos. Campos dos Goytacazes, RJ, 2024.
Referências: f. 88-95.

1. Indústria 4.0. 2. Transformação digital. I. Matias, Ítalo de Oliveira Matias, orient.. II. Universidade Candido Mendes – Campos. III. Título.

CDU – 681.51

Bibliotecária Responsável: Flávia Mastrogirolamo CRB 7ª-6723

LEANDRO SCALA DA ROCHA

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE A INDÚSTRIA 4.0: UMA PERSPECTIVA DO
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Pesquisa Operacional e
Inteligência Computacional da
Universidade Candido Mendes – Campos
dos Goytacazes/RJ, para obtenção do
grau de MESTRE EM PESQUISA
OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA
COMPUTACIONAL.

Aprovada em 19 de agosto de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ítalo de Oliveira Matias, *D.Sc.* – orientador
UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM - CAMPOS DOS GOYTACAZES

Prof. Aldo Shimoya, *D.Sc.*
UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM - CAMPOS DOS GOYTACAZES

Prof^a. Claudia Boechat Seufitelli, *D.Sc.*
INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE - IFF- CAMPOS DOS GOYTACAZES

CAMPOS DOS GOYTACAZES

2024

Dedico esta dissertação aos meus pais Rita e Ivan, cuja orientação e apoio incondicional foram fundamentais em todas as etapas da minha vida. A vocês, que sempre acreditaram em mim e me incentivaram a buscar o conhecimento, sou eternamente grato. Ao meu filho Caio, cuja inocência e alegria me inspiram a ser uma pessoa e um profissional melhor a cada dia. Sem vocês, esta jornada não teria sido possível.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Candido Mendes (UCAM) por proporcionar o ambiente acadêmico que tornou este trabalho possível.

Agradeço aos meus professores, que com sua expertise e dedicação, contribuíram significativamente para a minha formação e crescimento profissional.

Agradeço especialmente ao meu orientador, cuja orientação, paciência e apoio foram essenciais para a realização desta dissertação. Seu conhecimento e conselhos foram inestimáveis e sou imensamente grato pela oportunidade de aprender sob sua orientação.

Aos meus colegas de turma, agradeço o incentivo constante e as discussões construtivas.

Agradeço aos demais colaboradores da UCAM, cujo suporte e colaboração foram essenciais para o sucesso deste projeto.

A todos, minha sincera gratidão por tornarem esta conquista uma realidade.

*“Quando aceitamos nossos limites,
consequimos ir além deles.”*

(Albert Einstein)

RESUMO

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE A INDÚSTRIA 4.0: UMA PERSPECTIVA DO BRASIL

Introdução: A Indústria 4.0 representa uma nova era na manufatura, integrando tecnologias avançadas para melhorar a produtividade e eficiência industrial. Baseada em sistemas adaptáveis e produção personalizada, essa revolução utiliza Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), *Big Data*, Sistemas Ciber-Físicos (SCF), e Computação em Nuvem para criar linhas de produção flexíveis e sustentáveis, além de exigir transformações sociotécnicas das atividades relacionadas. Tais transformações introduzidas pela Indústria 4.0 têm impacto direto na produtividade e competitividade das nações. Compreender como o Brasil se posiciona no cenário global da Indústria 4.0 permite a formulação de políticas e estratégias de inovação, que promovam o desenvolvimento tecnológico e a competitividade do país. **Objetivo:** Identificar e comparar as contribuições científicas de países, instituições e autores na área da Indústria 4.0, destacando a posição do Brasil. **Metodologia:** Foi realizada a análise bibliométrica detalhada de publicações científicas obtidas da base de dados Scopus, empregando técnicas de mineração de texto e análise de redes do VOSviewer para mapear a produção científica e as colaborações entre pesquisadores. **Resultados:** O número de publicações sobre Indústria 4.0 no Brasil está em crescimento, mas ainda distante dos líderes globais, como Alemanha, Estados Unidos e China. As áreas temáticas mais abordadas no Brasil incluem a aplicação da Internet das Coisas (IoT), *Big Data* e Aprendizado de Máquina, refletindo uma tendência similar à observada em outros países, mas com uma ênfase particular em soluções para a eficiência operacional e sustentabilidade. Além disso, os autores do Brasil têm contribuído significativamente com o tema tanto em produtividade quanto em influência. **Conclusão:** O Brasil possui potencial significativo para avançar na Indústria 4.0, desde que haja um maior incentivo à pesquisa e desenvolvimento, bem como a promoção de colaborações estratégicas entre academia, indústria e governo. Esse avanço pode posicionar o país de maneira mais competitiva no cenário global, contribuindo não apenas para o desenvolvimento econômico, mas também para a inclusão digital e a melhoria da qualidade de vida da população. A análise bibliométrica

fornece uma visão abrangente das tendências e lacunas existentes, oferecendo uma base para ações estratégicas que fortaleçam a posição do Brasil na Indústria 4.0.

Palavras-chave: revolução industrial; transformação digital; tomada de decisão; fábrica inteligente; cadeia de suprimento.

ABSTRACT

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF INDUSTRY 4.0: A BRAZILIAN PERSPECTIVE

Introduction: Industry 4.0 represents a new era in manufacturing with integrated advanced technologies for improving industrial productivity and efficiency. Because it is based on adaptable systems and customized production, this industrial revolution utilizes the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), Big Data, Cyber-Physical Systems (CPS), and Cloud Computing for creating flexible and sustainable production lines, while requiring sociotechnical transformation in activities related to it. Transformation as brought about by Industry 4.0 has a direct impact on the productivity of nations and competitiveness among them. Understanding how Brazil is positioned in the global Industry 4.0 landscape enables formulating policies and innovation strategies for promoting its technological development and competitiveness.

Objective: To identify and compare scientific publications from different countries, institutions, and authors in the field of Industry 4.0, highlighting Brazil's position.

Methodology: A detailed bibliometric analysis of scientific publications obtained from the Scopus database was carried out through text mining techniques and network analysis by using VOSviewer in mapping scientific output and collaborative work among researchers.

Results: The number of publications on Industry 4.0 in Brazil has continuously increased, but it is still far below those from global leaders such as Germany, the United States, and China. Thematic areas that are most often addressed in publications from Brazil include the application of the Internet of Things (IoT), Big Data, and Machine Learning. This shows a trend that is similar to the one that can be noted in other countries even though with a particular emphasis on solutions for operational efficiency and sustainability. Moreover, authors from Brazil have made a significant contribution to the topic both through its productivity and influence.

Conclusion: Brazil has significant potential to advance within the field of Industry 4.0, as long as there is greater support for research and development in the country as well as fostering of strategic collaboration among Brazil's academia, industry, and government. If progress is made in those areas, Brazil may be more competitively positioned on the global stage and contribute not only to economic development but also to digital inclusion and the improvement of quality of life for people in Brazil. Bibliometric analysis provides a comprehensive view of existing trends and gaps and

hence a foundation for strategic action for strengthening Brazil's position in Industry 4.0.

Keywords: industrial revolution; digital transformation; decision-making; smart factory; supply chain.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Evolução da Indústria 4.0..... | 26 |
| Figura 2 - Tela inicial da Scopus..... | 29 |
| Figura 3 - Cobertura da Scopus sobre a WoS..... | 30 |
| Figura 4 - Janela principal do VOSviewer | 35 |
| Figura 5 - Evolução temporal das publicações mundiais sobre todos os temas | 42 |
| Figura 6 - Evolução temporal das publicações mundiais sobre a Indústria 4.0 | 44 |
| Figura 7 - Evolução temporal das publicações do Brasil sobre a Indústria 4.0 | 45 |
| Figura 8 - Países que mais publicaram | 47 |
| Figura 9 - Distribuição das publicações sobre a Indústria 4.0 por países | 48 |
| Figura 10 - Países mais citados sobre Indústria 4.0..... | 49 |
| Figura 11 - Rede de coautoria com 87 países em 5 <i>clusters</i> | 50 |
| Figura 12 - Rede de citação com 87 países em 9 <i>clusters</i> | 51 |
| Figura 13 - Rede de acoplamento bibliográfico com 87 países em 7 <i>clusters</i> | 52 |
| Figura 14 - Distribuição das publicações por áreas..... | 53 |
| Figura 15 - Principais áreas das publicações | 53 |
| Figura 16 - Periódicos que mais publicaram | 54 |
| Figura 17 - Periódicos mais citados | 55 |
| Figura 18 - Rede de acoplamento bibliográfico com 93 periódicos em 4 <i>clusters</i> | 56 |
| Figura 19 - Rede de citação com 93 periódicos em 11 <i>clusters</i> | 57 |
| Figura 20 - Rede de cocitação com 108 periódicos em 4 <i>clusters</i> | 58 |
| Figura 21 - Instituições que mais publicaram | 59 |
| Figura 22 - Rede de coautoria com 32 instituições em 20 <i>clusters</i> | 60 |
| Figura 23 - Rede de citação com 32 instituições em 12 <i>clusters</i> | 61 |
| Figura 24 - Rede de acoplamento bibliográfico com 32 instituições em 3 <i>clusters</i> ... | 62 |
| Figura 25 - Organizações que mais financiaram publicações | 63 |
| Figura 26 - Distribuição das publicações dos autores | 64 |
| Figura 27 - Autores que mais publicaram | 64 |
| Figura 28 - Rede de coautoria com 127 autores em 53 <i>clusters</i> | 65 |
| Figura 29 - Relação publicação <i>versus</i> força de coautoria dos autores | 66 |
| Figura 30 - Autores mais citados | 66 |
| Figura 31 - Relação publicação <i>versus</i> citação dos autores | 67 |
| Figura 32 - Rede de citação com 232 autores em 14 <i>clusters</i> | 68 |

| | |
|---|----|
| Figura 33 - Relação citação <i>versus</i> força de citação dos autores | 70 |
| Figura 34 - Rede de acoplamento bibliográfico com 232 autores em 11 <i>clusters</i> | 71 |
| Figura 35 - Rede de cocitação com 185 autores em 3 <i>clusters</i> | 72 |
| Figura 36 - Relação ano da publicação <i>versus</i> número de citações das publicações mais citadas | 75 |
| Figura 37 - Distribuição das palavras-chaves: Mundo..... | 75 |
| Figura 38 - Distribuição das palavras-chaves: Brasil..... | 77 |
| Figura 39 - Diferença (Δ) de posição de palavras-chaves do Mundo e Brasil | 78 |
| Figura 40 - Rede de coocorrência de palavras-chaves com 5 <i>clusters</i> : Mundo | 79 |
| Figura 41 - <i>Clusters</i> e palavras-chave: Mundo..... | 80 |
| Figura 42 - Evolução temporal da rede de coocorrência de palavras-chaves: Mundo | 81 |
| Figura 43 - Rede de coocorrência de palavras-chaves com 7 <i>clusters</i> : Brasil | 82 |
| Figura 44 - <i>Clusters</i> de palavras-chave: Brasil..... | 83 |
| Figura 45 - Evolução temporal da rede de coocorrência de palavras-chaves: Brasil | 84 |
| Figura 46 - Zoom da evolução temporal da rede de coocorrência de palavras-chaves: Brasil | 85 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Resumo dos métodos bibliométricos..... | 32 |
| Quadro 2 - Métricas e recortes dos dados | 40 |
| Quadro 3 - Autores e seus <i>clusters</i> de citação | 69 |
| Quadro 4 - Propostas para a pesquisa brasileira | 85 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Consulta na base de dados Scopus | 39 |
| Tabela 2 - Publicações e CAGR | 46 |
| Tabela 3 - Publicações mais citadas | 73 |
| Tabela 4 - Principais palavras-chaves: Mundo | 76 |
| Tabela 5 - Principais palavras-chaves: Brasil | 77 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| CAGR | <i>Compound Annual Growth Rate</i> |
| CAPES | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| CNPq | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico |
| CSAB | <i>Content Selection and Advisory Board</i> |
| FCT | Fundação para a Ciência e a Tecnologia |
| IA | Inteligência Artificial |
| IEEE | <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> |
| IoT | <i>Internet of Things</i> |
| SCF | Sistemas Ciber-Físicos |
| SCImago | <i>SCImago Journal Rank</i> |
| SMA | Sistemas Multi-Agentes |
| TIC | Tecnologias da Informação e Comunicação |
| UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul |
| UFSC | Universidade Federal de Santa Catarina |
| VOS | <i>Visualization of Similarities</i> |
| WoS | <i>Web of Science</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 18 |
| 1.1 | PROBLEMA DE PESQUISA | 20 |
| 1.2 | OBJETIVOS DA PESQUISA | 21 |
| 1.2.1 | Objetivo geral | 21 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos | 21 |
| 1.3 | JUSTIFICATIVA | 21 |
| 1.4 | ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO | 23 |
| 2 | REVISÃO DA LITERATURA | 25 |
| 2.1 | INDÚSTRIA 4.0 | 25 |
| 2.1.1 | Definição e Histórico | 25 |
| 2.1.2 | Tecnologias Envolvidas na Indústria 4.0 | 26 |
| 2.1.3 | Impacto na Manufatura e Produção: Mudanças, Desafios e Oportunidades | 27 |
| 2.2 | SCOPUS | 28 |
| 2.2.1 | Introdução à Base de Dados Scopus: O que é e Como Funciona | 28 |
| 2.2.2 | Importância e Abrangência da Scopus na Pesquisa Acadêmica | 29 |
| 2.2.3 | Indicadores Bibliométricos da Scopus e Comparação de Indicadores | 30 |
| 2.3 | BIBLIOMETRIA | 31 |
| 2.3.1 | Definição e Importância da Bibliometria | 31 |
| 2.3.2 | Principais Indicadores Bibliométricos | 32 |
| 2.3.3 | Aplicações da Bibliometria | 33 |
| 2.4 | VOSVIEWER | 34 |
| 2.4.1 | Descrição da Ferramenta | 34 |
| 2.4.2 | Como Utilizar o VOSviewer | 35 |
| 2.4.3 | Casos de Uso e Exemplos | 37 |
| 2.4.4 | Vantagens e Limitações | 38 |
| 3 | METODOLOGIA | 39 |
| 3.1 | COLETA DOS DADOS | 39 |
| 3.2 | TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS | 40 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 42 |
| 4.1 | EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES | 42 |
| 4.1.1 | Publicações sobre Todos os Temas | 42 |
| 4.1.2 | Publicações sobre a Indústria 4.0 | 43 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.1.3 | Publicações do Brasil sobre a Indústria 4.0 | 45 |
| 4.2 | PRINCIPAIS PAÍSES | 46 |
| 4.3 | PRINCIPAIS ÁREAS..... | 52 |
| 4.4 | PRINCIPAIS PERIÓDICOS | 54 |
| 4.5 | PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES..... | 59 |
| 4.6 | PRINCIPAIS FINANCIADORES | 62 |
| 4.7 | PRINCIPAIS AUTORES..... | 63 |
| 4.8 | PRINCIPAIS PUBLICAÇÕES | 73 |
| 4.9 | PRINCIPAIS PALAVRAS-CHAVES..... | 75 |
| 4.10 | PROPOSTAS PARA A PESQUISA BRASILEIRA NA INDÚSTRIA 4.0..... | 85 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 87 |
| | REFERÊNCIAS..... | 88 |
| | APÊNDICE A – LISTA THESAURUS PARA PAÍSES | 96 |
| | APÊNDICE B – LISTA THESAURUS PARA PERIÓDICOS | 99 |
| | APÊNDICE C – LISTA THESAURUS PARA AUTORES | 101 |
| | APÊNDICE D – LISTA THESAURUS PARA PALAVRAS-CHAVES: MUNDO..... | 102 |
| | APÊNDICE E – LISTA THESAURUS PARA PALAVRAS-CHAVES: BRASIL | 107 |
| | APÊNDICE F – ANÁLISE ESTATÍSTICA: EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES SOBRE TODOS OS TEMAS | 113 |
| | APÊNDICE G – ANÁLISE ESTATÍSTICA: EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES SOBRE INDÚSTRIA 4.0 NO MUNDO | 114 |
| | APÊNDICE H – ANÁLISE ESTATÍSTICA: EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES SOBRE INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL..... | 115 |
| | APÊNDICE I – REDE DE COAUTORIA DOS PAISES (TEMPO)..... | 116 |
| | APÊNDICE J – REDE DE CITAÇÃO DOS PAISES (TEMPO) | 117 |
| | APÊNDICE K – REDE DE ACOPLAMENTO BIBLIOGRÁFICO DOS PAISES (TEMPO)..... | 118 |
| | APÊNDICE L – REDE DE ACOPLAMENTO BIBLIOGRÁFICO DOS PERIÓDICOS (TEMPO)..... | 119 |
| | APÊNDICE M – REDE DE CITAÇÃO DOS PERIÓDICOS (TEMPO)..... | 120 |
| | APÊNDICE N – REDE DE COAUTORIA DAS INSTITUIÇÕES (TEMPO) | 121 |
| | APÊNDICE O – REDE DE CITAÇÃO DAS INSTITUIÇÕES (TEMPO)..... | 122 |
| | APÊNDICE P – REDE DE ACOPLAMENTO BIBLIOGRÁFICO DAS INSTITUIÇÕES (TEMPO)..... | 123 |

| | |
|---|------------|
| APÊNDICE Q – REDE DE COAUTORIA DOS AUTORES (TEMPO)..... | 124 |
| APÊNDICE R – REDE DE CITAÇÃO DOS AUTORES (TEMPO) | 125 |
| APÊNDICE S – REDE DE ACOPLAMENTO BIBLIOGRÁFICO DOS AUTORES (TEMPO) | 126 |
| APÊNDICE T – REDE DE CITAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES | 127 |
| APÊNDICE U – REDE DE CITAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES (TEMPO)..... | 128 |
| APÊNDICE V – REDE DE COCITAÇÃO DE REFERENCIA | 129 |

1 INTRODUÇÃO

O termo Indústria 4.0 originou-se em 2011, a partir de uma iniciativa governamental alemã em colaboração com universidades e empresas privadas, representando uma nova era na manufatura, caracterizada pela integração de tecnologias avançadas para melhorar a produtividade e a eficiência industrial (Kagermann; Wahlster; Helbig, 2013).

A Indústria 4.0 se baseia no conceito de manufatura avançada ou manufatura inteligente, que envolve sistemas adaptáveis nos quais linhas de produção flexíveis ajustam automaticamente os processos para diferentes tipos de produtos e condições variáveis, o que aumenta a qualidade, a produtividade, a flexibilidade e ainda possibilita a produção personalizada em larga escala de forma sustentável (Jabbour *et al.*, 2018; Frank; Dalenogare; Ayala, 2019; Schuh *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2016b).

Para atingir seus objetivos, a Indústria 4.0 incorpora tecnologias emergentes e convergentes que acrescentam valor ao ciclo de vida dos produtos, como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA) o *Big Data*, Sistemas Ciber-Físicos (SCF), Sistemas Multi-Agentes (SMA) e Computação em Nuvem (Dalenogare *et al.*, 2018; Frank; Dalenogare; Ayala, 2019; Wang *et al.*, 2016a). Adicionalmente, a evolução para a Indústria 4.0 requer uma transformação sociotécnica, onde todas as atividades da cadeia de valor são executadas com abordagens inteligentes, baseadas em Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) (Longo; Nicoletti; Padovano, 2017; Raguseo; Gastaldi; Neirotti, 2016; Stock *et al.*, 2018).

Além disso, a Indústria 4.0 considera a troca de informações e a integração da cadeia de suprimentos, sincronizando a produção com os fornecedores para reduzir os tempos de entrega e minimizar distorções de informações (Ivanov *et al.*, 2016).

Através da integração colaborativa de recursos, empresas podem focar em suas competências principais e compartilhar capacidades para inovação de produtos em plataformas industriais, desenvolvendo produtos e serviços complementares com maior valor agregado (Chen; Tsai, 2017; Gawer; Cusumano, 2014; Kortmann; Piller, 2016). Este cenário tecnológico avançado aumenta a eficiência dos processos industriais e abre novas oportunidades de negócios, oferecendo produtos inteligentes que fornecem feedback de dados para o desenvolvimento de novos produtos e soluções aos clientes (Ayala; Gerstlberger; Frank, 2019; Porter; Heppelmann, 2015; Zhong *et al.*, 2017).

Tais transformações, promovidas pela Indústria 4.0, têm um impacto direto na produtividade e competitividade das nações. Compreender como o Brasil se posiciona no cenário global da Indústria 4.0 permite a formulação de políticas e estratégias de inovação, que promovam o desenvolvimento tecnológico e a competitividade do país.

Para isso, pode-se utilizar a análise bibliométrica a fim de mapear tendências, identificar áreas de destaque e lacunas na produção científica, através de vários indicadores, como o número de publicações e o número de citações. Tais indicadores ajudam a avaliar a produtividade e o impacto de pesquisadores e instituições (Muhuri; Shukla; Abraham, 2019).

A bibliometria é uma área de pesquisa que analisa quantitativamente a produção científica, fornecendo diretrizes e motivações para pesquisas futuras. Define-se a bibliometria como o estudo quantitativo da comunicação escrita, utilizando contagem de publicações e citações para mensurar a influência de trabalhos científicos (Broadus, 1987).

A análise bibliométrica requer a utilização de uma base de dados de publicações, como a Scopus. Esta base foi criada em 2004 pela Elsevier e é reconhecida como uma das maiores e mais abrangentes bases de dados científicas. Abrange várias fontes, incluindo periódicos científicos, livros e anais de conferências, selecionados através de um processo de seleção de conteúdo seguido de reavaliações contínuas.

Em seu lançamento, a Scopus continha cerca de 27 milhões de registros de publicações entre 1966 e 2004. Em 2019, cobria registros de publicações desde 1788, adicionando aproximadamente 3 milhões de novos registros anualmente (Singh *et al.*, 2021).

A plataforma da Scopus permite acesso a dados por meio das opções de Busca, Descoberta e Análise. A opção de Busca possibilita pesquisas de documentos, autores e buscas avançadas. A opção de Descoberta habilita os usuários a identificar colaboradores e organizações de pesquisa, além de encontrar dados de publicações relacionadas através de várias métricas, como palavras-chaves de autores e referências compartilhadas. A ferramenta de Análise facilita o rastreamento de citações e a avaliação dos resultados de busca com base em critérios como país, afiliação e área de pesquisa (Gavel; Iselid, 2008).

Estudos comparativos indicam que a Scopus supera outras bases de dados, como a *Web of Science* (WoS), em termos de cobertura em áreas de ciência, tecnologia e gestão (Chadegani *et al.*, 2013; Vieira; Gomes, 2009).

Além de uma base de dados, ferramentas de visualização destes são muito úteis na análise bibliométrica. O *software* chamado VOSviewer permite a criação de mapas de rede que identificam padrões de relacionamento entre itens de interesse (Cobo *et al.*, 2012). Portanto, o uso do VOSviewer em conjunto com a base de dados Scopus facilita a identificação de redes de pesquisa e fluxos de conhecimento na área da Indústria 4.0, proporcionando insights sobre a estrutura e a evolução da pesquisa nesse campo (Cobo *et al.*, 2014; Morris; Van Der Veer Martens, 2008).

A análise bibliométrica utilizando-se o VOSviewer e os dados da Scopus proporciona uma compreensão de como o Brasil se posiciona no cenário global da Indústria 4.0, identificando destaques e oportunidades e, conseqüentemente, permitindo a formulação de políticas e estratégias de inovação que promovam o desenvolvimento tecnológico e a competitividade do país.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Quais são as tendências e padrões de publicação sobre a Indústria 4.0 no Brasil em comparação com outros países?

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1 Objetivo geral

Identificar e comparar as contribuições de países, instituições e autores na área da Indústria 4.0, destacando a posição do Brasil.

1.2.2 Objetivos específicos

- Mensurar o volume anual de publicações sobre a Indústria 4.0 no Brasil e compará-lo com os países líderes no campo, o que permitirá uma visão quantitativa da produção científica nacional em relação ao cenário internacional;
- Identificar as principais áreas temáticas abordadas nas publicações do Brasil sobre Indústria 4.0 e compará-las com as de outros países, o que ajudará a compreender os focos de pesquisa e identificar possíveis lacunas ou áreas de oportunidade para o Brasil;
- Identificar os autores do Brasil mais influentes na pesquisa sobre a Indústria 4.0 e comparar seu impacto com autores de outros países, fornecendo insights sobre a contribuição individual dos pesquisadores do Brasil e seu reconhecimento na comunidade científica global.

1.3 JUSTIFICATIVA

A análise dos indicadores bibliométricos sobre a Indústria 4.0 no Brasil e no mundo abrange aspectos políticos, econômicos e sociais na atualidade. A Indústria 4.0, caracterizada pela integração de tecnologias avançadas como a IoT, IA e *Big Data*, representa uma transformação nos processos industriais, impactando diretamente a produtividade e a competitividade das nações.

Politicamente, entender como o Brasil se posiciona em relação a outros países no desenvolvimento e aplicação dessas tecnologias orienta a formulação de políticas públicas voltadas à inovação e ao desenvolvimento tecnológico.

Economicamente, a capacidade de adoção e integração das tecnologias da Indústria 4.0 pode aumentar a eficiência das indústrias, reduzir custos operacionais e fomentar o crescimento sustentável.

Além disso, socialmente, a Indústria 4.0 tem o potencial de criar oportunidades de emprego e promover o desenvolvimento de competências técnicas e científicas de pessoas, contribuindo para a inclusão digital e a melhoria da qualidade de vida.

Portanto, a análise bibliométrica das publicações permite identificar tendências, lacunas e oportunidades que podem orientar ações estratégicas de governos, empresas e instituições de pesquisa, fortalecendo a posição do Brasil no cenário global da Indústria 4.0.

Do ponto de vista acadêmico e científico, o estudo dos indicadores bibliométricos sobre a Indústria 4.0 é relevante para a área da Engenharia. Este campo do conhecimento, que abrange a otimização de processos produtivos e a gestão eficiente de recursos, encontra na Indústria 4.0 oportunidades para inovações disruptivas. Através da análise bibliométrica, é possível mapear o panorama da produção científica, identificar os principais centros de pesquisa, autores e instituições que lideram os estudos sobre a Indústria 4.0, além de compreender as áreas de maior destaque e aquelas que necessitam de maior investimento. Esta investigação contribui para o avanço do conhecimento ao oferecer um panorama da evolução das pesquisas no Brasil e no mundo. Ademais, ela permite avaliar o impacto e a qualidade das publicações, promovendo um ambiente acadêmico mais competitivo e inovador.

Para os estudantes e profissionais da Engenharia, este trabalho proporciona uma base de conhecimento sobre as tecnologias emergentes e suas aplicações práticas, incentivando o desenvolvimento de novas soluções e metodologias que possam ser aplicadas na indústria. Assim, a contribuição acadêmica deste estudo reside na ampliação do conhecimento sobre a Indústria 4.0, fornecendo dados que podem subsidiar futuras pesquisas e impulsionar a inovação tecnológica no Brasil.

A justificativa pessoal para escolha desse tema, se deu a partir da experiência do autor na área de construção e montagem de instalações industriais de processamento de gás natural no Brasil, onde não foram observadas as tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas desde os projetos até o início da operação. Apesar dos avanços tecnológicos significativos em outras áreas industriais, o setor de construção e montagem de instalações de processamento de gás natural parece estar atrasado na adoção de tecnologias emergentes como a IoT, IA e *Big Data*.

Essas tecnologias têm o potencial de transformar completamente os processos de projeto, construção e operação, proporcionando melhorias em eficiência, segurança e sustentabilidade. No entanto, a ausência dessas inovações na prática profissional diária levanta questões sobre as barreiras e desafios que impedem sua implementação. Este cenário despertou o interesse em investigar a produção científica relacionada à Indústria 4.0, visando compreender as tendências e padrões de publicação e identificar como o Brasil se posiciona em relação a outros países nesse campo.

A análise bibliométrica das publicações pode revelar oportunidades e lacunas existentes, oferecendo uma base para estratégias de inovação e desenvolvimento tecnológico no setor de construção e montagem de instalações industriais. Além disso, ao destacar a posição do Brasil, é possível fomentar a colaboração entre academia, indústria e governo, promovendo a integração das tecnologias da Indústria 4.0 de forma mais ampla e eficiente.

Esta pesquisa também pretende contribuir para a formação de engenheiros mais preparados para enfrentar os desafios da modernização industrial, proporcionando um entendimento aprofundado das oportunidades e benefícios proporcionados pelas novas tecnologias. Dessa forma, o estudo contribui para o conhecimento teórico e prático para o setor, incentivando a adoção de soluções tecnológicas que podem levar a melhorias substanciais nos projetos e operações de plantas industriais.

Em última análise, a escolha deste tema reflete a necessidade de alinhamento entre as práticas industriais e os avanços tecnológicos, com o objetivo de alcançar um desenvolvimento mais sustentável e competitivo para o Brasil no cenário global da Indústria 4.0.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho foi dividido em 5 seções:

- A seção 1 introduz o assunto Indústria 4.0 contextualizando-o. Nessa seção também são apresentados o problema de pesquisa, objetivos e justificativa do trabalho.
- A seção 2 apresenta uma revisão da literatura abordando o tema Indústria 4.0, a base de dados Scopus e o *software* VOSviewer.

- Na seção 3 é apresentada a metodologia utilizada, detalhando a coleta, tratamento e análise dos dados.
- A seção 4 contém os resultados e discussões para cada item de análise e as propostas do autor para as pesquisas futuras.
- Na seção 5 são apresentadas as conclusões dessa pesquisa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 INDÚSTRIA 4.0

2.1.1 Definição e Histórico

O termo Indústria 4.0 foi introduzido em 2011 por uma iniciativa do governo alemão em parceria com universidades e empresas privadas, marcando uma nova era industrial focada no desenvolvimento de sistemas de produção avançados para aumentar a produtividade e a eficiência da indústria (Kagermann; Wahlster; Helbig, 2013).

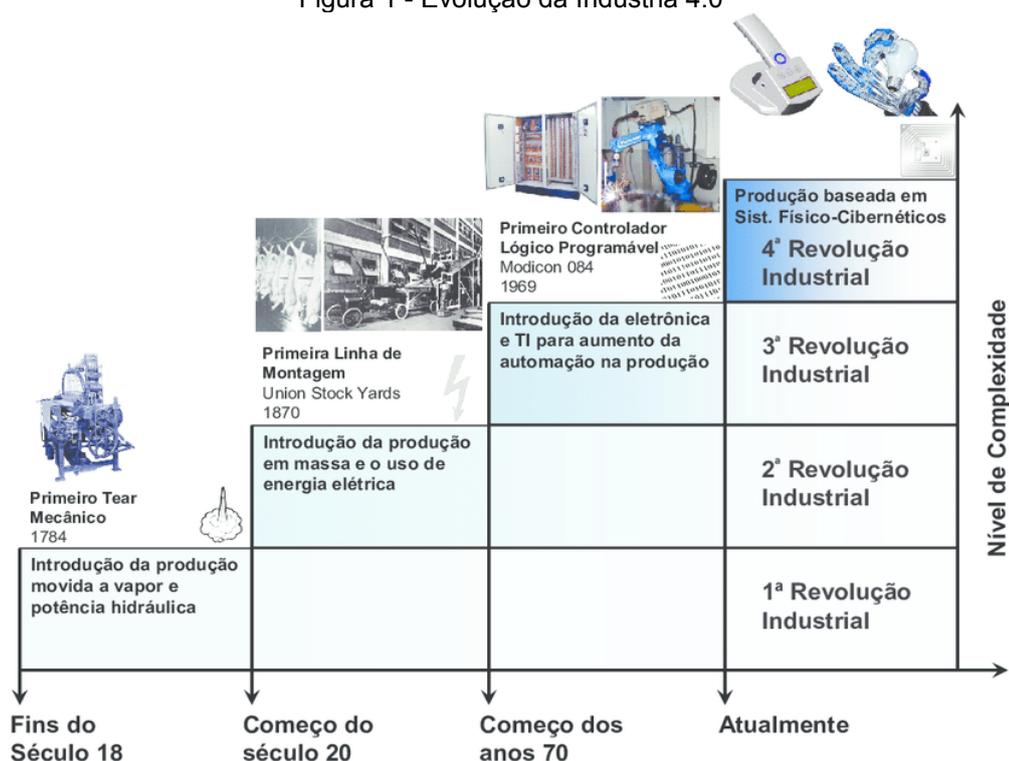
Este conceito representa a quarta revolução industrial, caracterizada pela integração de tecnologias emergentes e convergentes que agregam valor ao ciclo de vida completo dos produtos (Dalenogare *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2016b).

Diferente das revoluções industriais anteriores, que se centravam na mecanização (Primeira Revolução Industrial), eletrificação e produção em massa (Segunda Revolução Industrial), e automação e informatização (Terceira Revolução Industrial), a Indústria 4.0 foca na digitalização e integração de SCF (Feng; Li; Cen, 2001; Hermann; Pentek; Otto, 2016).

Esses avanços demandam uma evolução sociotécnica do papel humano nos sistemas de produção, onde todas as atividades da cadeia de valor são realizadas com abordagens inteligentes e fundamentadas em TIC (Longo; Nicoletti; Padovano, 2017; Raguseo; Gastaldi; Neirotti, 2016; Stock *et al.*, 2018).

A Figura 1 ilustra as fases de evolução e complexidade até a Indústria 4.0.

Figura 1 - Evolução da Indústria 4.0



Fonte: Rodrigues, Jesus e Schützer (2016).

Conforme mostrado na Figura 1, a primeira Revolução Industrial teve início no final do século XVIII e foi caracterizada pela introdução da produção movida a vapor e potência hidráulica. A segunda Revolução Industrial se caracterizou pela introdução da produção em massa e o uso de energia elétrica no começo do século XX. A partir do começo da década de 1970 surgiu a terceira Revolução Industrial, caracterizada pela introdução da eletrônica e Tecnologias da Informação (TI) para o aumento da automação na produção. Finalmente em 2011, surgiu o termo Indústria 4.0, dando origem a quarta Revolução Industrial caracterizada pela produção baseada em SCF.

2.1.2 Tecnologias Envolvidas na Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é sustentada por uma variedade de tecnologias interconectadas, que juntas formam a base deste novo paradigma industrial. Entre as principais tecnologias estão a IoT, a IA e o *Big Data*.

A IoT conecta dispositivos e sensores em toda a cadeia de produção, permitindo a coleta e análise em tempo real de dados operacionais, o que otimiza os processos de fabricação (Dalenogare *et al.*, 2018).

A IA proporciona automação inteligente, onde máquinas aprendem e se adaptam a novas condições, melhorando continuamente a eficiência (Wang *et al.*, 2016b).

O *Big Data*, ao coletar e analisar grandes volumes de dados, oferece *insights* que auxiliam na tomada de decisões estratégicas (Porter; Heppelmann, 2015).

Além dessas tecnologias, a manufatura aditiva (impressão 3D), a robótica avançada e a realidade aumentada permitem a criação de produtos inteligentes que oferecem novas funcionalidades e serviços ao consumidor final e são fabricados de forma mais eficiente (Ayala; Gerstlberger; Frank, 2019; Zhong *et al.*, 2017).

A manufatura baseada em nuvem (*cloud manufacturing*) e o uso de SCF são também pilares da Indústria 4.0, possibilitando a coordenação e integração de sistemas físicos e digitais em uma escala sem precedentes (Monostori, 2014; Thames; Schaefer, 2016).

2.1.3 Impacto na Manufatura e Produção: Mudanças, Desafios e Oportunidades

A Indústria 4.0 traz profundas mudanças nos processos produtivos, revolucionando a maneira como produtos são fabricados e como as cadeias de suprimentos são gerenciadas. Um dos impactos mais significativos é a capacidade de personalização em massa, onde a produção de bens personalizados pode ser realizada em larga escala sem comprometer a eficiência (Dalenogare *et al.*, 2018).

A integração da cadeia de suprimentos, conhecida como cadeia de suprimentos inteligente, sincroniza a produção com os fornecedores para reduzir os tempos de entrega e minimizar distorções de informações (Ivanov *et al.*, 2016).

Além disso, a manufatura colaborativa permite que empresas combinem recursos para focar em suas competências principais e compartilhem capacidades para a inovação de produtos em plataformas industriais (Gawer; Cusumano, 2014; Kortmann; Piller, 2016).

No entanto, a implementação da Indústria 4.0 não está isenta de desafios. Investimentos substanciais em novas tecnologias e a necessidade de requalificação da força de trabalho para lidar com sistemas mais complexos e interconectados são barreiras significativas (Antony *et al.*, 2023; Chen; Tsai, 2017).

Apesar desses desafios, a Indústria 4.0 oferece oportunidades para a inovação e a eficiência, exigindo uma abordagem estratégica para maximizar os benefícios e

superar as dificuldades inerentes a essa transformação (Stock *et al.*, 2018; Tortorella; Fettermann, 2017).

A harmonização eficaz entre tecnologia, processos e pessoas é fundamental para garantir que todos os elementos do sistema de produção estejam alinhados com os objetivos de inovação e sustentabilidade da nova era industrial.

2.2 SCOPUS

2.2.1 Introdução à Base de Dados Scopus: O que é e Como Funciona

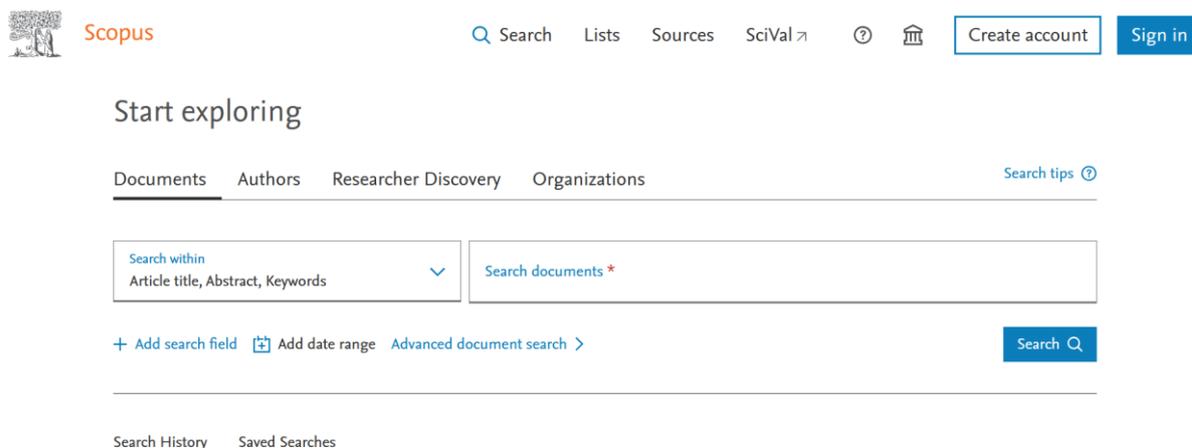
A base de dados Scopus foi criada em 2004 pela Elsevier e é uma das maiores e mais abrangentes bases de dados científicas disponíveis. A Scopus abrange várias fontes, incluindo periódicos científicos, livros e anais de conferências, selecionados através de um processo de seleção de conteúdo seguido por reavaliações contínuas. A decisão de indexar uma publicação é tomada pelo *Content Selection and Advisory Board* (CSAB).

Quando foi lançada em 2004, a Scopus continha cerca de 27 milhões de registros de publicações abrangendo o período de 1966 a 2004. Em 2019, a cobertura da base partia do ano de 1788, com aproximadamente 3 milhões de registros adicionados anualmente (Baas *et al.*, 2020).

Em outubro de 2019, a Scopus compreendia cerca de 23.452 títulos de periódicos ativos, 120.000 conferências e 206.000 livros de mais de 5.000 editores internacionais. Diferente da WoS, que possui múltiplos índices de citação, a Scopus utiliza um único índice de citação que cobre artigos de periódicos e conferências em várias áreas do conhecimento (Gavel; Iselid, 2008).

A plataforma Scopus oferece acesso a dados por meio das opções de Busca, Descoberta e Análise. A opção de Busca permite pesquisas de documentos, autores e buscas avançadas. A opção de Descoberta habilita os usuários a identificar colaboradores, organizações de pesquisa e dados de publicações relacionadas através de várias métricas, como palavras-chaves de autores e referências compartilhadas. A ferramenta de Análise possibilita o rastreamento de citações e a avaliação de resultados de busca com base em critérios como país, afiliação e área de pesquisa. A Figura 2 mostra a tela inicial da Scopus.

Figura 2 - Tela inicial da Scopus



Fonte: Elsevier (2024).

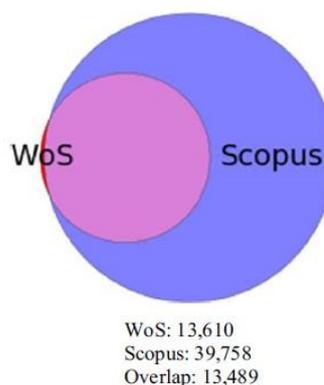
Os dados baixados da base Scopus para publicações de pesquisa geralmente incluem 43 campos, como título abreviado da fonte, resumo, palavras-chaves dos autores e tipo de documento (Baas *et al.*, 2020). Essas funcionalidades tornam a Scopus uma ferramenta muito utilizada por pesquisadores em diversas disciplinas.

2.2.2 Importância e Abrangência da Scopus na Pesquisa Acadêmica

A Scopus desempenha um papel relevante na pesquisa acadêmica devido à sua ampla cobertura e à profundidade dos dados que oferece. Estudos iniciais compararam a cobertura direta de diferentes bases de dados, destacando a importância da Scopus em áreas como Ciência, Tecnologia e Gestão (CTG). A Scopus supera o WoS em áreas de CTG, mas apresenta uma cobertura limitada nas humanidades para o período anterior a 1996 (Gavel; Iselid, 2008). A cobertura da Scopus é relevante para avaliações de pesquisa, pois permite uma visão mais completa e detalhada da produção científica global (Harzing; Alakangas, 2016).

Além disso, a Scopus tem sido fundamental para análises bibliométricas, que avaliam o impacto e a influência da pesquisa científica. A comparação da base Scopus com o WoS quanto à cobertura de títulos concluiu que, embora o WoS tenha uma cobertura robusta desde 1990, a Scopus abrange um número superior de periódicos (Chadegani *et al.*, 2013). A Figura 3 ilustra a cobertura da Scopus em relação à WoS, segundo Singh *et al.* (2021), 99,11% da WoS é coberta pela Scopus.

Figura 3 - Cobertura da Scopus sobre a WoS



Fonte: Singh *et al.* (2021).

Estudos posteriores analisaram a cobertura de periódicos ativos na Scopus e na WoS, concluindo que o uso de qualquer uma das bases de dados pode introduzir vieses que favorecem certas disciplinas, como Ciências Naturais e Engenharia, em detrimento de Ciências Sociais e Humanidades (Mongeon; Paul-Hus, 2016).

Essas análises destacam a importância da Scopus para uma avaliação equilibrada e abrangente da produção científica global.

2.2.3 Indicadores Bibliométricos da Scopus e Comparação de Indicadores

Os indicadores bibliométricos fornecidos pela Scopus são ferramentas essenciais para a avaliação da produção científica e do impacto da pesquisa. Entre os principais indicadores estão o número de publicações, o número de citações, o índice *h* e o SCImago *Journal Rank* (SJR). O índice *h*, por exemplo, é utilizado para medir tanto a produtividade quanto o impacto de um pesquisador ou de uma instituição, calculando o número de artigos que receberam pelo menos *h* citações cada. O SJR, por sua vez, mede a influência científica das revistas, considerando tanto o número de citações recebidas quanto a importância ou prestígio das revistas de onde essas citações se originam (López-Illescas; Moya-Anegón; Moed, 2008).

Comparar os indicadores bibliométricos do Brasil com os de outros países no contexto da Indústria 4.0 revela disparidades e oportunidades. Em termos de produção científica, estudos indicam que a cobertura da Scopus oferece uma visão mais abrangente da pesquisa global, incluindo áreas menos representadas na WoS (Visser; Van Eck; Waltman, 2021).

A análise de indicadores bibliométricos pode ajudar a identificar áreas de excelência e lacunas na pesquisa brasileira, orientando políticas e investimentos futuros para fortalecer a posição do país no cenário global da Indústria 4.0 (Singh *et al.*, 2021).

2.3 BIBLIOMETRIA

2.3.1 Definição e Importância da Bibliometria

A bibliometria é uma área de pesquisa que analisa quantitativamente a produção científica, fornecendo diretrizes e motivações para pesquisas futuras. Define-se a bibliometria como o estudo quantitativo da comunicação escrita, utilizando contagem de publicações e citações para mensurar a influência de trabalhos científicos (Broadus, 1987).

A bibliometria é a análise estatística de publicações escritas, como livros ou artigos, e seu objetivo principal é mapear a estrutura e a dinâmica de campos científicos examinando as relações entre publicações, autores, citações e palavras-chaves (Boyack; Klavans; Börner, 2005).

A bibliometria é útil devido à sua capacidade de quantificar padrões de comunicação científica, identificar autores e publicações influentes, e revelar a estrutura das disciplinas científicas (Chen, 2006).

Além disso, as técnicas bibliométricas são usadas para medir a produtividade, impacto e colaboração em pesquisa, bem como para identificar tendências e tópicos emergentes em um campo de estudo (Narin, 1976).

Por meio dessas análises, a bibliometria fornece ferramentas para gestores de pesquisa e formuladores de políticas monitorarem e avaliarem a produtividade e o impacto da pesquisa científica, auxiliando na alocação de financiamento e no desenvolvimento de estratégias para fortalecer a produção científica (Glänzel, 2003; Raan, 1997).

Assim, a bibliometria fornece uma visão detalhada do cenário científico e contribui para a tomada de decisões informadas sobre investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

2.3.2 Principais Indicadores Bibliométricos

Os principais indicadores bibliométricos incluem o número de publicações, citações e o índice h . O número de publicações refere-se à quantidade de artigos científicos produzidos por um autor, instituição ou país, fornecendo uma medida básica da produtividade científica. As citações, por outro lado, indicam quantas vezes um artigo foi referenciado por outros trabalhos, refletindo o impacto e a relevância da pesquisa no campo científico (Hood; Wilson, 2001). O índice h combina produtividade e impacto ao medir o número de artigos de um pesquisador que receberam pelo menos h citações cada. Esse índice é amplamente utilizado para avaliar a influência de pesquisadores e instituições, permitindo uma comparação mais equilibrada entre diferentes áreas do conhecimento.

Além desses, outros indicadores como o acoplamento bibliográfico e a análise de cocitação são utilizados para medir a proximidade temática entre artigos, comparando suas referências ou analisando as citações em comum (Kessler, 1963).

Esses indicadores são fundamentais para a compreensão da dinâmica da produção científica, ajudando a identificar áreas de pesquisa emergentes e a mapear redes de colaboração científica. O Quadro 1 apresenta um resumo dos métodos bibliométricos mais utilizados.

Quadro 1 - Resumo dos métodos bibliométricos (continua)

| Método | Descrição | Unidades de Análise | Prós | Contras |
|-----------|--|---------------------------------|--|---|
| Citação | Estima a influência de documentos, autores ou periódicos através das taxas de citação | Documento Autor Periódico | Pode rapidamente encontrar os trabalhos importantes na área | Trabalhos mais recentes tiveram menos tempo para serem citados, portanto, a contagem de citação como uma medida de influência é tendenciosa para trabalhos mais antigos |
| Cocitação | Conecta documentos, autores ou periódicos com base na aparição conjunta em listas de referências | Documento Autor Periódico | É o método bibliométrico mais utilizado e validado. Conectar documentos, autores ou periódicos por cocitação tem se mostrado confiável. Uma vez que a citação é uma medida de influência, oferece um método para filtrar os trabalhos mais importantes | A cocitação é realizada em artigos citados, portanto, não é ideal para mapear frentes de pesquisa. Leva tempo para acumular, então novos artigos não podem ser conectados diretamente, mas apenas através de <i>clusters</i> de conhecimento base. Várias citações são necessárias para mapear artigos, então é impossível mapear artigos que não são citados muito |

Quadro 1 - Resumo dos métodos bibliométricos (conclusão)

| Método | Descrição | Unidades de Análise | Prós | Contras |
|---------------------------|---|---------------------------------|---|--|
| Coautoria | Conecta autores quando trabalham em coautoria no artigo | Autor | Pode fornecer evidências de colaboração e produzir a estrutura social do campo | A colaboração nem sempre é reconhecida com coautoria |
| Acoplamento Bibliográfico | Conecta documentos, autores ou periódicos com base no número de referências compartilhadas | Documento Autor Periódico | Imediatamente disponível; não requer citações para acumular. Pode ser usado para novos trabalhos que não são citados ainda, campos emergentes e subcampos menores | Só pode ser usado para intervalo de tempo limitado (até um intervalo de cinco anos). Não indica necessariamente que os trabalhos mais importantes pelo número de citações são importantes ou não |
| Coocorrência | Conecta palavras-chaves quando aparecem no mesmo título, resumo ou lista de palavras-chaves | Palavra | Usa o conteúdo real dos documentos para análise (outros métodos só usam metadados bibliográficos) | Palavras podem aparecer em formas diferentes e podem ter significados diferentes |

Fonte: Adaptado de Zupic e Čater (2015).

2.3.3 Aplicações da Bibliometria

A bibliometria tem uma ampla gama de aplicações em diferentes áreas do conhecimento. Na área da ciência e tecnologia, por exemplo, é utilizada para avaliar o desempenho de pesquisadores e instituições, identificar tendências de pesquisa e mapear a evolução de campos científicos específicos (Zupic; Čater, 2015).

Segundo Zupic e Čater (2015), as etapas de uma análise bibliométrica, são as seguintes:

- (1) design do estudo: definição do objetivo, escolha do banco de dados e definição dos filtros a serem aplicados para delimitação da amostra;
- (2) coleta e tratamento dos dados: seleção, captura e tratamento dos dados bibliométricos após aplicação dos filtros definidos no passo anterior;
- (3) análise de dados: emprego de *softwares* para análises bibliométricas e estatísticas;
- (4) interpretação: interpretar e descrever as descobertas.

Em ciências sociais, a bibliometria pode ajudar a compreender as redes de colaboração entre pesquisadores e a influência de publicações em políticas públicas.

Ferramentas computacionais como o VOSviewer são frequentemente empregadas para visualização e análise de dados bibliométricos, permitindo a criação de mapas de rede que identificam padrões de coautoria, citações e relações entre palavras-chaves (Van Eck; Waltman, 2010).

Além disso, técnicas como a análise *co-word* e o acoplamento bibliográfico são utilizadas para explorar a estrutura conceitual de campos de pesquisa, identificando temas centrais e emergentes (Kessler, 1963).

A bibliometria é aplicada para a avaliação da produção científica e para o desenvolvimento de estratégias de pesquisa e inovação, contribuindo para o avanço do conhecimento em diversas disciplinas.

2.4 VOSVIEWER

2.4.1 Descrição da Ferramenta

O VOSviewer é um programa de computador gratuito desenvolvido para construir e visualizar mapas bibliométricos. Diferente da maioria dos programas usados para mapeamento bibliométrico, o VOSviewer foca na representação gráfica desses mapas, facilitando a interpretação visual dos dados. Além disso, ele é útil para exibir mapas bibliométricos grandes de forma detalhada, possuindo funcionalidades para zoom, rolagem e busca, que facilitam o exame de um mapa (Van Eck; Waltman, 2010).

Suas principais funcionalidades incluem a criação, visualização e exploração de mapas baseados em qualquer tipo de dados de rede, oferecendo três modos de visualização: rede, sobreposição e densidade. A Figura 4 mostra a janela principal do *software* onde os números designam (1) o painel principal, (2) o painel de opções, (3) o painel de informações, (4) o painel de visão geral e (5) o painel de ações.

Figura 4 - Janela principal do VOSviewer



Legenda: (1) o painel principal, (2) o painel de opções, (3) o painel de informações, (4) o painel de visão geral e (5) o painel de ações.

Fonte: Van Eck e Waltman (2018).

Essa ferramenta é utilizada na análise de redes de coautoria, cocitação e coocorrência de palavras-chave, permitindo a análise das interações e influências no campo científico.

2.4.2 Como Utilizar o VOSviewer

O processo de criação de mapas no VOSviewer envolve várias etapas. Primeiramente, é necessário definir o objetivo do estudo e escolher a base de dados, como WoS, Scopus ou PubMed, e definir os filtros para delimitação da amostra (Zupic; Čater, 2015). Após a coleta e tratamento dos dados, que podem ser extraídos em formatos como RIS ou JSON, o VOSviewer manipula esses arquivos para criar o mapa bibliométrico. A análise dos dados é realizada com o uso de algoritmos específicos do *software* que permitem a visualização dos mapas em diferentes modos, como rótulo, densidade, densidade de *cluster* e dispersão (Van Eck; Waltman, 2010).

Para construir um mapa, o VOSviewer utiliza a técnica de mapeamento VOS (*Visualization of Similarities*), onde a posição dos itens no mapa é determinada pela minimização de uma função objetivo que representa a distância entre os itens e a força das suas relações. A função objetivo é definida como:

$$V(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) = \sum_{i < j} s_{ij} \|\bar{x}_i - \bar{x}_j\|^2$$

Onde $\bar{x}_i = (x_{i1}, x_{i2})$ é o vetor de posição do item i em um mapa bidimensional, n é o número de itens, $\|\cdot\|$ é a norma Euclidiana e s_{ij} é a similaridade entre os itens i e j . A similaridade s_{ij} é dada pela Fórmula (1) e pode ser calculada com base na coocorrência de termos, citações compartilhadas ou outros critérios relevantes. A fórmula de similaridade é dada por:

$$s_{ij} = \frac{c_{ij}}{\omega_i \omega_j} \quad (1)$$

Onde c_{ij} denota o número de coocorrências dos itens i e j , e ω_i e ω_j representam o número total de ocorrências dos itens i e j ou o número total de coocorrências desses itens. Essa medida de similaridade, conhecida como força de associação, é proporcional à razão entre o número observado de coocorrência dos itens i e j e o número esperado de coocorrências sob a suposição de que as ocorrências dos itens i e j são estatisticamente independentes (Van Eck; Waltman, 2007). A minimização da função objetivo é sujeita à restrição:

$$\frac{2}{n(n-1)} \sum_{i < j} \|\bar{x}_i - \bar{x}_j\| = 1$$

Este problema de otimização restrita é resolvido numericamente em duas etapas: primeiramente, é convertido em um problema de otimização irrestrita, que é então resolvido usando um algoritmo de majorização, uma variante do algoritmo SMACOF descrito na literatura de escalonamento multidimensional (Van Eck; Waltman, 2010).

A otimização no VOSviewer envolve a disposição dos itens de forma que a estrutura das suas relações seja claramente visualizada, onde itens relacionados são atraídos uns aos outros, enquanto itens não relacionados se repelem (Van Eck; Waltman, 2010).

Para garantir consistência nos resultados, o VOSviewer aplica várias transformações nos mapas gerados. Essas transformações incluem translação, para centralizar o mapa na origem; rotação, para maximizar a variância na dimensão horizontal usando Análise de Componentes Principais; e reflexão, para assegurar que o mapa seja visualmente consistente. Essas transformações asseguram que o VOSviewer produza resultados consistentes, mesmo quando o algoritmo de otimização é iniciado com diferentes soluções iniciais (Van Eck; Waltman, 2010).

A determinação dos *clusters* no VOSviewer é feita utilizando técnicas de agrupamento baseadas na modularidade e no *layout* direcionado por forças. *Clusters* são grupos de itens que estão fortemente relacionados entre si. A técnica de agrupamento no VOSviewer envolve a identificação de *clusters*, onde cada item pertence a apenas um *cluster* e itens sem relações fortes suficientes podem não ser atribuídos a nenhum *cluster*. A visualização de densidade de *cluster* permite uma visualização clara da estrutura e das relações entre *clusters*, facilitando a interpretação dos dados (Van Eck; Waltman, 2010).

2.4.3 Casos de Uso e Exemplos

Diversos estudos utilizaram o VOSviewer para análise bibliométrica, demonstrando sua aplicação em várias áreas: Utilização do VOSviewer para realizar uma análise bibliométrica da WoS, identificando áreas relacionadas à humanização e sustentabilidade do conceito de Indústria 4.0 (Grabowska; Saniuk; Gajdzik, 2022); aplicação do VOSviewer para mapear o impacto da Indústria 4.0 nos sistemas de medição de desempenho, analisando uma amostra de 325 documentos (Lopes; Martins, 2021); emprego do VOSviewer para analisar a produção científica sobre gêmeo digital e manufatura inteligente com foco na Indústria 4.0, utilizando dados da WoS (Moiceanu; Paraschiv, 2022); realização de análise quantitativa da evolução científica da economia circular no setor de construção, utilizando o VOSviewer para analisar cerca de 7000 documentos (Norouzi *et al.*, 2021); condução de uma análise

bibliométrica de megatendências tecnológicas, usando o VOSviewer para examinar 549 documentos do Scopus e 291 da WoS (Jeflea *et al.*, 2022).

2.4.4 Vantagens e Limitações

O VOSviewer possui vantagens que o tornam uma ferramenta útil para análises bibliométricas. Uma de suas principais características é a capacidade de lidar com mapas contendo um grande número de itens, representando-os graficamente de forma clara e detalhada (Van Eck; Waltman, 2010).

O *software* oferece funcionalidades avançadas de zoom e rolagem, permitindo que os usuários examinem tanto a estrutura global quanto os detalhes específicos dos mapas. As cores nos mapas do VOSviewer são definidas com base na densidade de itens, onde áreas com maior concentração de itens são destacadas com cores mais intensas, facilitando a identificação de padrões e relações importantes (Van Eck; Waltman, 2010).

No entanto, o VOSviewer também apresenta algumas limitações. Por exemplo, os algoritmos de processamento de linguagem natural utilizados para a identificação de termos são otimizados para dados em inglês, o que pode limitar seu uso com dados em outros idiomas. Além disso, o uso do VOSviewer com grandes volumes de dados pode exigir uma grande quantidade de memória computacional, podendo ocorrer erros se a memória disponível não for suficiente (Van Eck; Waltman, 2010).

3 METODOLOGIA

3.1 COLETA DOS DADOS

Foi realizada a coleta dos dados na base Scopus, disponível a partir do Portal Periódicos da Capes, no dia 22 de junho de 2024. Para a elaboração da *query string* foram adotados os descritores: “*Fourth Industrial Revolution*”, “*Industrial Revolution 4.0*” e “*Industry 4.0*”, de acordo com o *Thesaurus* IEEE (IEEE, 2024).

Foram buscados os artigos que contivessem os descritores nos campos de título, resumo ou palavras-chaves, limitando-se àqueles publicados em periódicos no intervalo de anos [2013, 2023]. Inicialmente foram obtidos os dados mundiais e, posteriormente, restritos aos trabalhos do Brasil. As expressões de busca com os objetivos, operadores booleanos e os correspondentes números de publicações encontradas estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Consulta na base de dados Scopus (continua)

| Objetivo | Query String | Encontradas |
|-----------------------------------|--|-------------|
| Publicações sobre todos os temas | SRCTYPE (j) AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp")) | 25.388.062 |
| Publicações sobre a Indústria 4.0 | (TITLE-ABS-KEY ("Fourth Industrial Revolution" OR "Industrial Revolution 4.0" OR "industry 4.0")) AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (SRCTYPE, "j")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) | 13.571 |

Tabela 1 - Consulta na base de dados Scopus (conclusão)

| Objetivo | Query String | Encontradas |
|---|--|-------------|
| Publicações do Brasil sobre a Indústria 4.0 | (TITLE-ABS-KEY ("Fourth Industrial Revolution" OR "Industrial Revolution 4.0" OR "industry 4.0")) AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024 AND LIMIT-TO (SRCTYPE, "j") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY, "Brazil")) | 578 |

Fonte: Elaboração própria.

3.2 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

As análises foram realizadas utilizando-se as métricas e recortes dos dados, conforme mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Métricas e recortes dos dados (continua)

| Item | Métrica | Recorte |
|---------------------------------------|--|-------------------|
| Evolução das Publicações | Número de publicações/ano | [2013, 2023] |
| | CAGR ¹ | [2013, 2023] |
| Países ² | % publicação | 10 maiores |
| | Número de citações | 10 maiores |
| | Rede de coautoria | >= 10 publicações |
| | Rede de citação | >= 10 publicações |
| | Rede de acoplamento bibliográfico | >= 10 publicações |
| Áreas | % publicação | 10 maiores |
| Periódicos ² | Número de publicações | 10 maiores |
| | Número de citações | 10 maiores |
| | Rede de citação | >= 20 citações |
| | Rede de cocitação | >= 300 citações |
| | Rede de acoplamento bibliográfico | >= 20 publicações |
| Financiadores | Número de publicações | 10 maiores |
| Instituições | Número de publicações | 12 maiores |
| | Rede de coautoria | >= 10 publicações |
| | Rede de citação | >= 10 publicações |
| | Rede de acoplamento bibliográfico | >= 10 publicações |
| Autores ² | Número de publicações | 10 maiores |
| | Número de citações | 10 maiores |
| | Rede de coautoria | >= 10 publicações |
| | Rede de citação | >= 550 citações |
| | Rede de acoplamento bibliográfico | >= 550 citações |
| | Rede de cocitação | >= 500 citações |
| | Número de publicações x número de citações | >= 550 citações |
| | Número de publicações x força de coautoria | >= 10 publicações |
| Número de citações x força de citação | >= 550 citações | |

Quadro 2 - Métricas e recortes dos dados (conclusão)

| Item | Métrica | Recorte |
|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Publicações | Número de citações e citações/ano | 10 maiores |
| Palavras-chaves ² | Número de ocorrências | 20 maiores |
| | Rede de coocorrência | >=100 (5) ³ ocorrências |
| | Rede de coocorrência (tempo) | >=100 (5) ³ ocorrências |
| | Comparativo Brasil x Mundo | 23 |

Notas: ¹ *Compound Annual Growth Rate*.

² Utilização de *Thesaurus*.

³ Para os dados do Brasil.

Fonte: Elaboração própria.

Foram elaboradas listas *Thesaurus* para os nomes de países (APÊNDICE A), periódicos (APÊNDICE B), autores (APÊNDICE C) e palavras-chaves (APÊNDICES D e E), para as análises com VOSviewer.

Em complemento à evolução temporal das publicações, foram calculadas as taxas de crescimento anual médias do número de publicações no período. Para isso, utilizou-se a fórmula da taxa de crescimento anual composta (CAGR - *Compound Annual Growth Rate*). A CAGR fornece uma taxa média anual de crescimento ao longo de um período de tempo específico, assumindo crescimento composto e é calculada usando a seguinte fórmula:

$$CAGR = \left(\frac{V_f}{V_i} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (2)$$

Onde:

- V_f é o valor final (número de publicações em 2023).
- V_i é o valor inicial (número de publicações no primeiro ano).
- n é o número de anos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES

4.1.1 Publicações sobre Todos os Temas

A Figura 5 apresenta a evolução temporal das publicações mundiais sobre todos os temas.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

A Figura 5 demonstra o crescimento linear do número de publicações sobre todos os temas ao longo do período de 2013 a 2023, uma vez que os dados foram ajustados por uma reta resultando em um valor de significância reduzido $p < 0,01$ (APÊNDICE F).

Para os dados apresentados na Figura 5 e a partir da Fórmula (2), temos:

$$V_f = 2.864.663$$

$$V_i = 1.828.452$$

$$n = 10$$

Substituindo os valores na Fórmula (2), temos:

$$CAGR = \left(\frac{2.864.663}{1.828.452} \right)^{\frac{1}{10}} - 1$$

Calculando a razão:

$$\frac{2.864.663}{1.828.452} \approx 1,567$$

Aplicando a raiz décima:

$$(1,567)^{\frac{1}{10}} \approx 1,046$$

Subtraindo 1 para encontrar a taxa de crescimento anual composta:

$$1,046 - 1 = 0,046$$

Convertendo para percentual, temos:

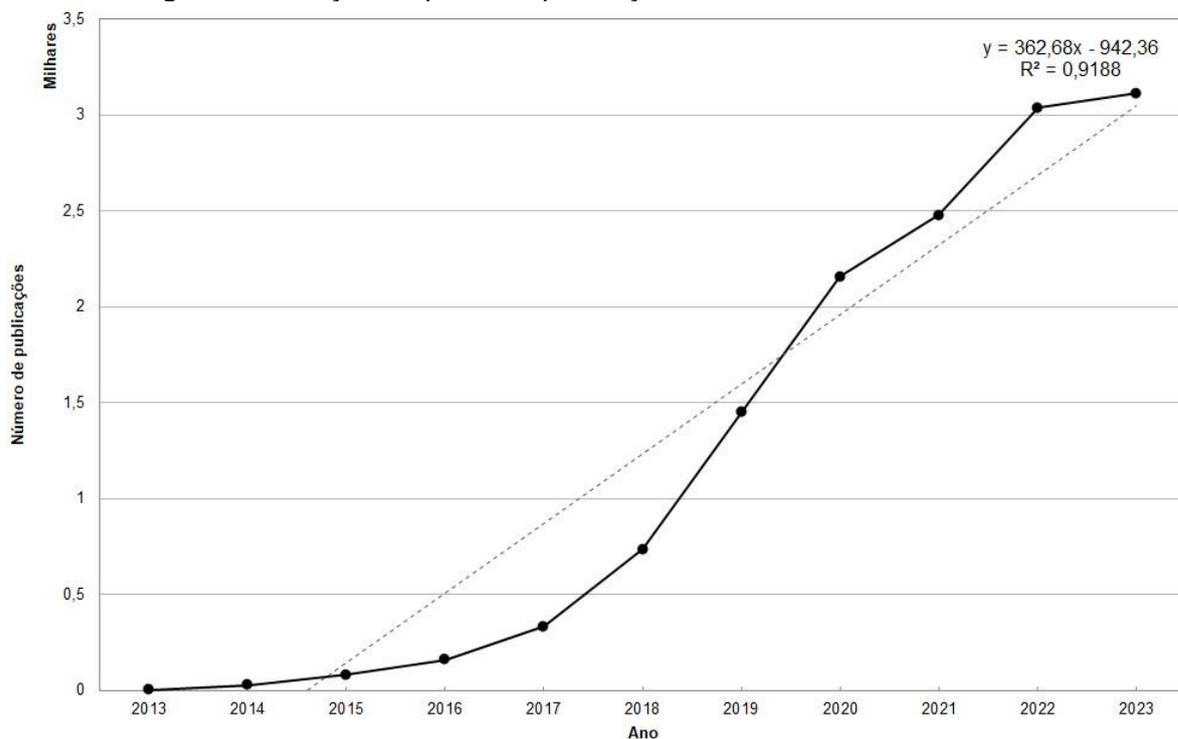
$$CAGR \approx 4,6\%$$

Portanto, a CAGR para o número de publicações é aproximadamente 4,6%.

4.1.2 Publicações sobre a Indústria 4.0

A Figura 6 apresenta a evolução temporal das publicações mundiais sobre a Indústria 4.0.

Figura 6 - Evolução temporal das publicações mundiais sobre a Indústria 4.0



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

A Figura 6 demonstra o crescimento linear do número de publicações mundiais sobre a Indústria 4.0, uma vez que os dados foram ajustados por uma reta resultando em um valor de significância reduzido $p < 0,01$ (APÊNDICE G).

Para os dados apresentados na Figura 6 e a partir da Fórmula (2), temos:

$$V_f = 3.112$$

$$V_i = 3$$

$$n = 10$$

Substituindo os valores na Fórmula (2), temos:

$$CAGR = \left(\frac{3.112}{3} \right)^{\frac{1}{10}} - 1$$

Calculando a razão:

$$\frac{3.112}{3} \approx 1.037,33$$

Aplicando a raiz décima:

$$(1.037,33)^{\frac{1}{10}} \approx 2,003$$

Subtraindo 1 para encontrar a taxa de crescimento anual composta:

$$2,003 - 1 = 1,003$$

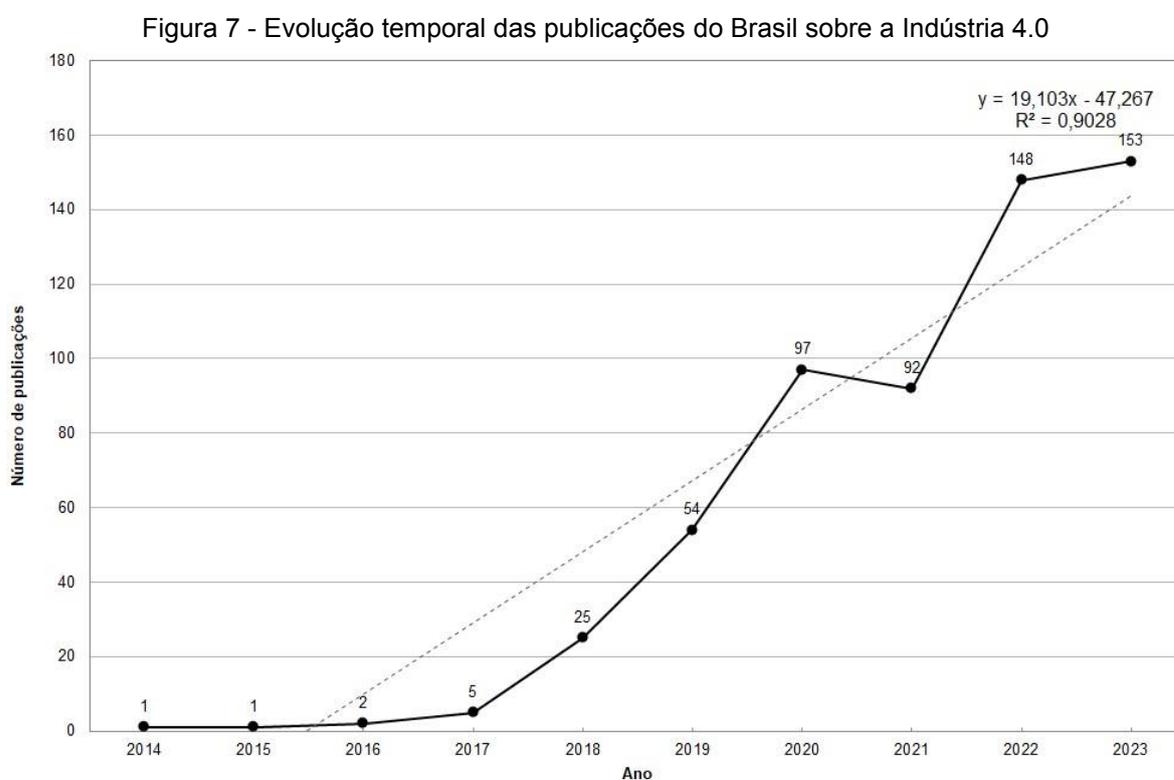
Convertendo para percentual, temos:

$$CAGR \approx 100,3\%$$

Portanto, a CAGR para o número de publicações mundiais sobre a Indústria 4.0 é aproximadamente 100,3%.

4.1.3 Publicações do Brasil sobre a Indústria 4.0

A Figura 7 apresenta a evolução temporal das publicações do Brasil sobre a Indústria 4.0.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

A Figura 7 demonstra o crescimento linear do número de publicações do Brasil sobre a Indústria 4.0, uma vez que os dados foram ajustados por uma reta resultando em um valor de significância reduzido $p < 0,01$ (APÊNDICE H). A primeira publicação ocorreu no ano de 2014 e a queda observada no ano de 2021 provavelmente é consequência da pandemia da Covid-19 iniciada no ano anterior.

Para os dados apresentados na Figura 7 e a partir da Fórmula (2), temos:

$$V_f = 153$$

$$V_i = 1$$

$$n = 9$$

Substituindo os valores na Fórmula (2), temos:

$$CAGR \approx 74,9\%$$

Portanto, a CAGR para o número de publicações do Brasil sobre a Indústria 4.0 é aproximadamente 74,9%.

A Tabela 2 apresenta o resumo das CAGR para as publicações.

Tabela 2 - Publicações e CAGR

| Publicações | CAGR |
|-----------------------|-------------|
| Todos os temas: Mundo | 4,6% |
| Indústria 4.0: Mundo | 100,3% |
| Indústria 4.0: Brasil | 74,9% |

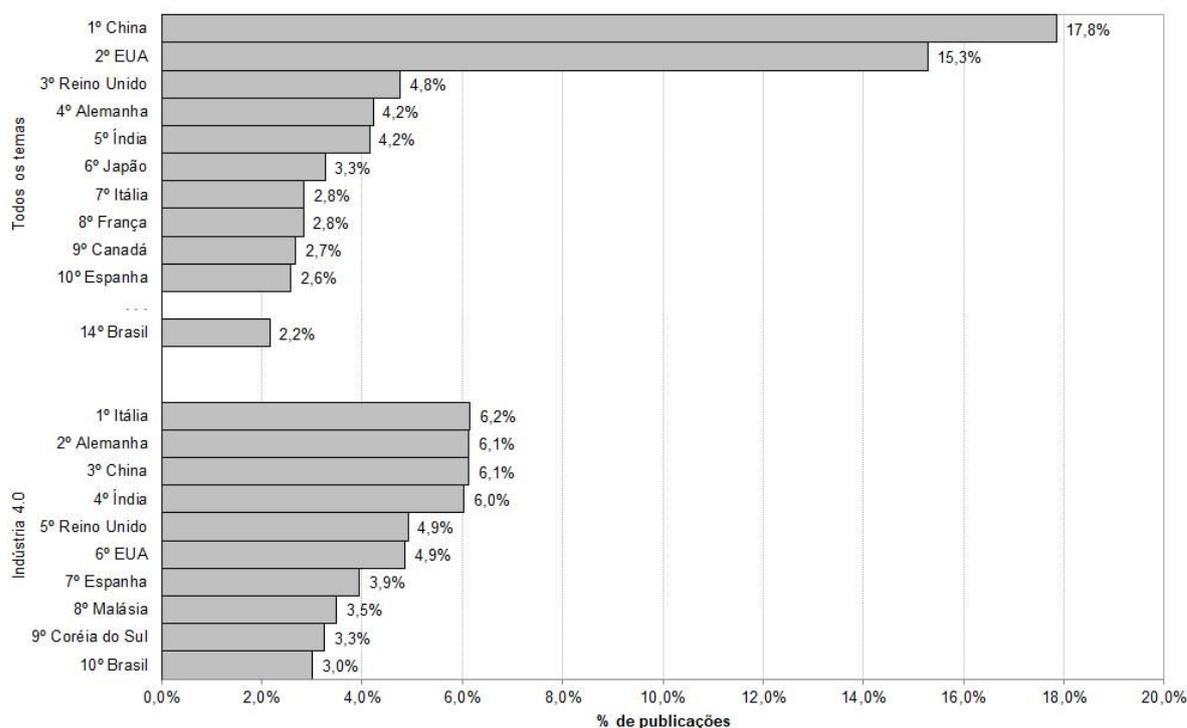
Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a Tabela 2, as CAGR para as publicações de todos os temas, Indústria 4.0 no mundo e no Brasil são respectivamente 4,6%, 100,3% e 74,9%. Esse resultado evidencia o interesse da comunidade científica pela Indústria 4.0, no entanto, o crescimento das pesquisas no Brasil ocorre em um ritmo menor que no mundo.

4.2 PRINCIPAIS PAÍSES

A Figura 8 apresenta os países que mais publicaram sobre todos os temas e sobre a Indústria 4.0.

Figura 8 - Países que mais publicaram



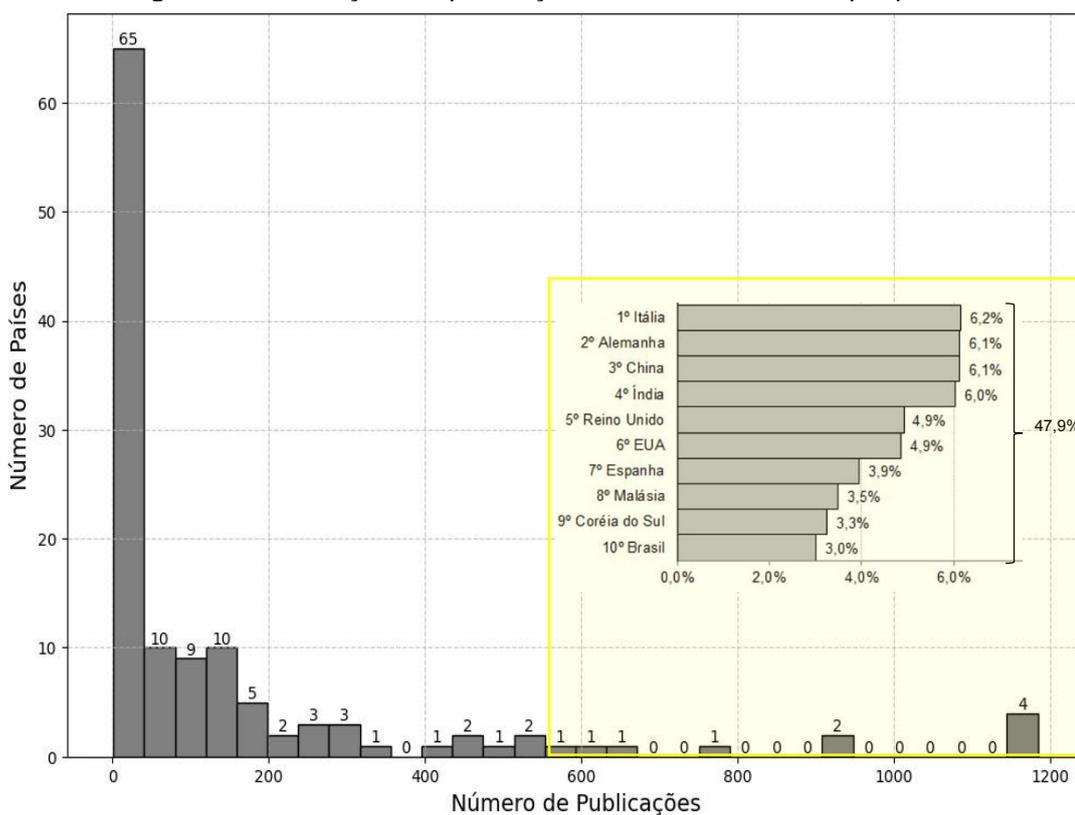
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

Conforme mostrado na Figura 8, os países que mais publicaram foram a China (17,8%), EUA (15,3%) e Reino Unido (4,8%), com uma significativa diferença entre o 2º e 3º colocados. Os dois primeiros colocados, China e EUA, totalizam 33,1% das publicações. O Brasil aparece em 14º com 2,2% do total das publicações.

Relativo ao tema Indústria 4.0, a Figura 8 mostra que a Itália (6,2%), Alemanha (6,1%), China (6,1%) e Índia (6,0%) lideram em percentual de publicações, estando aproximadamente empatados. Esses totalizam 24,4% das publicações sobre o tema. O Brasil é o 10º colocado com 3,0% das publicações.

A Figura 9 mostra a distribuição das publicações sobre Indústria 4.0 por países, destacando os dez países que mais publicaram.

Figura 9 - Distribuição das publicações sobre a Indústria 4.0 por países

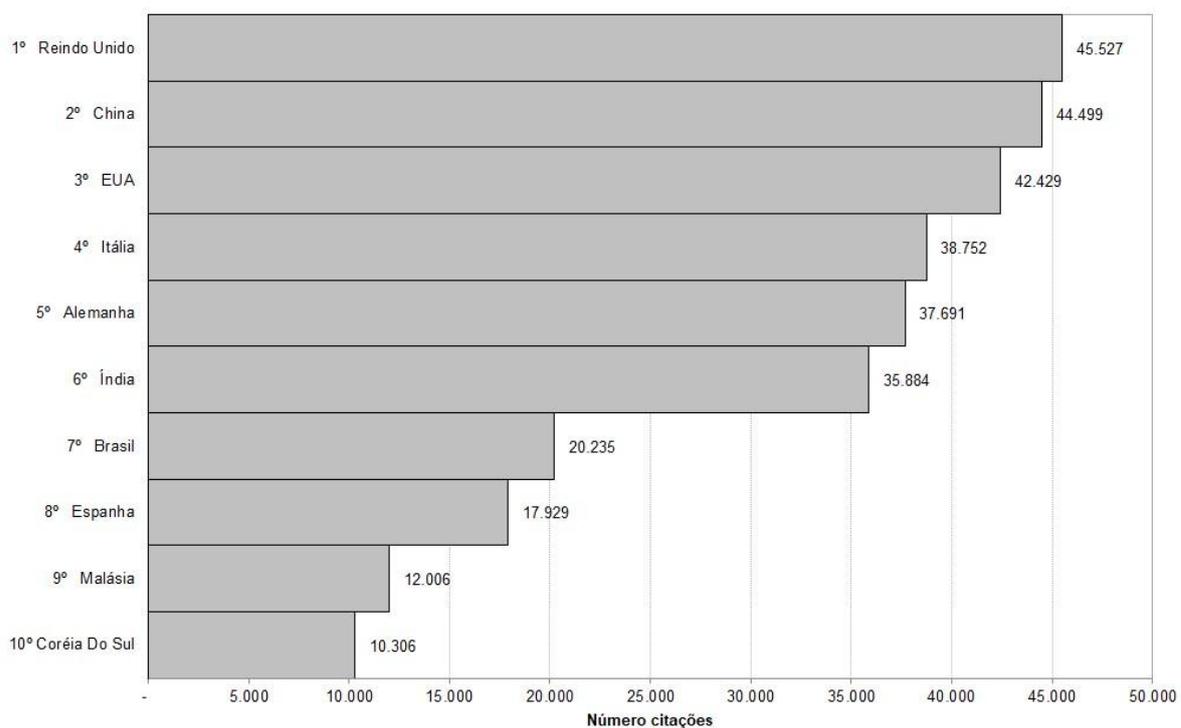


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

De acordo com a Figura 9, os dez países que mais publicaram sobre a Indústria 4.0 têm mais do que 500 artigos cada um e, juntos, representam 47,9% de todas as publicações sobre o tema.

A Figura 10 apresenta os dez países mais citados quando o tema das publicações é a Indústria 4.0.

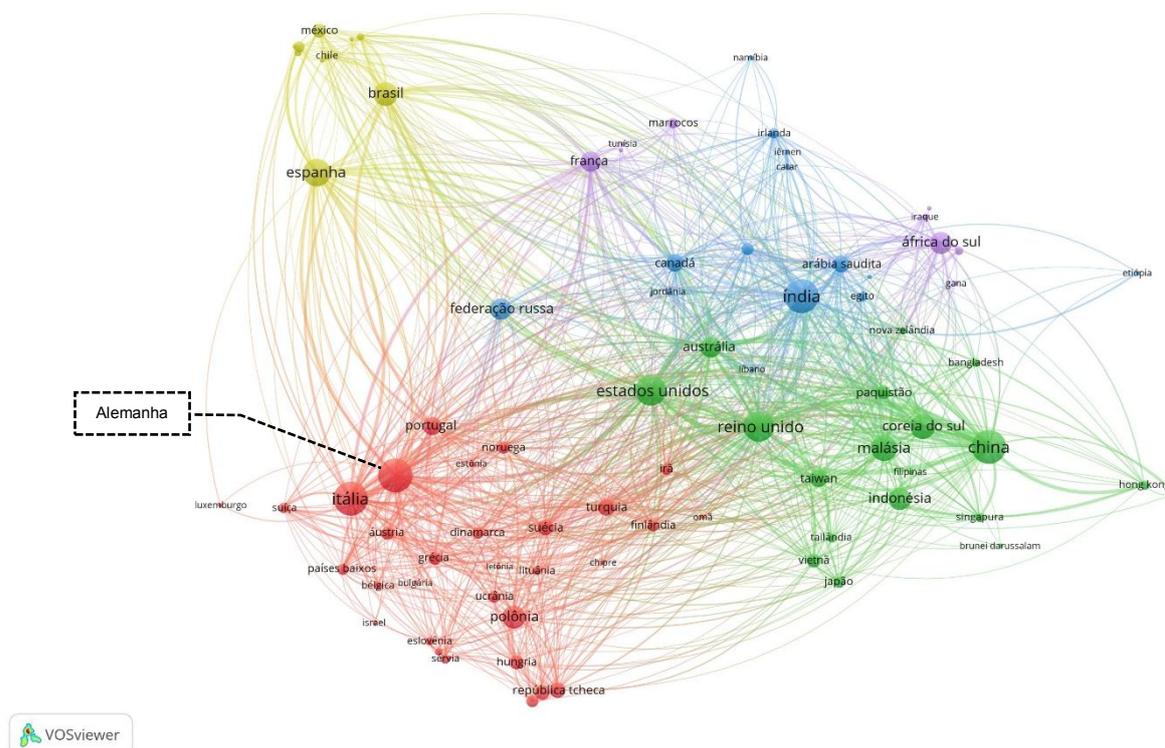
Figura 10 - Países mais citados sobre Indústria 4.0



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

O Reino Unido, China e EUA são os três países mais citados, conforme mostrado na Figura 10. O Brasil foi o 7º país mais citado. Relativo ao tema Indústria 4.0, o Brasil está melhor posicionado tanto em percentual de publicações quanto a citações recebidas, o que demonstra um relevante envolvimento do Brasil no tema.

A rede de coautoria entre os países é mostrada na Figura 11.

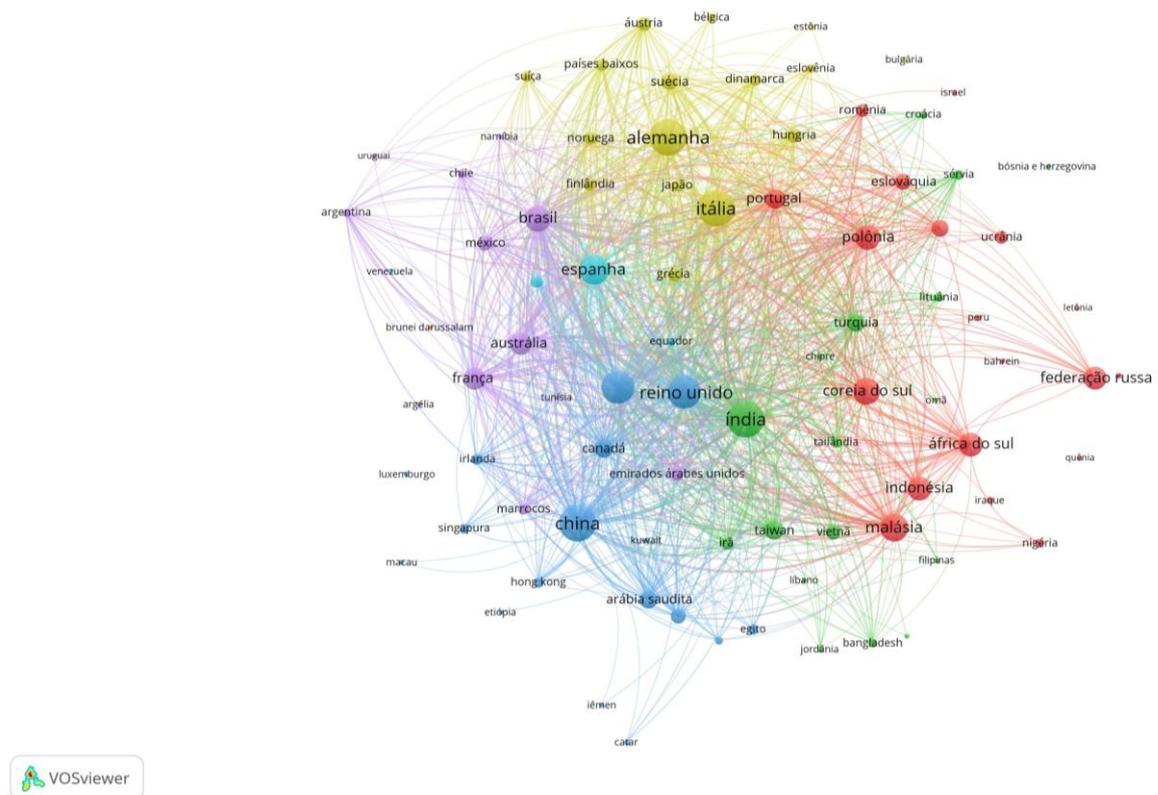
Figura 11 - Rede de coautoria com 87 países em 5 *clusters*

Nota: O tamanho dos nós são proporcionais ao número de publicações.
 Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

Conforme mostrado na Figura 11, China, EUA e Reino Unido pertencem a um mesmo *cluster* de coautoria, indicando um alinhamento de interesses. Itália e Alemanha formam um outro *cluster*, assim como a Índia e o Brasil separadamente. Apesar de apresentar relações de coautoria com países líderes em publicações sobre a Indústria 4.0, o Brasil está afastado dos *clusters* dos países à sua frente em citações, especificamente relativo à China, ocupa uma posição diametralmente oposta na rede. Esse fato indica uma oportunidade de incrementar a colaboração internacional para diversificar a abordagem das pesquisas sobre a Indústria 4.0 e aumentar a visibilidade. A rede de coautoria dos países com uma escala de tempo pode ser visualizada no APÊNDICE I.

A Figura 12 mostra a rede de citação e uma aglutinação dos países líderes em publicações sobre o tema, demonstrando que concentram a atenção da comunidade científica. O Brasil pertence a um *cluster* diferente dos países líderes em publicações e citações, indicando um possível nicho temático ou uma influência limitada.

Figura 13 - Rede de acoplamento bibliográfico com 87 países em 7 clusters



Nota: O tamanho dos nós são proporcionais ao número de publicações.

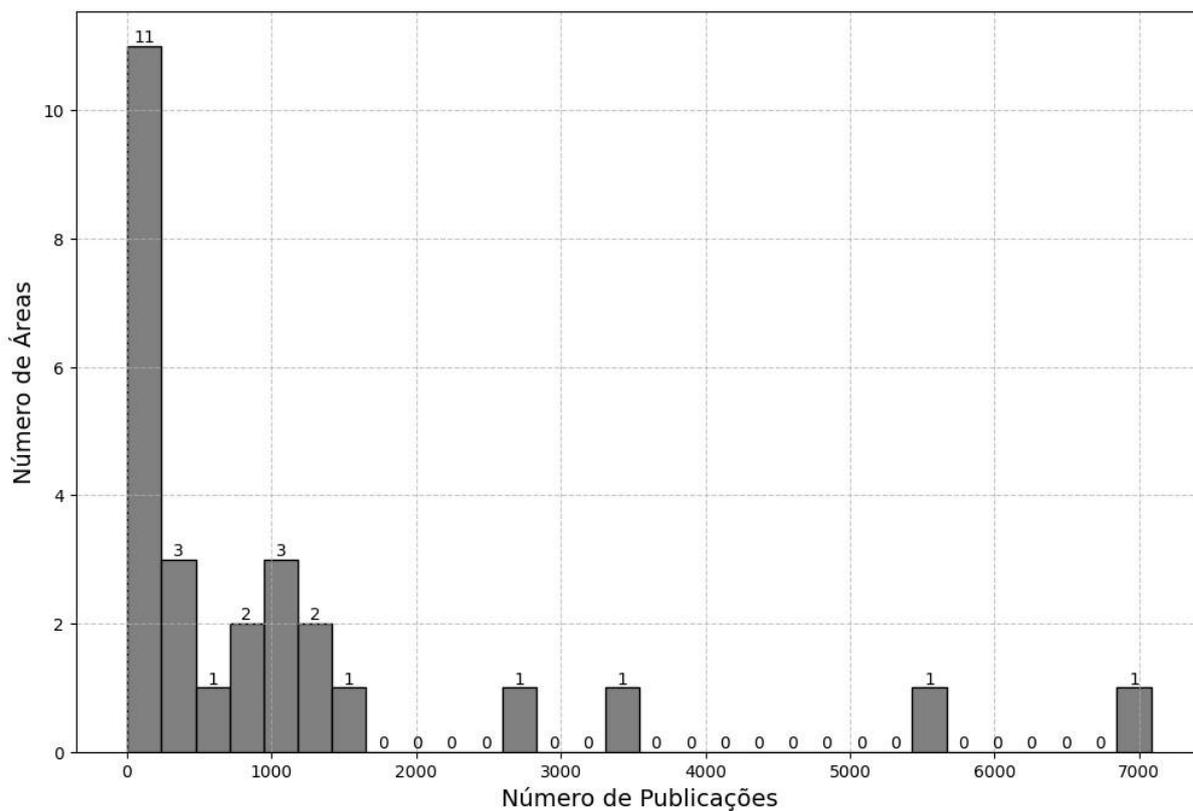
Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

A rede de acoplamento bibliográfico dos países com uma escala de tempo pode ser visualizada no APÊNDICE K.

4.3 PRINCIPAIS ÁREAS

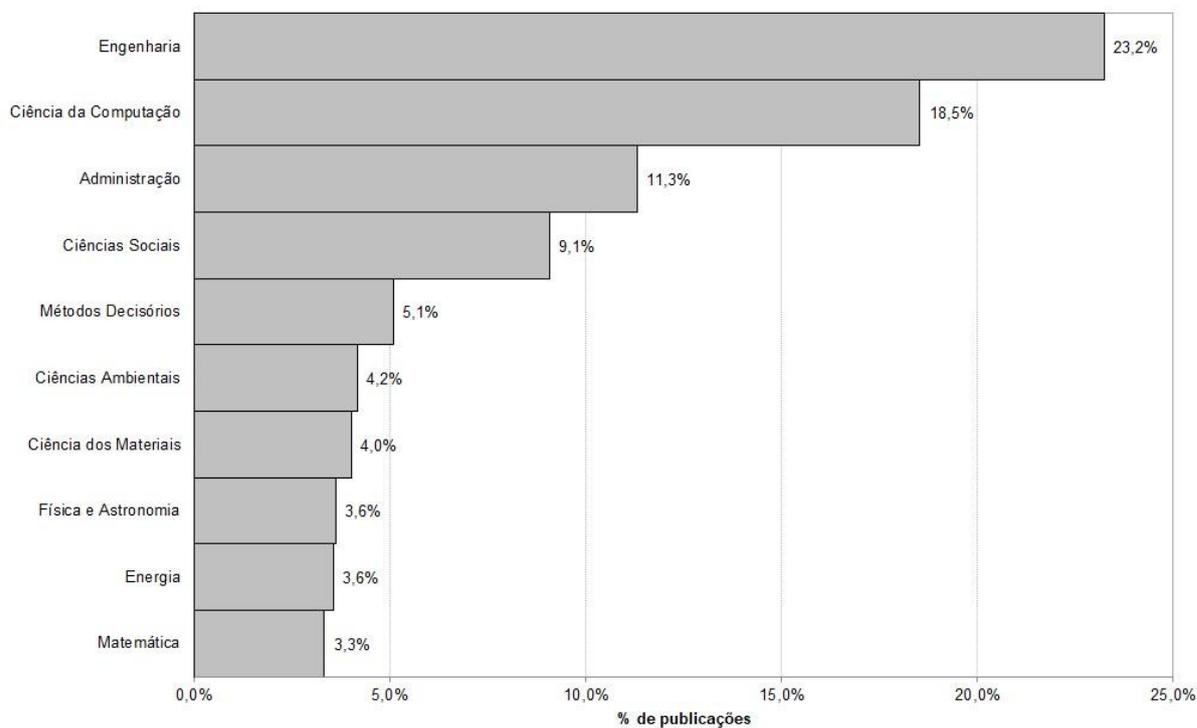
A Figura 14 mostra a distribuição de publicações por áreas indicando que apenas quatro delas se destacam tendo mais de 2.500 publicações. Essas quatro áreas são mostradas na Figura 15, junto com as demais que representam as dez que mais estão vinculadas às publicações sobre a Indústria 4.0.

Figura 14 - Distribuição das publicações por áreas



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

Figura 15 - Principais áreas das publicações

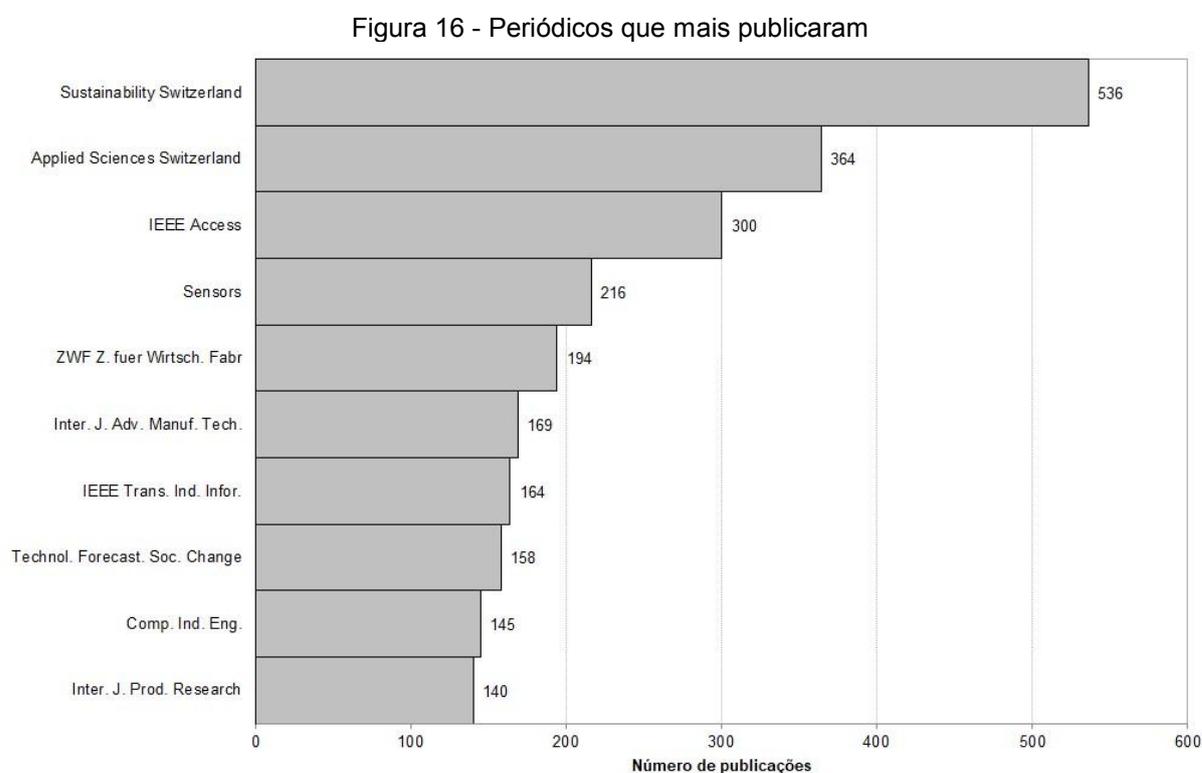


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

De acordo com a Figura 15, a Engenharia é a área na qual as publicações mais se vinculam (23,2%), seguida da Ciência da Computação (18,5%), Administração (11,3%) e Ciências Sociais (9,1%). Juntas, essas quatro áreas concentram 62,1% das publicações, indicando uma convergência de interesses das Ciências Exatas, Humanas e Sociais.

4.4 PRINCIPAIS PERIÓDICOS

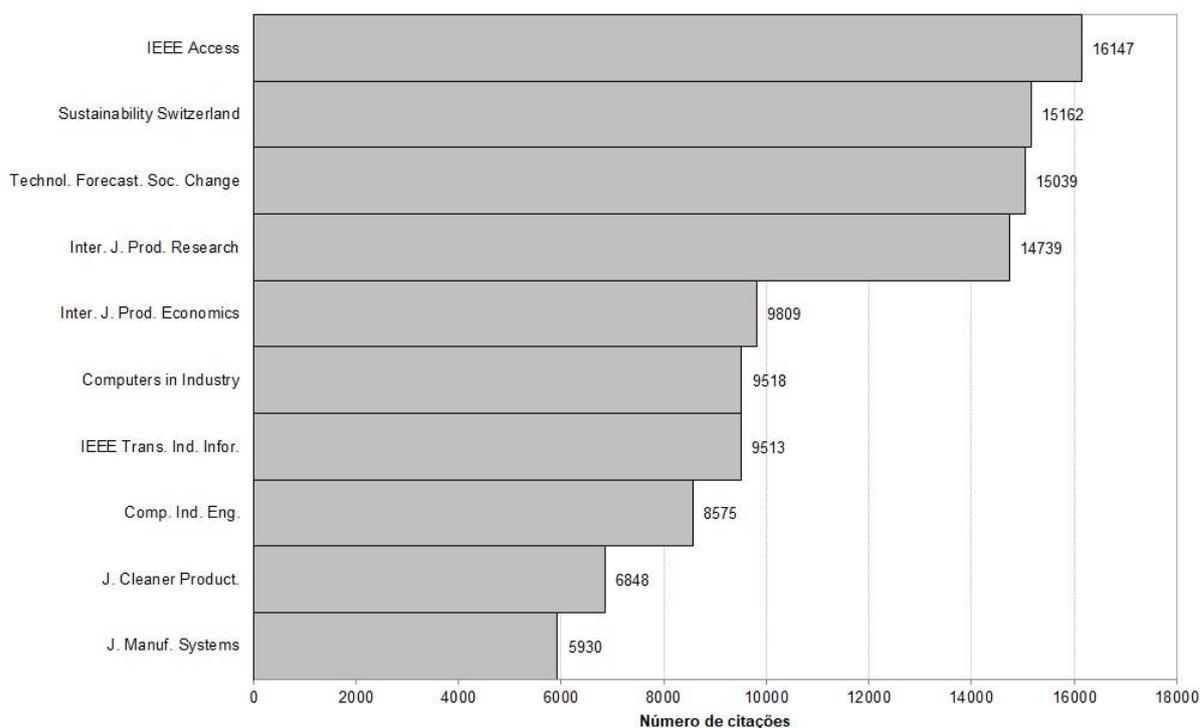
Os dez periódicos que mais publicaram sobre a Indústria 4.0 são mostrados na Figura 16 e os dez mais citados na Figura 17.



Abreviaturas: ZWF Z. fuer Wirtsch. Fabr (ZWF Zeitschrift Fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb); Inter. J. Adv. Manuf. Tech. (International Journal Of Advanced Manufacturing Technology); IEEE Trans. Ind. Infor. (IEEE Transactions On Industrial Informatics); Technol. Forecast. Soc. Change (Technological Forecasting And Social Change); Comp. Ind. Eng. (Computers And Industrial Engineering); Inter. J. Prod. Research (International Journal Of Production Research).

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

Figura 17 - Periódicos mais citados



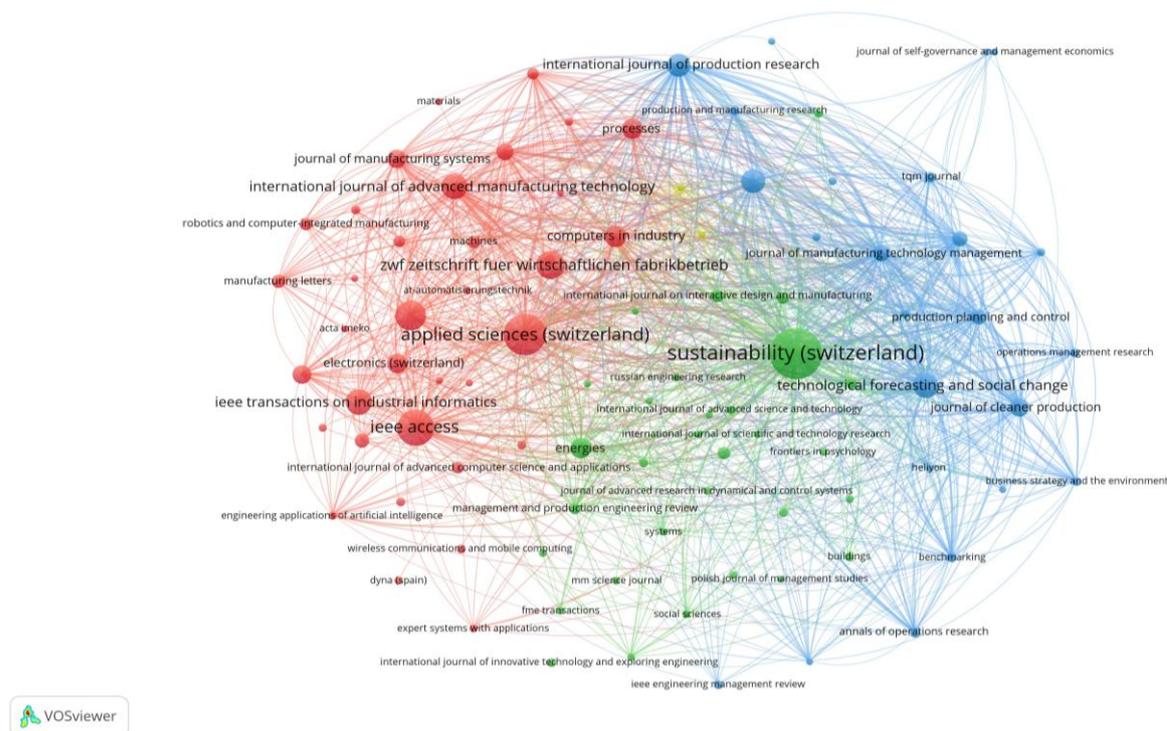
Abreviaturas: Technol. Forecast. Soc. Change (Technological Forecasting And Social Change); Inter. J. Prod. Research (International Journal Of Production Research); Inter. J. Prod. Economics (International Journal Of Production Economics); IEEE Trans. Ind. Infor. (IEEE Transactions On Industrial Informatics); Comp. Ind. Eng. (Computers And Industrial Engineering); J. Cleaner Product. (Journal of Cleaner Production); J. Manuf. Systems (Journal of Manufacturing Systems).

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

O periódico “Sustainability Switzerland” foi o 1º em publicações (Figura 16) e o 2º mais citado (Figura 17), demonstrando sua relevância no tema. O “IEEE Access” foi o 3º em publicações e o 1º mais citado. Seis dos periódicos que estão entre os dez que mais publicaram também estão entre os dez mais citados: “Sustainability Switzerland”, “IEEE Access”, “IEEE Trans. Ind. Infor.”, “Technol. Forecast. Soc. Change”, “Comp. Ind. Eng.” e “Inter. J. Prod. Research”.

A rede de acoplamento bibliográfico é apresentada na Figura 18 e mostra que o periódico “Sustainability Switzerland” utiliza referências pouco diferentes dos demais líderes. Outros seis periódicos que mais publicaram estão em um mesmo *cluster*, portanto, compartilhando referências semelhantes: “Applied Sciences Switzerland”, “IEEE Access”, “Sensors”, “ZWF Z. fuer Wirtsch. Fabr”, “Inter. J. Adv. Manuf. Tech.” e “IEEE Trans. Ind. Infor.”.

Figura 18 - Rede de acoplamento bibliográfico com 93 periódicos em 4 *clusters*

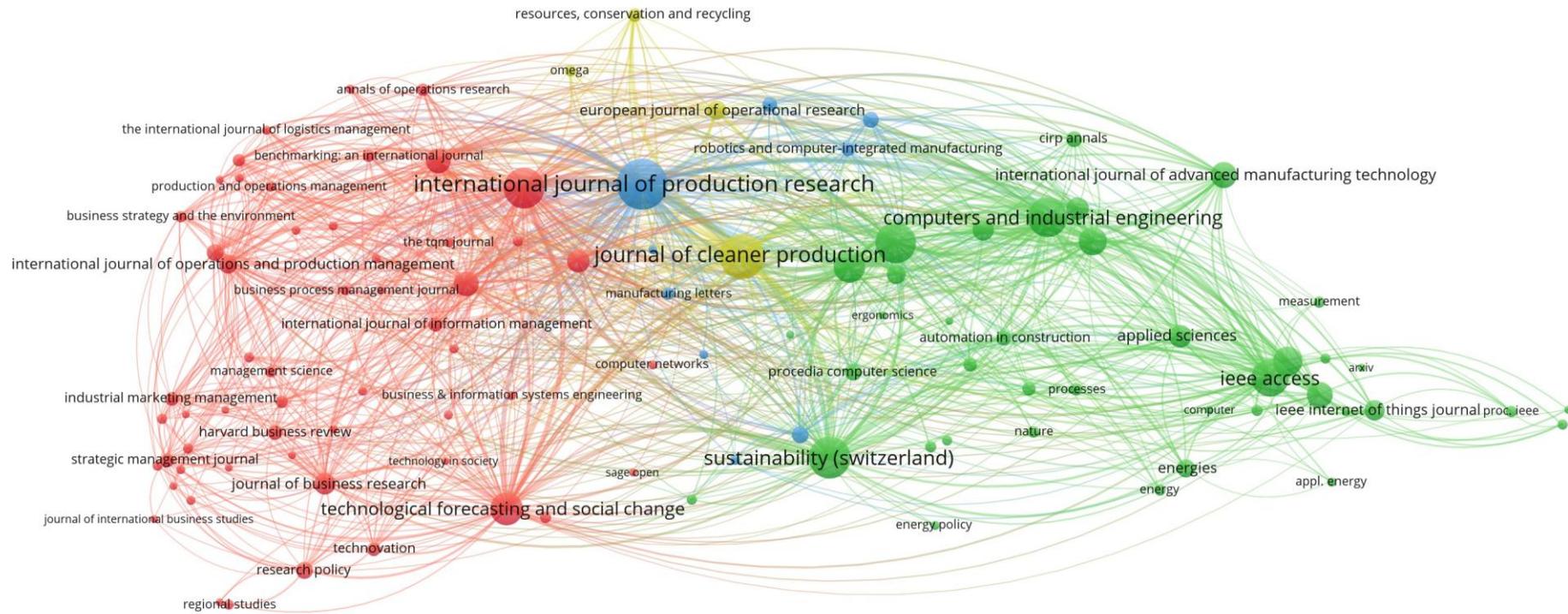


Nota: O tamanho dos nós são proporcionais ao número de publicações.
 Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

A rede de acoplamento bibliográfico dos periódicos com uma escala de tempo pode ser visualizada no APÊNDICE L.

A rede de citação de periódicos é apresentada na Figura 19 e mostra o *cluster* do “Sustainability Switzerland” um pouco mais afastado dos demais líderes, indicando que é de interesse de uma parcela específica da comunidade científica. Os outros dois periódicos mais citados “Applied Sciences Switzerland” e “IEEE Access” também estão em *clusters* diferentes, porém pouco mais próximos entre si, evidenciando a diversidade de citações.

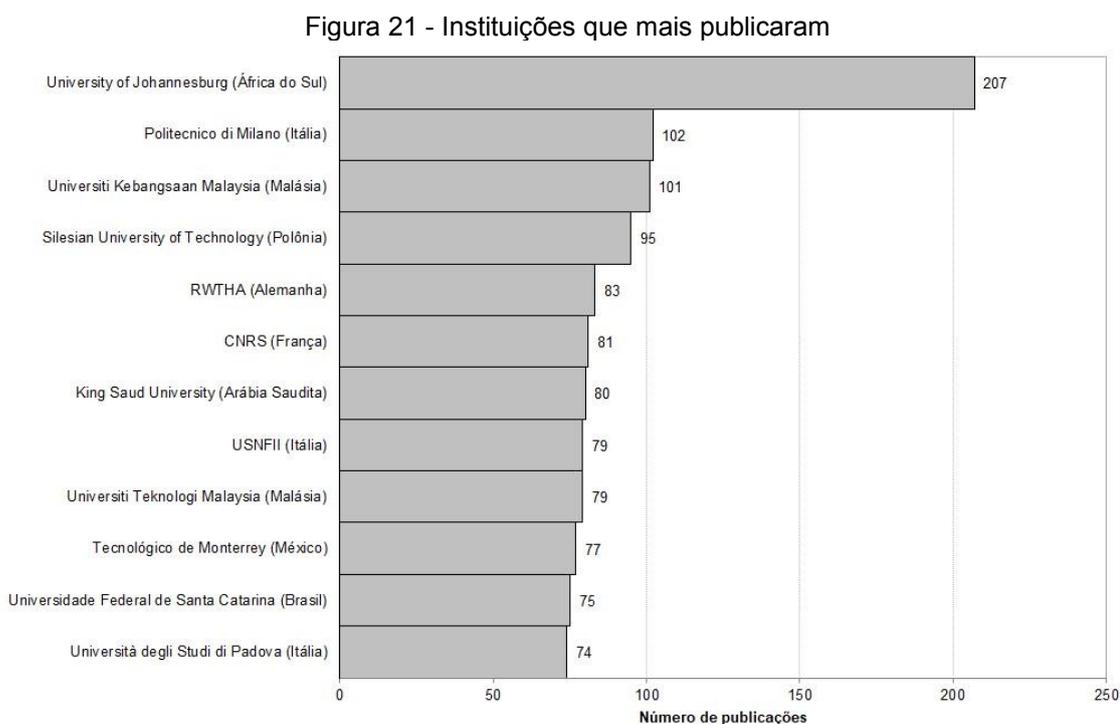
Figura 20 - Rede de cocitação com 108 periódicos em 4 clusters



Nota: O tamanho dos nós são proporcionais ao número de citações.
 Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

4.5 PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES

A Figura 21 mostra as instituições que mais publicaram.



Abreviaturas: RWTHA (RheinischWestfälische Technische Hochschule Aachen); CNRS (CNRS Centre National de la Recherche Scientifique); USNFII (Università degli Studi di Napoli Federico II); SPbPU (Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University).

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

De acordo com a Figura 21, a instituição que mais publicou foi a sul-africana “University of Johannesburg” com 207 publicações, mais que o dobro do segundo colocado. Entre as doze primeiras há três italianas (“Politecnico di Milano”, “USNFII” e “Università degli Studi di Padova”) e duas malaias (“Universiti Kebangsaan Malaysia” e “Universiti Teknologi Malaysia”). O Brasil aparece na 11^a colocação representado pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com 75 publicações.

A rede de coautoria é mostrada na Figura 22 e a rede de citação na Figura 23. Ambas as redes apresentam várias instituições desconectadas e isoladas e entre elas a que mais publicou: “University of Johannesburg”.

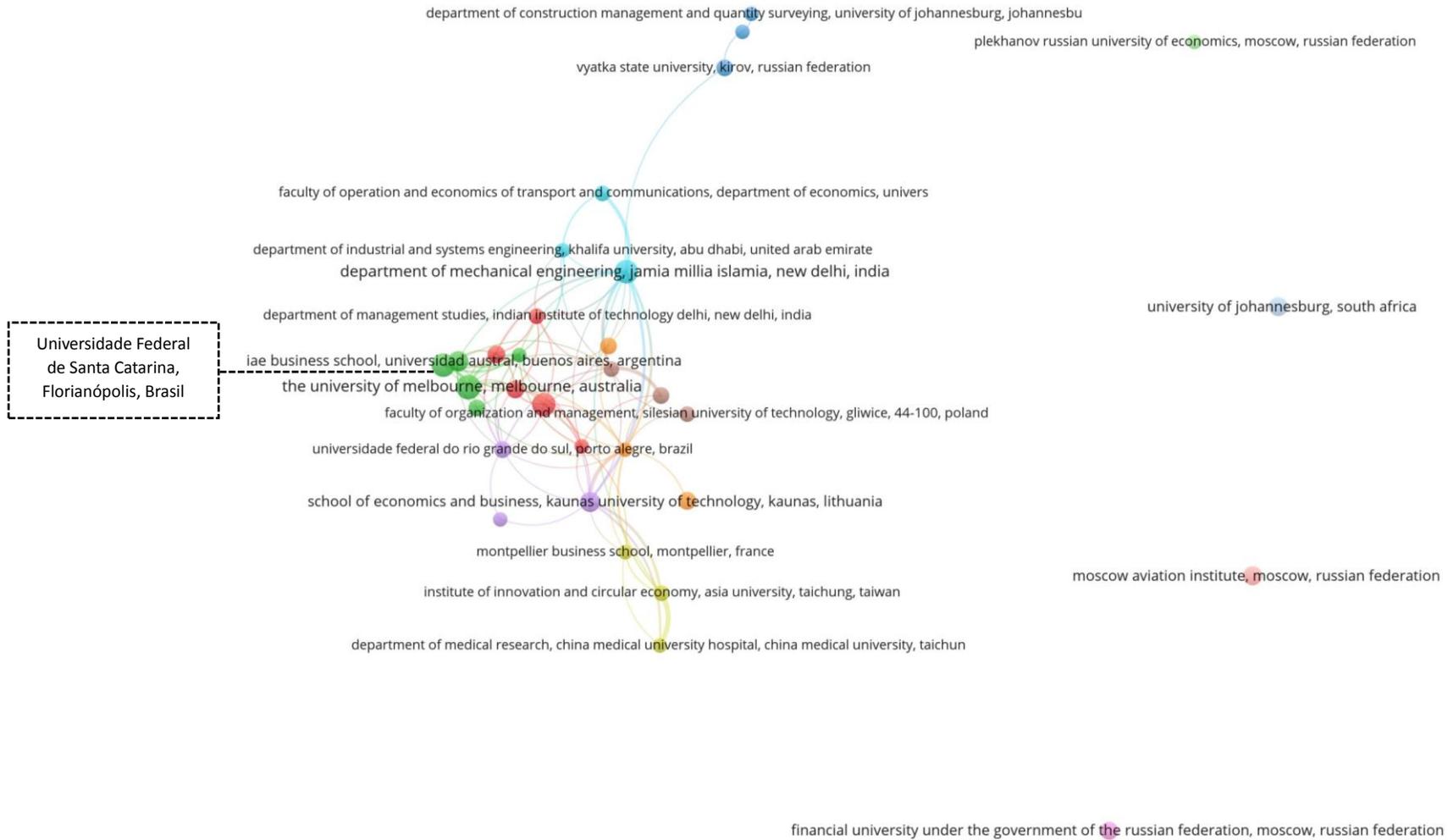
Na Figura 22 verifica-se a colaboração entre as brasileiras UFSC e Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) com a australiana “University of Melbourne” e a indiana “Management Development Institute”.

Figura 22 - Rede de coautoria com 32 instituições em 20 clusters



Nota: O tamanho do nó é proporcional ao número de publicações.
 Fonte: Adaptado do VOSviewer com base nos dados da Scopus.

Figura 23 - Rede de citação com 32 instituições em 12 clusters



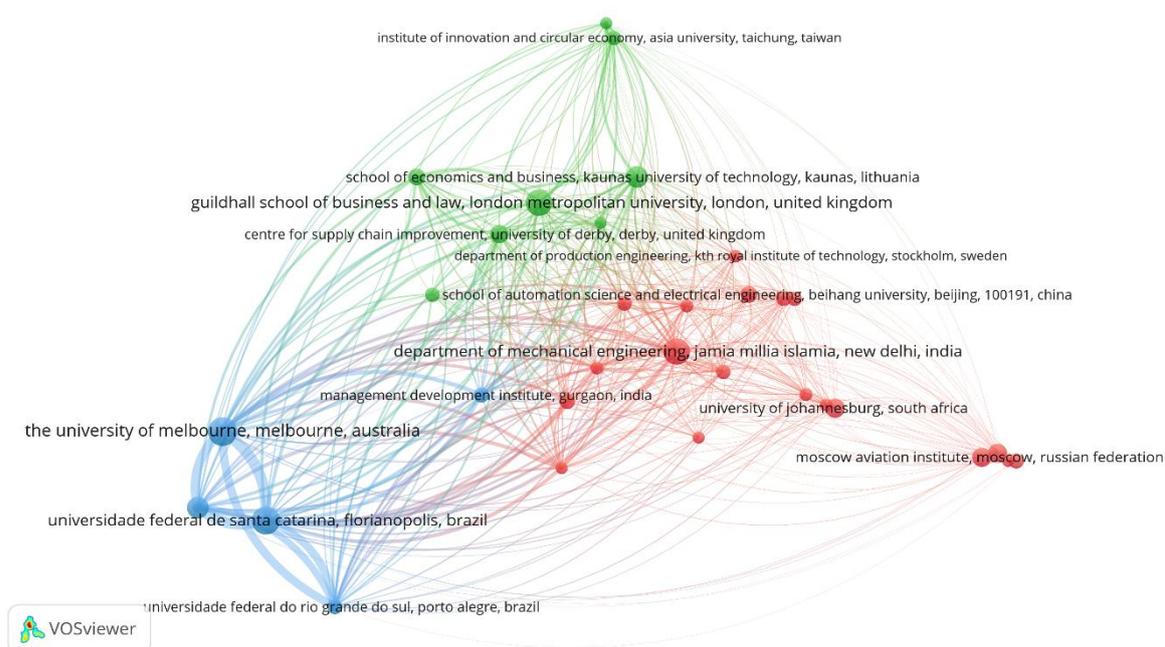
Nota: O tamanho do nó é proporcional ao número de publicações.
 Fonte: Adaptado do VOSviewer com base nos dados da Scopus.

A Figura 23 mostra que a UFSC e UFRGS estão em *clusters* diferentes de citação.

As redes de coautoria e de citação das instituições com uma escala de tempo podem ser visualizadas nos APÊNDICES N e O, respectivamente.

A rede de acoplamento bibliográfico é mostrada na Figura 24 e indica uma relação forte das duas universidades brasileiras, australiana e indiana já mencionadas, porém afastadas das demais, demonstrando que utilizam de referências diversas dessas.

Figura 24 - Rede de acoplamento bibliográfico com 32 instituições em 3 *clusters*



Nota: O tamanho do nó é proporcional ao número de publicações.

Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

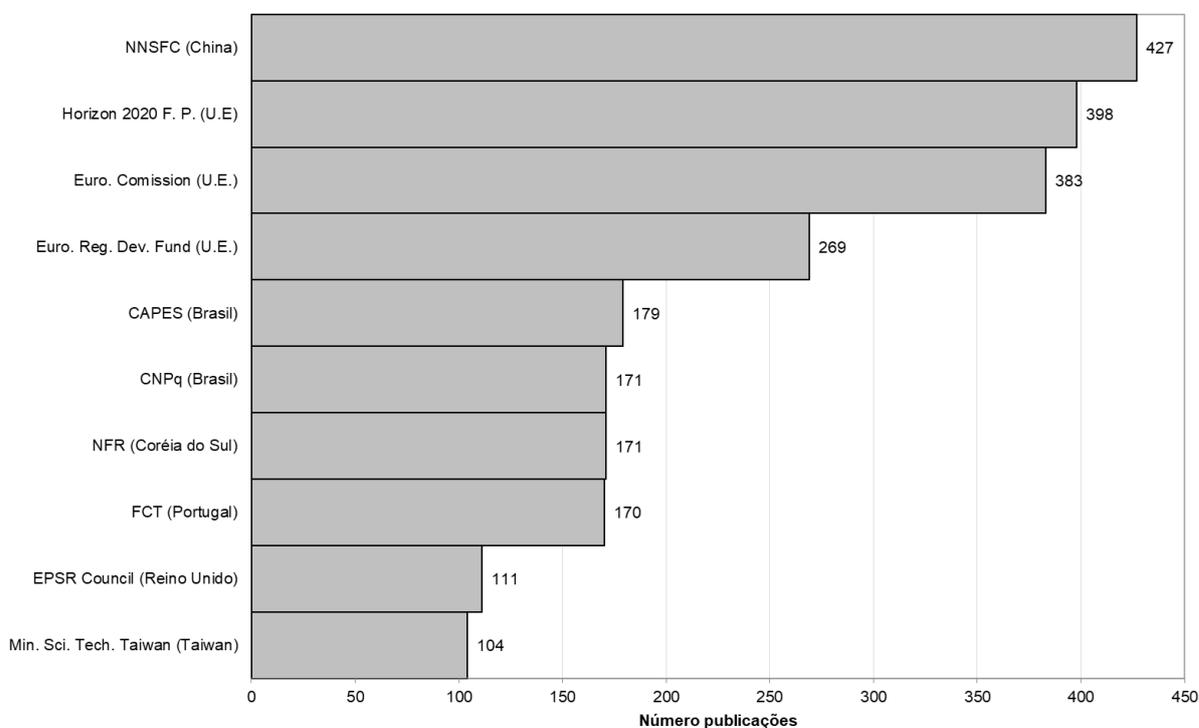
A rede de acoplamento bibliográfico das instituições com uma escala de tempo pode ser visualizada no APÊNDICE P.

4.6 PRINCIPAIS FINANCIADORES

A Figura 25 apresenta os dez principais Financiadores de publicações. Entidades Chinesa (NNSFC) e da União Europeia (Horizon 2020 F.P., Euro. Comissão e Euro. Reg. Dev. Fund.) lideram em financiamento de publicações. Duas entidades

brasileiras estão entre as dez que mais financiaram: CAPES (5º) e CNPq (6º), evidenciando o interesse governamental brasileiro.

Figura 25 - Organizações que mais financiaram publicações



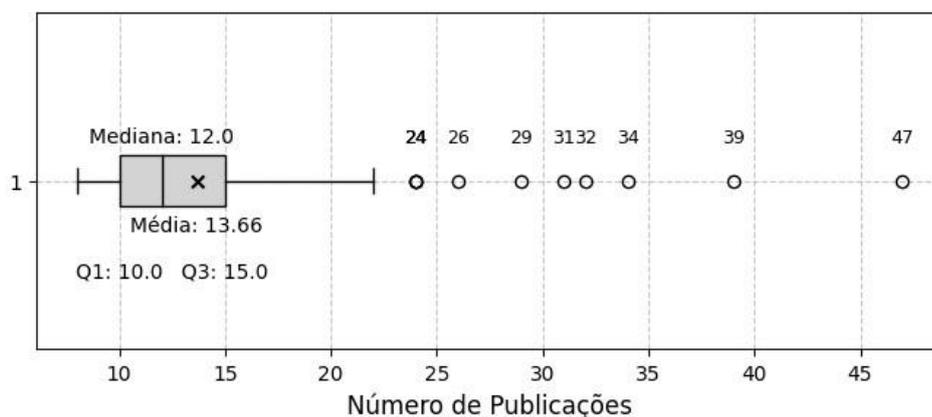
Abreviaturas: NNSFC (National Natural Science Foundation of China); Horizon 2020 F. P. (Horizon 2020 Framework Programme); Euro. Comission (European Commission); Euro. Reg. Dev. Fund (European Regional Development Fund); CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior); CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico); NFR (National Research Foundation of Korea); FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia); EPSR Council (Engineering and Physical Sciences Research Council); Min. Sci. Tech. Taiwan (Ministry of Science and Technology, Taiwan).

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

4.7 PRINCIPAIS AUTORES

A Figura 26 apresenta a distribuição das publicações dos autores em quartis. Verifica-se a que há dez *outliers* simbolizados pelos círculos na Figura 26 (três valores repetidos iguais a 24), evidenciando que poucos autores têm mais do que 22 publicações.

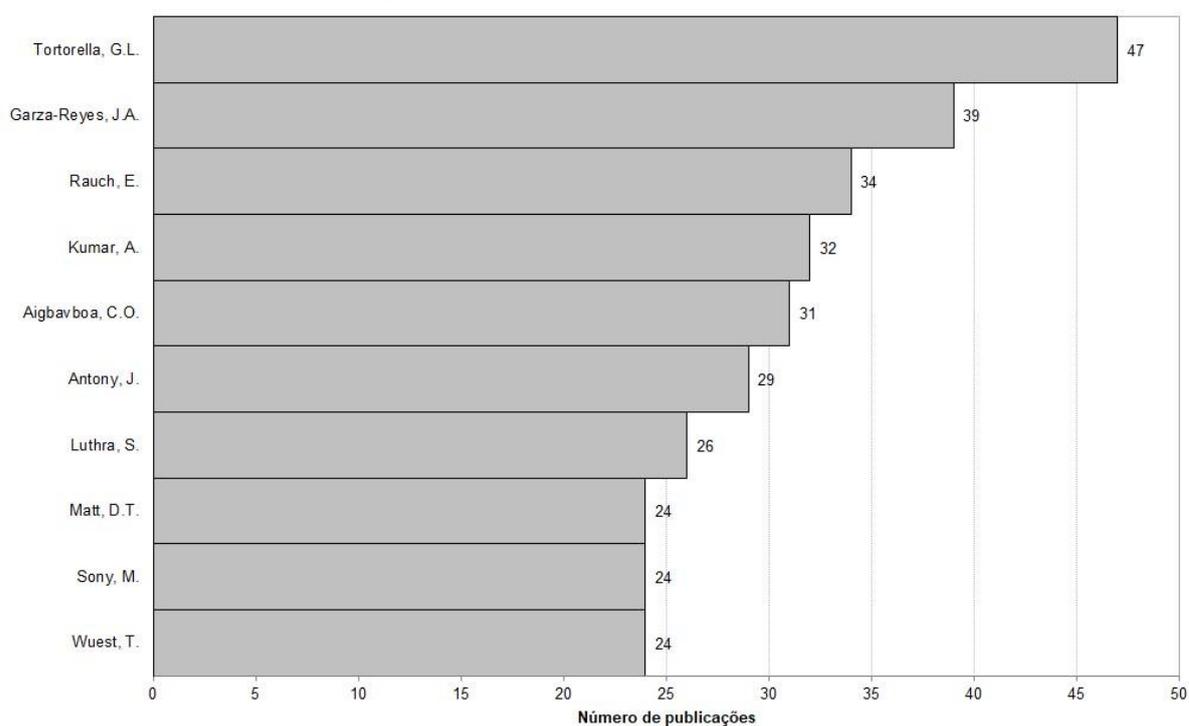
Figura 26 - Distribuição das publicações dos autores



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

A Figura 27 mostra os autores que mais publicaram (*outliers*) indicados na Figura 26.

Figura 27 - Autores que mais publicaram

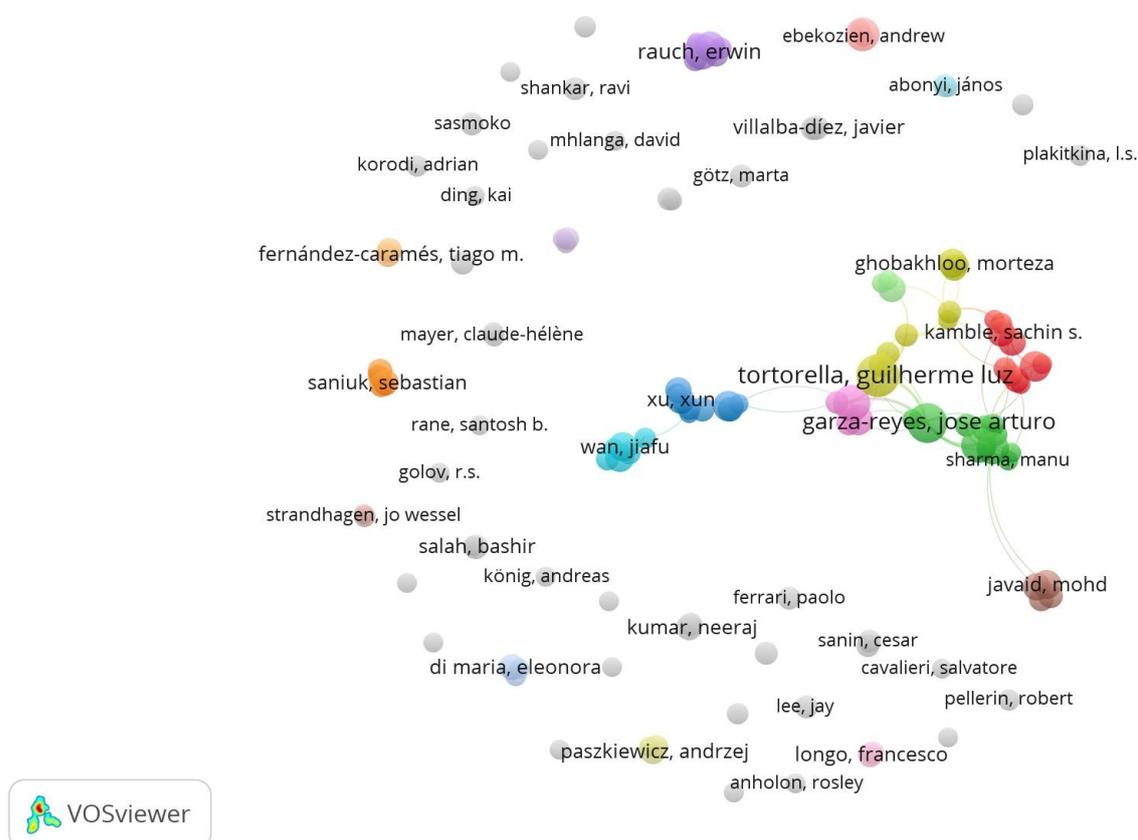


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

De acordo com a Figura 27, o autor Guilherme Luz Tortorella (UFSC, Brasil) foi o que mais publicou, 47 no total, seguido por Jose Arturo Garza-Reyes com 39 e Erwin Rauch com 34.

A Figura 28 apresenta a rede de coautoria, onde é possível verificar as colaborações em publicações, principalmente dos autores Guilherme Luz Tortorella e Jose Arturo Garza-Reyes.

Figura 28 - Rede de coautoria com 127 autores em 53 *clusters*



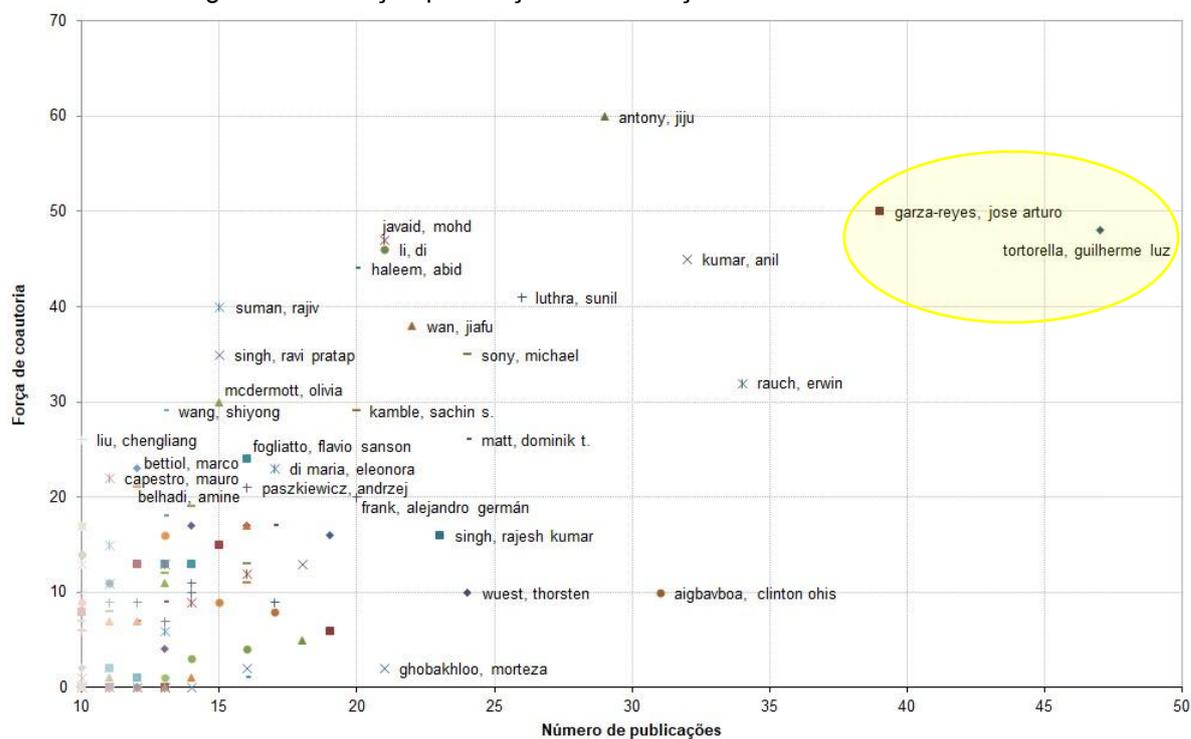
Nota: O tamanho dos nós é proporcional ao número de publicações.

Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

A rede de coautoria dos autores com uma escala de tempo pode ser visualizada no APÊNDICE Q.

A Figura 29 apresenta a relação de número de publicações e a força de coautoria, onde se destaca Guilherme Luz Tortorella e Jose Arturo Garza-Reyes no quadrante mais superior à direita. A força de coautoria considera a quantidade de coautorias repetidas e distintas.

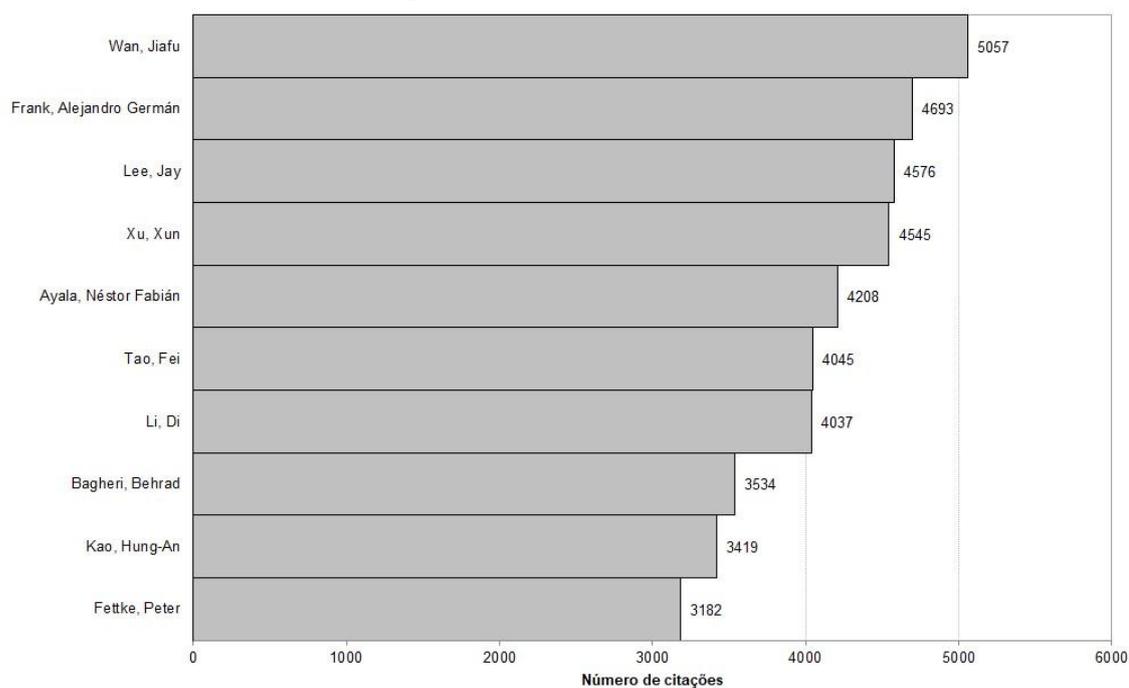
Figura 29 - Relação publicação versus força de coautoria dos autores



Nota: (1) Omitidos os nomes dos autores com menos de 20 publicações e força de coautoria menor que 20. (2) Destacados na área de cor amarela os autores que mais publicaram em coautoria.
 Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

A Figura 30 apresenta os autores mais citados.

Figura 30 - Autores mais citados

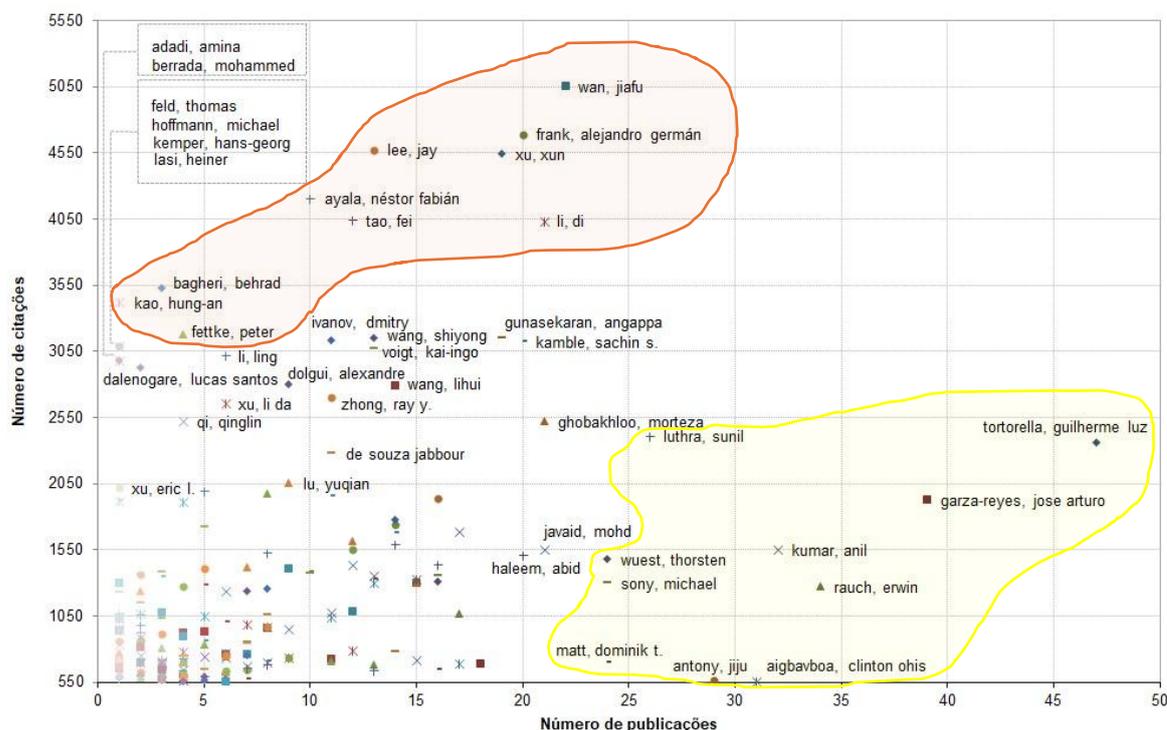


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

De acordo com a Figura 30 o autor mais citado é Jiafu Wan. Dois autores da UFRGS, representantes do Brasil, aparecem entre os mais citados: Alejandro Germán Frank (2º) e Néstor Fabián Ayala (5º).

A Figura 31 apresenta a relação de número de publicações e número de citações dos autores. Verifica-se que nenhum dos dez autores que mais publicaram estão entre os dez autores mais citados.

Figura 31 - Relação publicação *versus* citação dos autores

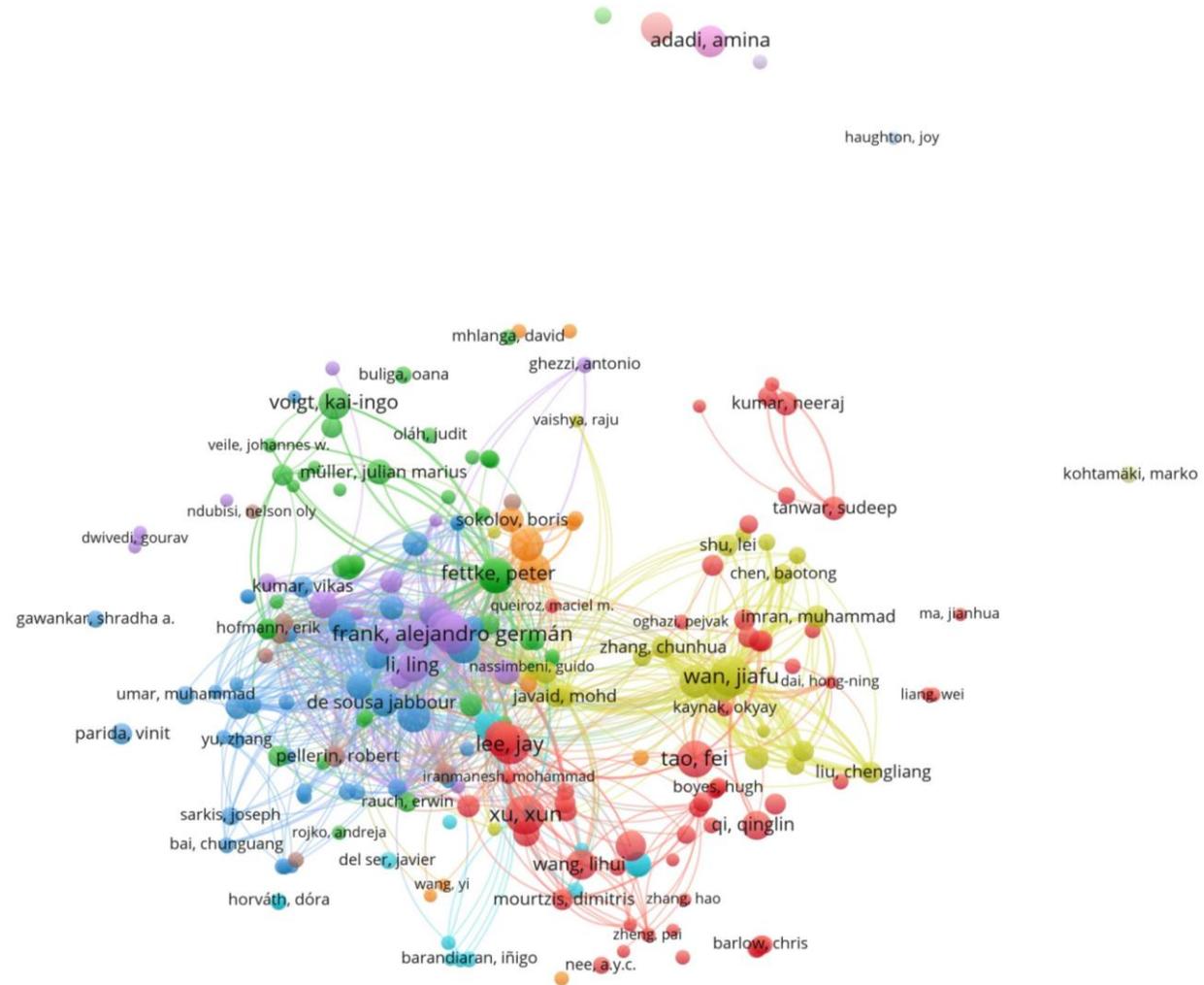


Notas: (1) Omitidos os nomes dos autores com menos de 20 publicações e menos de 2000 citações. (2) Destacados na área de cor laranja os dez autores mais citados e na área de cor amarela os dez autores que mais publicaram.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

A Figura 32 apresenta a rede de citação que mostra que os dois autores mais citados, Jiafu Wan e Alejandro Germán Frank (UFRGS), formam um dipolo onde o segundo concentra muito mais autores ao seu redor.

Figura 32 - Rede de citação com 232 autores em 14 *clusters*



Nota: O tamanho dos nós é proporcional ao número de citações.
 Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

O Quadro 3 mostra os nomes dos autores que mais publicaram (Figura 27) e mais citados (Figura 30), em seus respectivos *clusters* de citação mostrados na rede da Figura 32. Os autores Néstor Fabián Ayala (UFRGS), Alejandro Germán Frank (UFRGS) e Guilherme Luz Tortorella (UFSC) se encontram em um mesmo *cluster*.

Quadro 3 - Autores e seus *clusters* de citação

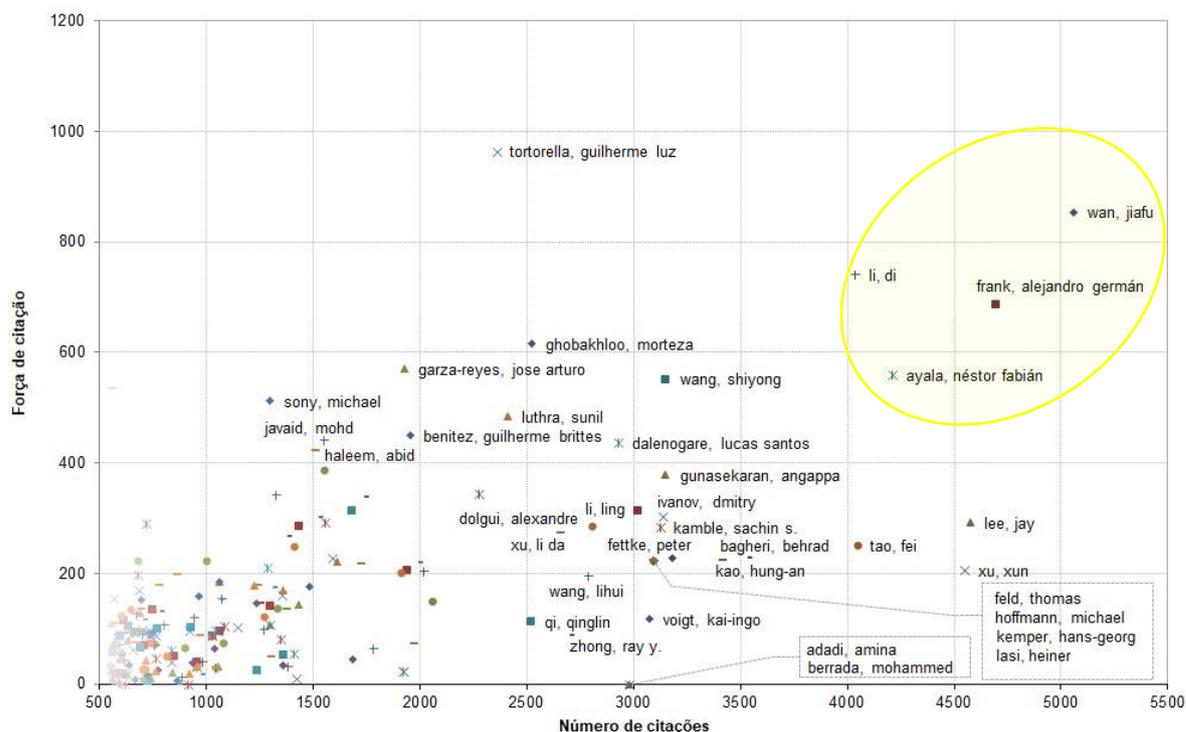
| Cluster 1 | Cluster 2 | Cluster 3 | Cluster 4 | Cluster 5 |
|-------------------|---------------------------|----------------------------|------------------|-----------------------------|
| Bagheri, Behrad* | Aigbavboa, Clinton Ohis** | Garza-Reyes, Jose Arturo** | Li, Di* | Antony, Jiju** |
| Kao, Hung-An* | Fettke, Peter* | Kumar, Anil** | Wan, Jiafu* | Ayala, Néstor Fabián* |
| Lee, Jay* | Matt, Dominik T.** | Luthra, Sunil** | | Frank, Alejandro Germán* |
| Tao, Fei* | Rauch, Erwin** | | | Sony, Michael** |
| Wuest, Thorsten** | | | | Tortorella, Guilherme Luz** |
| Xu, Xun* | | | | |

Legenda: *Autores mais citados. **Autores que mais publicaram.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

A rede de citação dos autores com uma escala de tempo pode ser visualizada no APÊNDICE R.

A relação da citação com a força da citação é mostrada na Figura 33. Os autores Jiafu Wan, Néstor Fabián Ayala (UFRGS), Alejandro Germán Frank (UFRGS) e Di Li, têm uma significativa influência no tema, posicionados no quadrante superior à direita.

Figura 33 - Relação citação *versus* força de citação dos autores

Notas: (1) Omitidos os nomes dos autores com menos de 2500 citações e força de citações menor que 400. (2) Destacados na área de cor amarela os autores mais influentes.

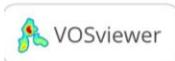
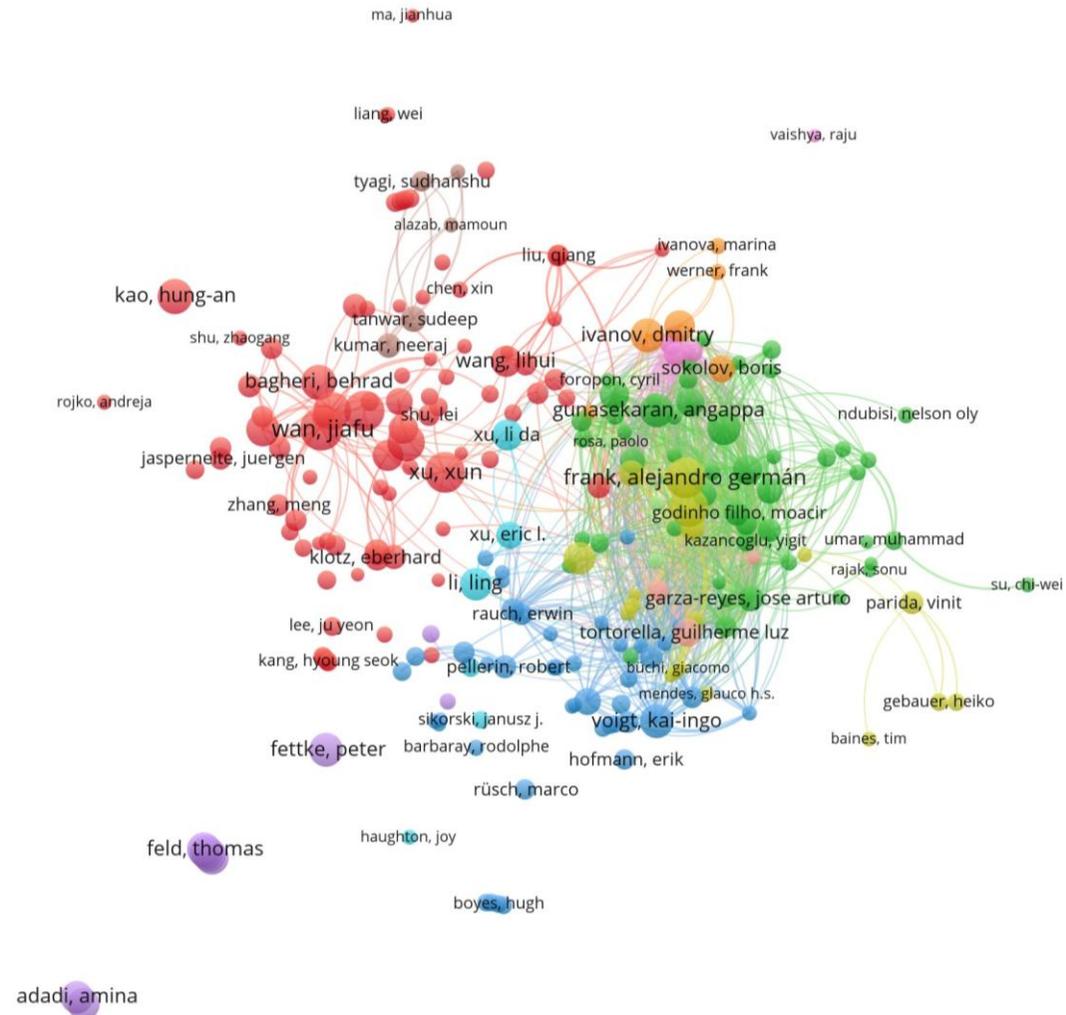
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

A Figura 34 apresenta a rede de acoplamento bibliográfico mostrando que, em apenas um *cluster*, há seis dos dez autores mais citados que se baseiam em referências diferentes dos autores mais produtivos. Jiafu Wan e Alejandro Germán Frank (UFRGS) formam um dipolo onde o segundo concentra muito mais autores ao seu redor.

A rede de acoplamento bibliográfico dos autores com uma escala de tempo pode ser visualizada no APÊNDICE S.

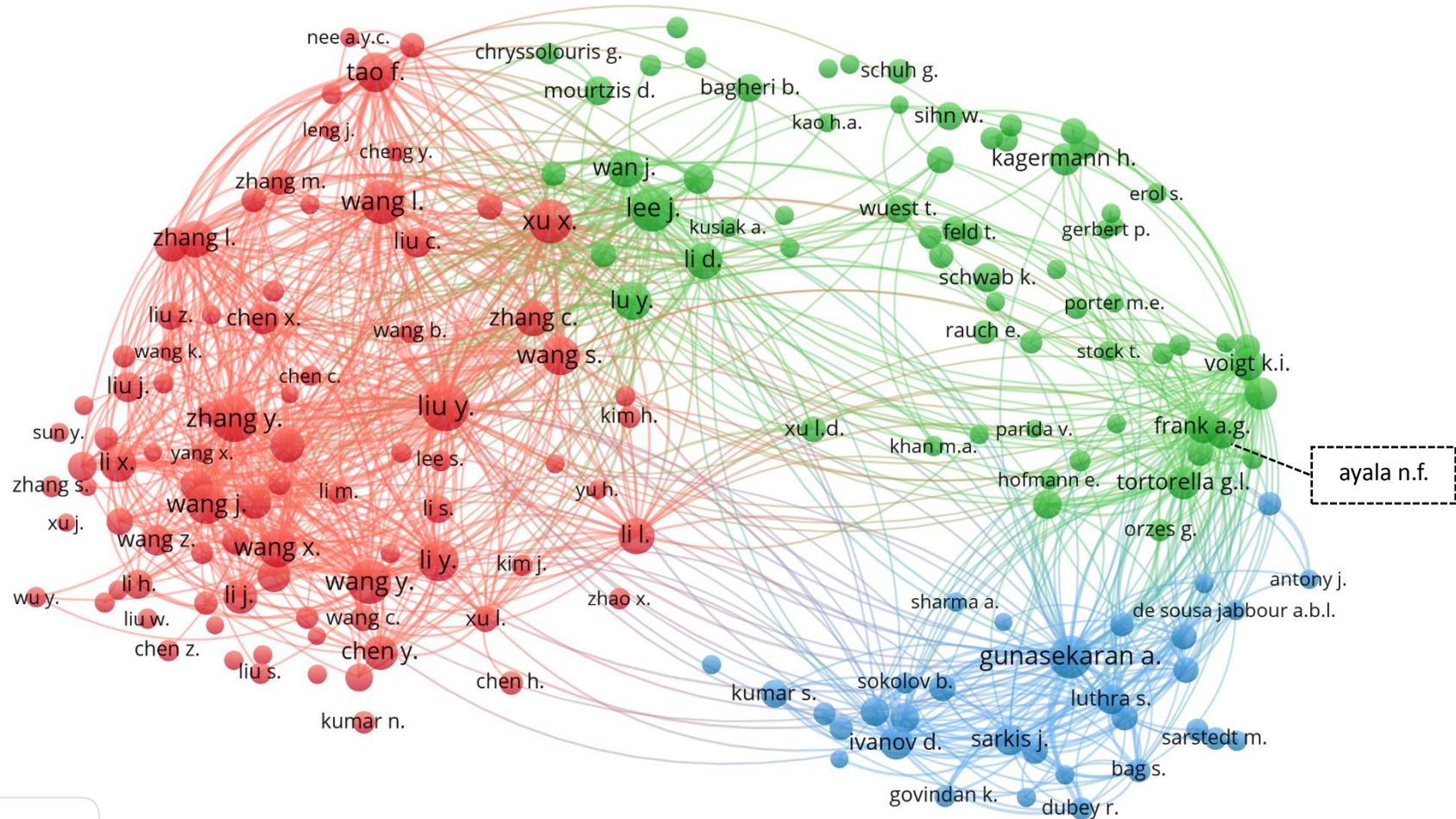
A rede de cocitação da Figura 35 mostra os autores Néstor Fabián Ayala (UFRGS), Alejandro Germán Frank (UFRGS) e Guilherme Luz Tortorella (UFSC) no mesmo *cluster* dos autores mais citados.

Figura 34 - Rede de acoplamento bibliográfico com 232 autores em 11 *clusters*



Nota: O tamanho dos nós é proporcional ao número de citações.
 Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

Figura 35 - Rede de cocitação com 185 autores em 3 clusters



Nota: O tamanho dos nós é proporcional ao número de citações.
 Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

4.8 PRINCIPAIS PUBLICAÇÕES

A Tabela 3 apresenta a lista das dez publicações mais citadas.

Tabela 3 - Publicações mais citadas (continua)

| Título | Autores | Periódico | Ano | C ¹ | C/A ² |
|--|---|--|------|----------------|------------------|
| A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems (Lee; Bagheri; Kao, 2015) | Lee, J., Bagheri, B., Kao, H.-A. | Manufacturing Letters, 3, pp. 18–23 | 2015 | 3390 | 424 |
| Industry 4.0 (Lasi <i>et al.</i> , 2014) | Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., Hoffmann, M. | Business and Information Systems Engineering, 6(4), pp. 239–242 | 2014 | 3078 | 342 |
| Peeking Inside the Black-Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI) (Adadi; Berrada, 2018) | Adadi, A., Berrada, M. | IEEE Access, 6, pp. 52138–52160, 8466590 | 2018 | 2969 | 594 |
| Industry 4.0: State of the art and future trends (Xu; Xu; Li, 2018) | Xu, L.D., Xu, E.L., Li, L. | International Journal of Production Research, 56(8), pp. 2941–2962 | 2018 | 2014 | 403 |
| Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review (Zhong <i>et al.</i> , 2017) | Zhong, R.Y., Xu, X., Klotz, E., Newman, S.T. | Engineering, 3(5), pp. 616–630 | 2017 | 1909 | 318 |
| Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies (Frank; Dalenogare; Ayala, 2019) | Frank, A.G. ³ , Dalenogare, L.S., Ayala, N.F. ³ | International Journal of Production Economics, 210, pp. 15–26 | 2019 | 1631 | 408 |
| The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0 (Wollschlaeger; Sauter; Jasperneite, 2017) | Wollschlaeger, M., Sauter, T., Jasperneite, J. | IEEE Industrial Electronics Magazine, 11(1), pp. 17–27, 7883994 | 2017 | 1298 | 216 |

Tabela 3 - Publicações mais citadas (conclusão)

| Título | Autores | Periódico | Ano | C¹ | C/A² |
|---|---|---|------------|----------------------|------------------------|
| The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance (Dalenogare <i>et al.</i> , 2018) | Dalenogare, L.S. ³ , Benitez, G.B. ³ , Ayala, N.F., Frank, A.G. ³ | International Journal of Production Economics, 204, pp. 383–394 | 2018 | 1283 | 257 |
| Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics (Hofmann; Rüsçh, 2017) | Hofmann, E., Rüsçh, M. | Computers in Industry, 89, pp. 23–34 | 2017 | 1212 | 202 |
| Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multiagent system with big data-based feedback and coordination (Wang <i>et al.</i> , 2016b) | Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., Zhang, C. | Computer Networks, 101, pp. 158–168 | 2016 | 1062 | 152 |

Notas: ¹Número de citações.

²Número de citações dividido pela diferença 2023 – ano da publicação.

³Autor da UFRGS, Brasil.

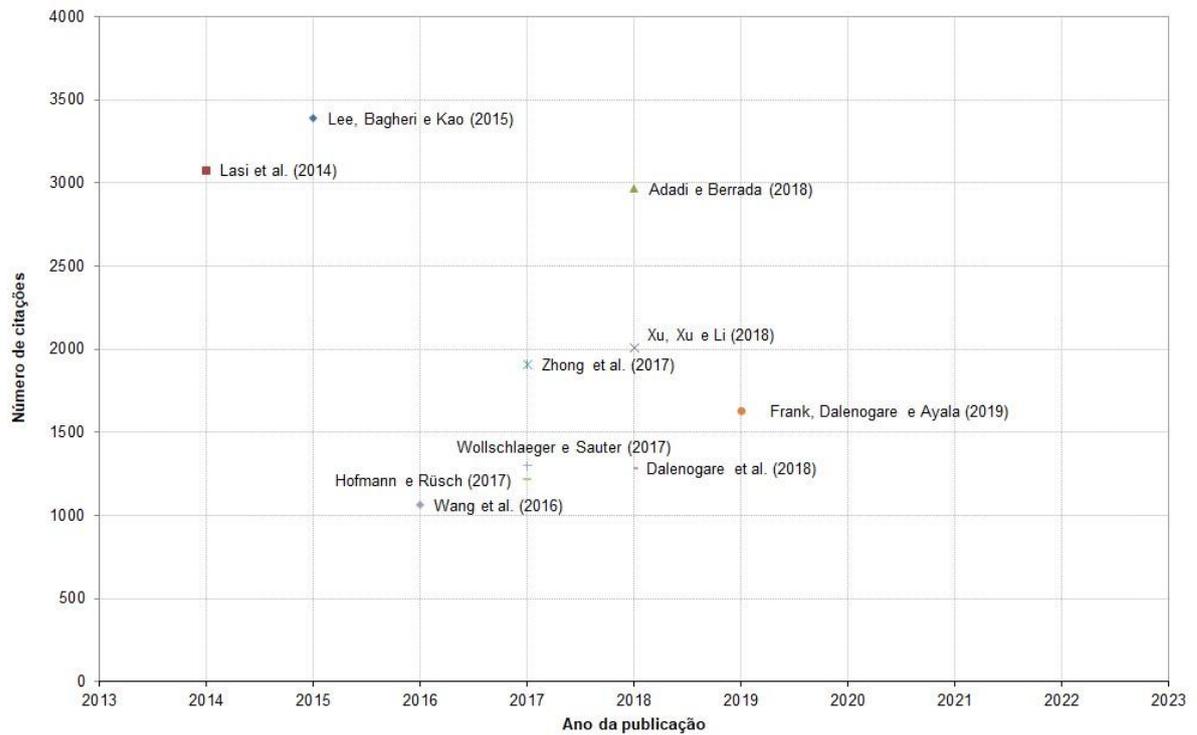
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

As dez publicações mais citadas são apresentadas na Tabela 3 na ordem decrescente do número de citações. Entre elas, uma publicação de autores entre os dez mais citados, Jiafu Wan e Di Li aparece na 10^a colocação. Publicações com autores da UFRGS (Brasil) aparecem na 6^a e 8^a posições. Publicações mais antigas normalmente têm mais citações e para equalizar isso pode-se avaliar o número de citações por ano. Considerando-se a citação/ano a ordem das publicações se altera e, segundo esse critério, as publicações dos autores da UFRGS estariam na 3^a e 6^a colocações.

A Figura 36 evidencia a relação do número de citações com o ano da publicação. Nota-se que as publicações de maior impacto estão mais próximas do quadrante superior direito, como é o caso da “Peeking Inside the Black-Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI)” (Adadi; Berrada, 2018).

As redes de citação, citação no tempo e de cocitação das publicações podem ser visualizadas nos APÊNDICES T, U e V, respectivamente.

Figura 36 - Relação ano da publicação *versus* número de citações das publicações mais citadas

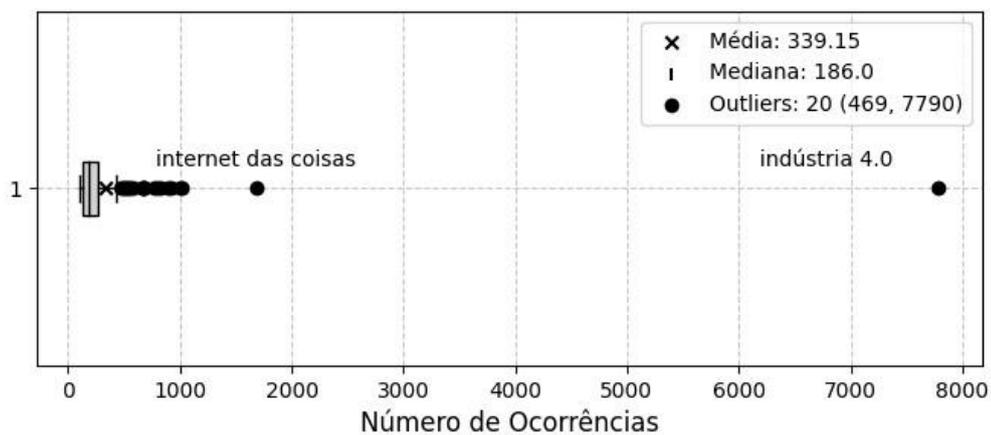


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

4.9 PRINCIPAIS PALAVRAS-CHAVES

A Figura 37 mostra a distribuição de frequência das palavras-chaves das publicações mundiais.

Figura 37 - Distribuição das palavras-chaves: Mundo



Nota: Rótulos apenas nas duas palavras-chaves de maior ocorrência.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

De acordo com a Figura 37, vinte palavras-chaves se destacam nas publicações mundiais sobre Indústria 4.0, indicando os *outliers*. Após a palavra-chave “Indústria 4.0” a mais frequente é “Internet das Coisas”.

A Tabela 4 apresenta as vinte palavras-chaves de maior ocorrência nas publicações mundiais (*outliers*).

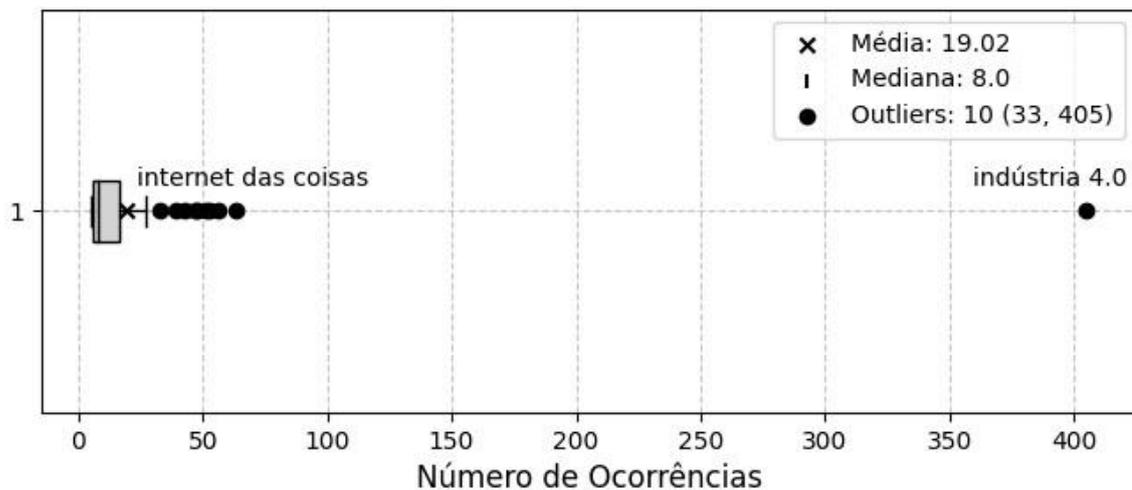
Tabela 4 - Principais palavras-chaves: Mundo

| Posição | Palavra-chave | Número de ocorrências |
|---------|--------------------------------|-----------------------|
| 1 | Indústria 4.0 | 7790 |
| 2 | Internet Das Coisas | 1682 |
| 3 | Manufatura | 1022 |
| 4 | Sustentabilidade | 1004 |
| 5 | Revolução Industrial | 915 |
| 6 | Inteligência Artificial | 895 |
| 7 | Tomada De Decisão | 825 |
| 8 | Fábrica Inteligente | 799 |
| 9 | Cadeia De Suprimentos | 773 |
| 10 | Sistemas Embarcados | 678 |
| 11 | Aprendizado De Máquina | 674 |
| 12 | Digitalização | 671 |
| 13 | Sistema Ciber-Físico | 669 |
| 14 | Tecnologia | 574 |
| 15 | Transformação Digital | 553 |
| 16 | Pesquisa Industrial | 533 |
| 17 | Automação | 524 |
| 18 | <i>Big Data</i> | 501 |
| 19 | Internet Industrial Das Coisas | 497 |
| 20 | Gêmeo Digital | 469 |

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

A Figura 38 mostra a distribuição de frequência das palavras-chaves das publicações do Brasil.

Figura 38 - Distribuição das palavras-chaves: Brasil



Nota: Rótulos apenas nas duas palavras-chaves de maior ocorrência.
 Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

De acordo com a Figura 38, dez palavras-chaves se destacam nas publicações do Brasil sobre Indústria 4.0, indicando os *outliers*. Assim como nas publicações mundiais, após a palavra-chave “Indústria 4.0” a mais frequente é “Internet das Coisas”.

A Tabela 5 apresenta as vinte palavras-chaves de maior ocorrência nas publicações do Brasil.

Tabela 5 - Principais palavras-chaves: Brasil (continua)

| Posição | Palavra-chave | Número de ocorrências |
|---------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | Indústria 4.0 | 405 |
| 2 | Internet Das Coisas | 63 |
| 3 | Revisão De Literatura | 56 |
| 4 | Sustentabilidade | 53 |
| 5 | Transformação Digital | 51 |
| 6 | Cadeia De Suprimentos | 48 |
| 7 | Revolução Industrial | 47 |
| 8 | Tomada De Decisão | 43 |
| 9 | Tecnologia | 39 |
| 10 | Manufatura | 33 |
| 11 | Pesquisa Industrial | 33 |
| 12 | Fábrica Inteligente | 31 |
| 13 | Sistemas Embarcados | 31 |
| 14 | Aprendizado De Máquina | 27 |
| 15 | Digitalização | 27 |
| 16 | Inteligência Artificial | 26 |
| 17 | Economia Circular | 24 |
| 18 | <i>Big Data</i> | 23 |

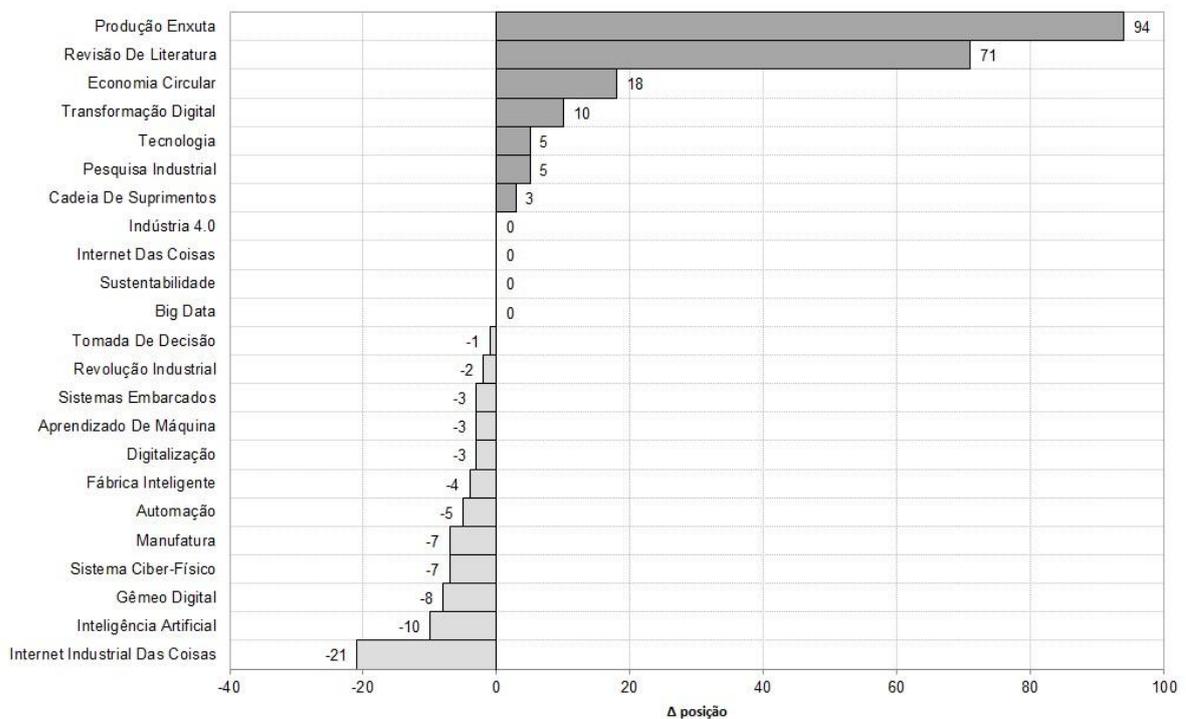
Tabela 5 - Principais palavras-chaves: Brasil (conclusão)

| Posição | Palavra-chave | Número de ocorrências |
|---------|----------------------|-----------------------|
| 19 | Produção Enxuta | 22 |
| 20 | Sistema Ciber-Físico | 22 |

Nota: *Outliers* destacados na área de cor amarela.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

A Figura 39 apresenta o comparativo do alinhamento do *ranking* de palavras-chaves onde o Δ representa a diferença de posição de uma mesma palavra-chave no *ranking* mundo e *ranking* Brasil.

Figura 39 - Diferença (Δ) de posição de palavras-chaves do Mundo e Brasil

Notas: (1) As palavras-chaves “Automação”, “Gêmeo Digital” e “Internet Industrial das Coisas” aparecem nas posições 22, 28 e 40 do *ranking* brasileiro, respectivamente, e “Economia Circular”, “Revisão de Literatura” e “Produção Enxuta” aparecem nas posições 35, 74 e 113 do *ranking* mundial, respectivamente. (2) Os valores positivos refletem as preferências das publicações do Brasil, os valores negativos as preferências mundiais e os valores nulos o alinhamento de interesses.

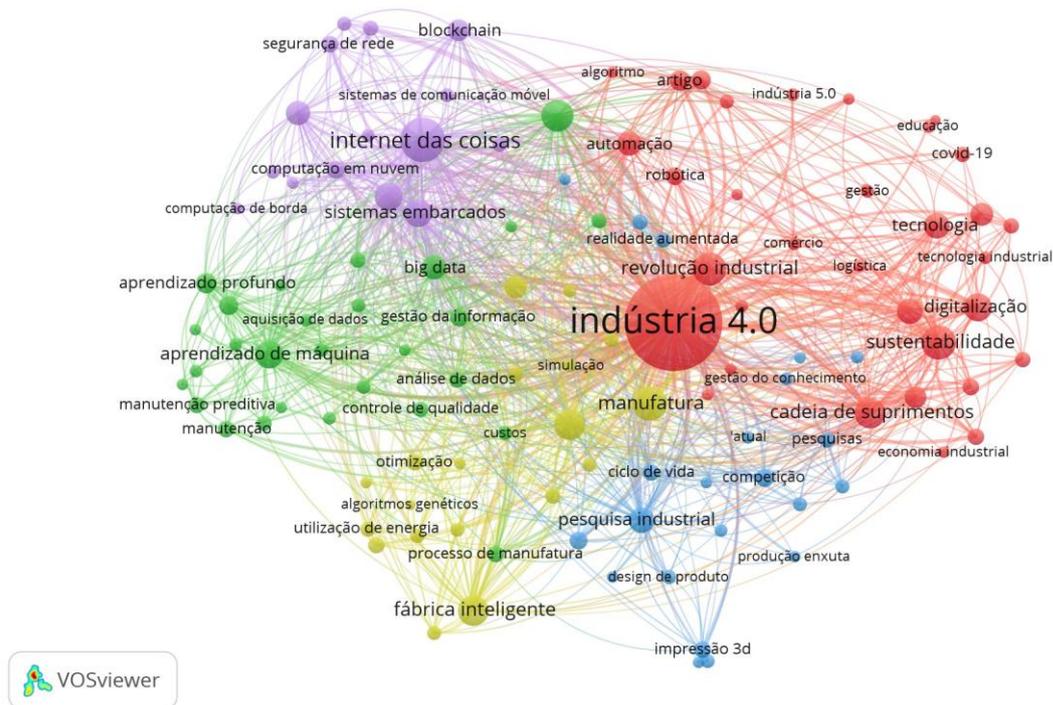
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

De acordo com a Figura 39, as palavras-chaves “Produção Enxuta”, “Revisão de Literatura” e “Economia Circular” são mais relevantes nas publicações do Brasil o que indica um foco particular em eficiência e sustentabilidade. Por outro lado, “Internet Industrial das Coisas”, “Inteligência Artificial” e “Gêmeo Digital” são destacadas nas publicações mundiais, refletindo uma ênfase em tecnologias emergentes avançadas.

A palavra-chave de maior coocorrência com a “Indústria 4.0” foi “Internet das Coisas”, nesse caso, mostrando um alinhamento de interesse do Brasil e demais países. Esse alinhamento também é verificado quanto à “Sustentabilidade” e “Big Data”.

A Figura 40 mostra a rede de coocorrência de palavras-chaves das publicações mundiais.

Figura 40 - Rede de coocorrência de palavras-chaves com 5 *clusters*: Mundo



Nota: O tamanho dos nós é proporcional ao número de ocorrências.

Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

As palavras-chaves dos *clusters* mostrados na Figura 40 são apresentadas na Figura 41 em seus respectivos *clusters*.

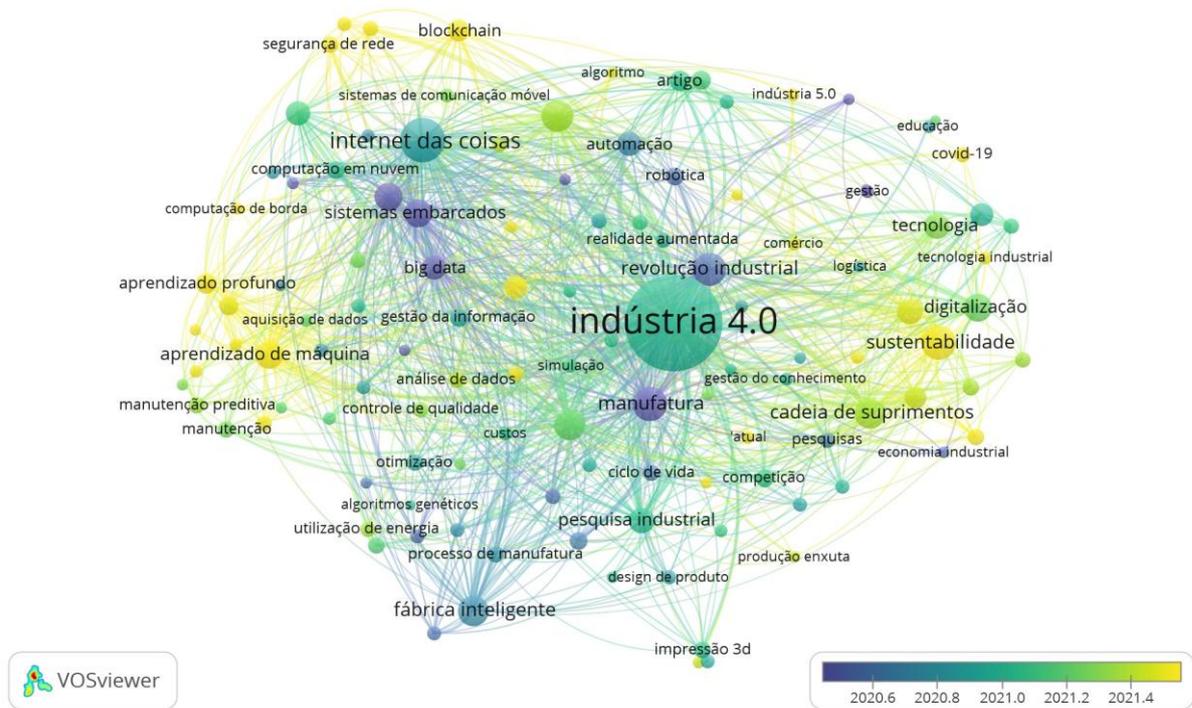
Figura 41 - Clusters e palavras-chave: Mundo

| Cluster 1 (34 items) | Cluster 2 (28 items) | Cluster 3 (22 items) | Cluster 4 (19 items) | Cluster 5 (15 items) |
|------------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| algoritmo | algoritmos de aprendizado | 'atual | agendamento | arquitetura de computadores |
| artigo | análise de dados | aditivos | algoritmos genéticos | arquitetura de rede |
| automação | aprendizado de máquina | ciclo de vida | benchmarking | blockchain |
| avaliação de risco | aprendizado profundo | competição | controle de fluxo | cibersegurança |
| cadeia de suprimentos | aquisição de dados | design de produto | controle de produção | computação de borda |
| comércio | armazenamento digital | design/metodologia/abordagem | desempenho | computação em nuvem |
| covid-19 | big data | empresas de manufatura | eficiência | internet das coisas |
| desenvolvimento industrial | controle de processo | estudos de caso | eficiência energética | internet industrial das coisas |
| digitalização | controle de qualidade | gestão de recursos humanos | fábrica inteligente | interoperabilidade |
| economia circular | custos | gestão do conhecimento | gêmeo digital | prevenção de acidentes |
| economia industrial | detecção de anomalias | impressão 3d | manufatura | segurança |
| educação | detecção de falhas | indústria automotiva | manufatura inteligente | segurança de rede |
| efeitos econômicos e sociais | e-learning | indústria da construção | otimização | sistema ciber-físico |
| engenharia | educação em engenharia | indústrias de manufatura | processo de produção | sistemas de comunicação |
| ensino superior | gestão da informação | integração | robôs industriais | sistemas embarcados |
| gestão | inteligência artificial | manufatura aditiva | simulação | |
| humano | manuseio de dados | pesquisa industrial | sistema de produção | |
| indústria | manutenção | pesquisas | tomada de decisão | |
| indústria 4.0 | manutenção preditiva | produção enxuta | utilização de energia | |
| indústria 5.0 | maquinário | realidade aumentada | | |
| inovação | mineração de dados | realidade virtual | | |
| internet | monitoramento | tecnologias habilitadoras | | |
| investimentos | monitoramento de condição | | | |
| logística | previsão | | | |
| pequena e média empresa | processo de manufatura | | | |
| produtividade | redes neurais | | | |
| revisão de literatura | sistemas de aprendizado | | | |
| revolução industrial | sistemas em tempo real | | | |
| robótica | | | | |
| sustentabilidade | | | | |
| tecnologia | | | | |
| tecnologia industrial | | | | |
| tecnologias digitais | | | | |
| transformação digital | | | | |

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

A Figura 42 apresenta a rede de cocorrência das palavras-chaves das publicações mundiais com uma escala temporal. Nota-se que as palavras-chaves “Sustentabilidade” e “Aprendizado de Máquina” aparecem em publicações recentes.

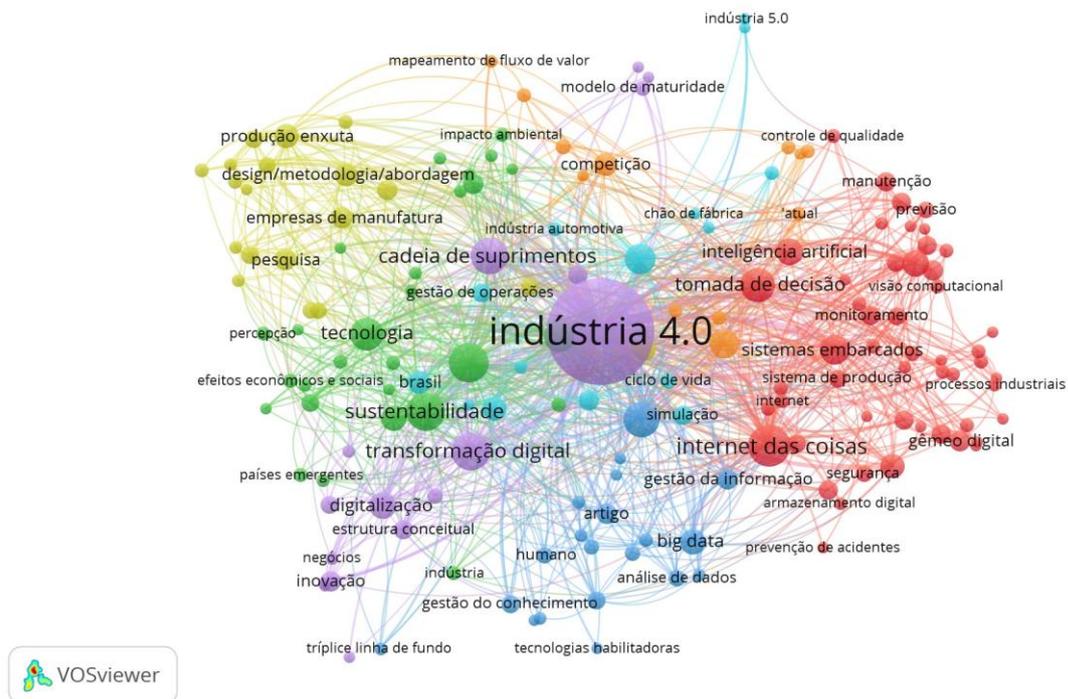
Figura 42 - Evolução temporal da rede de cocorrência de palavras-chaves: Mundo



Nota: O tamanho dos nós é proporcional ao número de ocorrências.
Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

A Figura 43 mostra a rede de cocorrência de palavras-chaves das publicações do Brasil.

Figura 43 - Rede de coocorrência de palavras-chaves com 7 clusters: Brasil



Nota: O tamanho dos nós é proporcional ao número de ocorrências.

Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

As palavras-chaves dos *clusters* mostrados na Figura 43 são apresentadas na Figura 44 em seus respectivos *clusters*.

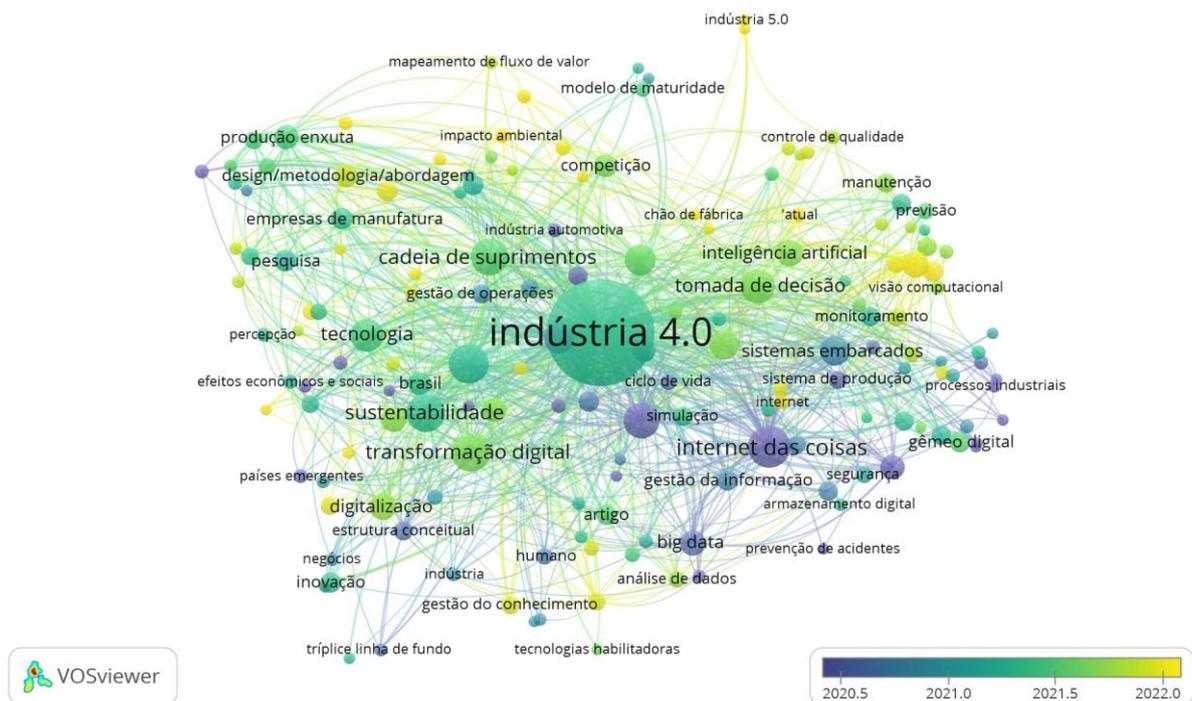
Figura 44 - Clusters de palavras-chave: Brasil

| Cluster 1 (51 items) | Cluster 2 (28 items) | Cluster 3 (20 items) | Cluster 4 (19 items) | Cluster 5 (17 items) | Cluster 6 (15 items) | Cluster 7 (12 items) |
|------------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|
| algoritmo | aditivos | análise de big data | análise multivariada | agricultura 4.0 | andares | 'atual |
| algoritmos de aprendizado | análise fatorial | análise de dados | automação | cadeia de suprimentos | brasil | competição |
| ambientes industriais | comércio | artigo | automação enxuta | cadeia de suprimentos 4.0 | chão de fábrica | controle de fluxo |
| aprendizado de máquina | desenvolvimento industrial | bibliometria | cuidados de saúde | competitividade | ciclo de vida | eficiência energética |
| aprendizado profundo | design de produto | big data | dados multivariados | COVID-19 | controle de produção | fábrica inteligente |
| aquisição de dados | economia circular | blockchain | desempenho | digitalização | gestão de operações | interoperabilidade |
| armazenamento digital | economia industrial | computação em nuvem | desempenho operacional | estrutura conceitual | indústria 5.0 | mapeamento |
| arquitetura de computadores | efeitos econômicos e sociais | educação em engenharia | design/metodologia/abordagem | indústria 4.0 | indústria automotiva | mapeamento de fluxo de valor |
| automação industrial | eficiência de produção | ensino | economias emergentes | inovação | mudança climática | processo de produção |
| classificação (da informação) | emprego | gestão da informação | empresas de manufatura | logística | pesquisa industrial | setor de manufatura |
| controle de processo | gestão de projetos | gestão de recursos humanos | estudo empírico | manufatura avançada | processo de manufatura | utilização de energia |
| controle de qualidade | impacto ambiental | gestão do conhecimento | estudos exploratórios | modelo de maturidade | redução de % | vantagem competitiva |
| custos | implementação de políticas | humano | indústrias de manufatura | negócios | simulação | |
| deteção de anomalias | impressão 3d | pesquisa e desenvolvimento | manufatura enxuta | pequena e média empresa | tecnologias digitais | |
| ferramentas de corte | indústria | revisão sistemática | melhorias contínuas | resiliência | trabalhadores | |
| gêmeo digital | manufatura | revolução industrial | pesquisa | tecnologias emergentes | | |
| integração | manufatura aditiva | software | produção enxuta | transformação digital | | |
| inteligência artificial | manufatura digital | tecnologia da informação | saúde 4.0 | | | |
| internet | modelos de negócios | tecnologias habilitadoras | sistemas de manufatura | | | |
| internet das coisas | mudança tecnológica | tríplice linha de fundo | | | | |
| internet industrial das coisas | operações sustentáveis | | | | | |
| manutenção | países emergentes | | | | | |
| manutenção preditiva | percepção | | | | | |
| mineração de dados | produção industrial | | | | | |
| monitoramento | revisão de literatura | | | | | |
| monitoramento de processo | sustentabilidade | | | | | |
| otimização | tecnologia | | | | | |
| prevenção de acidentes | tecnologia industrial | | | | | |
| previsão | | | | | | |
| processos industriais | | | | | | |
| realidade aumentada | | | | | | |
| realidade virtual | | | | | | |
| rede neural convolucional | | | | | | |
| redes neurais | | | | | | |
| redução de custos | | | | | | |
| robótica | | | | | | |
| robôs industriais | | | | | | |
| segurança | | | | | | |
| segurança de rede | | | | | | |
| simulação de eventos discretos | | | | | | |
| sistema ciber-físico | | | | | | |
| sistema de produção | | | | | | |
| sistemas de aprendizado | | | | | | |
| sistemas de controle de computador | | | | | | |
| sistemas em tempo real | | | | | | |
| sistemas embarcados | | | | | | |
| sistemas inteligentes | | | | | | |
| software de código aberto | | | | | | |
| tomada de decisão | | | | | | |
| uso da informação | | | | | | |
| visão computacional | | | | | | |

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

A Figura 45 apresenta a rede de coocorrência das palavras-chaves das publicações do Brasil com uma escala temporal. Um zoom da Figura 45 é mostrado na Figura 46. Assim como nas publicações mundiais, nas publicações do Brasil a palavra-chave “Aprendizado de Máquina” é recente, indicando que este é um assunto recente e convergente entre Brasil e demais países.

Figura 45 - Evolução temporal da rede de coocorrência de palavras-chaves: Brasil



Nota: O tamanho dos nós é proporcional ao número de ocorrências.
Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

Quadro 4 - Propostas para a pesquisa brasileira (conclusão)

| Objetivo | Descrição |
|---|--|
| Aumentar a divulgação científica | Melhorar as estratégias de divulgação científica para tornar as pesquisas mais acessíveis e visíveis, incluindo a publicação em periódicos de alto impacto e a participação em conferências internacionais. |
| Promover a inovação tecnológica | Apoiar a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias aplicáveis à Indústria 4.0, especialmente aquelas que podem trazer soluções para desafios específicos do contexto brasileiro, como eficiência operacional e sustentabilidade. |
| Desenvolver políticas de pesquisa e desenvolvimento | Formular políticas públicas que incentivem a pesquisa e o desenvolvimento em Indústria 4.0, com foco em financiamento e infraestrutura adequada para suportar inovações tecnológicas. |
| Criar redes de pesquisa | Estabelecer redes de pesquisa nacionais e internacionais para facilitar a troca de conhecimento e a colaboração entre pesquisadores e instituições que trabalham com temas relacionados à Indústria 4.0. |
| Foco em resultados práticos | Orientar as pesquisas para resultados práticos e aplicáveis, que possam ser facilmente transferidos para a indústria, gerando impacto direto na produtividade e competitividade das empresas brasileiras. |

Fonte: Elaboração própria.

5 CONCLUSÃO

O número anual de publicações do Brasil ainda está aquém dos principais contribuidores globais, refletindo uma necessidade de maior investimento em pesquisa e desenvolvimento para acompanhar os avanços tecnológicos.

A análise dos indicadores bibliométricos sobre a Indústria 4.0 no Brasil revelou tendências importantes e padrões de publicação que destacam a posição do país em comparação com outras nações líderes.

As áreas temáticas abordadas nas publicações do Brasil incluem predominantemente a aplicação da Internet das Coisas (IoT), *Big Data* e Aprendizado de Máquina, alinhando-se com as tendências internacionais, mas com uma ênfase particular em soluções para otimizar a eficiência operacional e a sustentabilidade.

Os autores do Brasil têm contribuído significativamente, tanto em número de publicações quanto em influência.

A análise comparativa evidenciou que o Brasil tem potencial para se destacar na Indústria 4.0 ao fomentar colaborações entre academia, indústria e governo, promovendo um ambiente de inovação e desenvolvimento tecnológico. O cenário global indica um movimento crescente em direção à descentralização, automação inteligente e sistemas ciber-físicos avançados, enquanto no Brasil, há um esforço contínuo para integrar essas tecnologias em setores industriais.

Essa dissertação, portanto, contribui para o entendimento das lacunas e oportunidades existentes, oferecendo subsídios para estratégias que possam posicionar o Brasil de forma mais competitiva no cenário global da Indústria 4.0, promovendo o avanço acadêmico e o desenvolvimento econômico e social sustentável.

REFERÊNCIAS

- ADADI, A.; BERRADA, M. Peeking Inside the Black-Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI). **IEEE Access**, [Adelaide], v. 6, p. 52138-52160, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2870052>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8466590>. Acesso em: 22 jun. 2024.
- ANTONY, J.; SONY, M.; GARZA-REYES, J.A.; MCDERMOTT, O.; TORTORELLA, G.; JAYARAMAN, R.; SUCHARITHA, R.S.; SALENTIJIN, W.; MAALOUF, M. Industry 4.0 benefits, challenges and critical success factors: a comparative analysis through the lens of resource dependence theory across continents and economies, **Journal of Manufacturing Technology Management**, [s. l.], v. 34, n. 7, p. 1073-1097, out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2022-0371>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-10-2022-0371/full/html>. Acesso em: 22 jun. 2024.
- AYALA, N. F.; GERSTLBERGER, W.; FRANK, A. G. Managing servitization in product companies: the moderating role of service suppliers. **International Journal of Operations and Production Management**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 43-74, jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2017-0484>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJOPM-08-2017-0484/full/html>. Acesso em: 22 jun. 2024.
- BAAS, J.; SCHOTTEN, M.; PLUME, A.; CÔTÉ, G.; KARIMI, R. Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. **Quantitative Science Studies**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 377-386, fev. 2020. DOI: https://doi.org/10.1162/qss_a_00019. Disponível em: <https://direct.mit.edu/qss/article/1/1/377/15571/Scopus-as-a-curated-high-quality-bibliometric-data>. Acesso em: 22 jun. 2024.
- BOYACK, K. W.; KLAUVANS, R.; BÖRNER, K. Mapping the backbone of science. **Scientometrics**, Budapeste, v. 64, n. 3, p. 351-374, ago. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-005-0255-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-005-0255-6>. Acesso em: 22 jun. 2024.
- BROADUS, R. N. Toward a definition of “bibliometrics”. **Scientometrics**, Amsterdã, v. 12, n. 5-6, p. 373-379, nov. 1987. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02016680>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/bf02016680#citeas>. Acesso em: 22 jun. 2024.
- CHADEGANI, A. A.; SALEHI, H.; YUNUS, M. M.; FARHADI, H.; FOOLADI, M.; FARHADI, M.; EBRAHIM, N. A. A comparison between two main academic literature collections: Web of science and scopus databases. **Asian Social Science**, [s. l.], v. 9, n. 5, p. 18-26, abr. 2013. DOI: <https://doi.org/10.5539/ass.v9n5p18>. Disponível em: <https://www.ccsenet.org/journal/index.php/ass/article/view/26960>. Acesso em: 22 jun. 2024.
- CHEN, C. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. **Journal of the American Society for Information**

Science and Technology, [s. l.], v. 57, n. 3, p. 359-377, mar. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/asi.20317>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/asi.20317>. Acesso em: 22 jun. 2024.

CHEN, T.; TSAI, H. R. Ubiquitous manufacturing: Current practices, challenges, and opportunities. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [s. l.], v. 45, p. 126-132, jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2016.01.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584516300175?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jun. 2024.

COBO, M. J.; CHICLANA, F.; COLLOP, A.; DE OÑA, J.; HERRERA-VIDEAMA, E. A bibliometric analysis of the intelligent transportation systems research based on science mapping. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 901-908, abr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2013.2284756>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6651832>. Acesso em: 22 jun. 2024.

COBO, M. J.; LÓPEZ-HERRERA, A. G.; HERRERA-VIDEAMA, E.; HERRERA, F. SciMAT: A new science mapping analysis software tool. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, [s. l.], v. 63, n. 8, p. 1609-1630, jul. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/asi.22688>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/asi.22688>. Acesso em: 22 jun. 2024.

DALENOGARE, L. S.; BENITEZ, G. B.; AYALA, N. F.; FRANK, A. G. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 204, p. 383-394, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527318303372?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jun. 2024.

ELSEVIER. **Scopus**. 2024. Disponível em: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic>. Acesso em: 22 jun. 2024.

FENG, S.; LI, L. X.; CEN, L. An object-oriented intelligent design tool to aid the design of manufacturing systems. **Knowledge-Based Systems**, [s. l.], v. 14, n. 5-6, p. 225-232, ago. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0950-7051\(01\)00100-9](https://doi.org/10.1016/S0950-7051(01)00100-9). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950705101001009?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jun. 2024.

FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 210, p. 15-26, abr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527319300040?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jun. 2024.

GAVEL, Y.; ISELID, L. Web of Science and Scopus: A journal title overlap study. **Online Information Review**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 8-21, fev. 2008. DOI:

<https://doi.org/10.1108/14684520810865958>. Disponível em:
<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/14684520810865958/full/html>.
 Acesso em: 22 jun. 2024.

GAWER, A.; CUSUMANO, M. A. Industry platforms and ecosystem innovation. **Journal of Product Innovation Management**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 417-433, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpim.12105>. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jpim.12105>. Acesso em: 22 jun. 2024.

GLÄNZEL, W. **Bibliometrics as a research field a course on theory and application of bibliometric indicators**. [S. l.], 2003. Disponível em:
https://www.cin.ufpe.br/~ajhol/futuro/references/01%23_Bibliometrics_Module_KUL_BIBLIOMETRICS%20AS%20A%20RESEARCH%20FIELD.pdf. Acesso em: 22 jun. 2024.

GRABOWSKA, S.; SANIUK, S.; GAJDZIK, B. Industry 5.0: improving humanization and sustainability of Industry 4.0. **Scientometrics**, Budapeste, v. 127, p. 3117-3144, abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04370-1>. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-022-04370-1>. Acesso em: 22 jun. 2024.

HARZING, A. W.; ALAKANGAS, S. Google Scholar, Scopus and the Web of Science: a longitudinal and cross-disciplinary comparison. **Scientometrics**, Budapeste, v. 106, p. 787-804, fev. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1798-9>. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-015-1798-9#citeas>. Acesso em: 22 jun. 2024.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: PROCEEDINGS OF THE ANNUAL HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 2016, [Havaí]. **IEEE Computer Society**, p. 3928-3937, mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>. Disponível em:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7427673>. Acesso em: 22 jun. 2024.

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 89, p. 23-34, ago. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361517301902?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jun. 2024.

HOOD, W. W.; WILSON, C. S. The literature of bibliometrics, scientometrics, and informetrics. **Scientometrics**, Budapeste, Dordrecht, v. 52, p. 291-314, out. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1017919924342>. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1017919924342#citeas>. Acesso em: 22 jun. 2024.

IEEE. January 2024 IEEE Thesaurus. **IEEE**, [s. l.], jan. 2024.

IVANOV, D.; DOLGUI, A.; SOKOLOV, B.; WERNER, F.; IVANOVA, M. A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 54, n. 2, p.

386-402, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.999958>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2014.999958>. Acesso em: 22 jun. 2024.

JABBOUR, A. B. L. D. S.; JABBOUR, C. J. C.; FOROPON, C.; GODINHO FILHO, M. When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 132, p. 18-25, jul. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162517314877?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jun. 2024.

JEFLEA, F. V.; DANCULESCU, D.; SITNIKOV, C. S.; FILIPEANU, D.; O PARK, J.; TUGUI, A. Societal Technological Megatrends: A Bibliometric Analysis from 1982 to 2021. **Sustainability (Switzerland)**, Basel, v. 14, n. 3, p. 1-27, jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14031543>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/3/1543>. Acesso em: 22 jun. 2024.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0. **Acatech**, Munique, abr. 2013. Disponível em: <https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/>. Acesso em: 22 jun. 2024.

KESSLER, M. M. Bibliographic Coupling Between Scientific Papers. **American Documentation**, [s. l.], p. 10-25, jan. 1963. DOI: <https://doi.org/10.1002/asi.5090140103>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/asi.5090140103>. Acesso em: 22 jun. 2024.

KORTMANN, S.; PILLER, F. Open Business Models and Closed-Loop Value Chains: Redefining the firm-consumer relationship. **California Management Review**, Califórnia, v. 58, n. 3, p. 88-108, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1525/cmr.2016.58.3.88>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1525/cmr.2016.58.3.88>. Acesso em: 22 jun. 2024.

LASI, H.; FETTKE, P.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12599-014-0334-4>. Acesso em: 22 jun. 2024.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, [s. l.], v. 3, p. 18-23, jan. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221384631400025X?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jun. 2024.

LONGO, F.; NICOLETTI, L.; PADOVANO, A. Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies

within the new smart factory context. **Computers and Industrial Engineering**, [s. l.], v. 113, p. 144-159, nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.016>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835217304291?via%3Dihub>.

Acesso em: 22 jun. 2024.

LOPES, M. A.; MARTINS, R. A. Mapping the impacts of industry 4.0 on performance measurement systems. **IEEE Latin America Transactions**, [s. l.], v. 19, n. 11, p. 1912-1923, nov. 2021. Disponível em:

<https://latamt.ieee9.org/index.php/transactions/article/view/4807/1168>.

Acesso em:

22 jun. 2024.

LÓPEZ-ILLESCAS, C.; MOYA-ANEGÓN, F. de; MOED, H. F. Coverage and citation impact of oncological journals in the Web of Science and Scopus. **Journal of Informetrics**, [s. l.], v. 2, p. 304-316, out. 2008. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.joi.2008.08.001>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S175115770800045X>. Acesso em:

22 jun. 2024.

MOICEANU, G.; PARASCHIV, G. Digital Twin and Smart Manufacturing in Industries: A Bibliometric Analysis with a Focus on Industry 4.0. **Sensors**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 1-22, fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22041388>. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/4/1388>. Acesso em: 22 jun. 2024.

MONGEON, P.; PAUL-HUS, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, Budapeste, v. 106, p. 213-228, jan. 2016.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-015-1765-5#citeas>. Acesso em: 22

jun. 2024.

MONOSTORI, L. Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. **Procedia CIRP**, [s.l.], 2014. v. 17, p. 9-13, 2014. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114003497?via%3Dihub>.

Acesso em: 22 jun. 2024.

MORRIS, S. A.; VAN DER VEER MARTENS, B. Mapping research specialties.

Annual Review of Information Science and Technology, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 213-295, jan. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1002/aris.2008.1440420113>. Disponível em:

<https://asistdl.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aris.2008.1440420113>. Acesso em:

22 jul. 2024.

MUHURI, P. K.; SHUKLA, A. K.; ABRAHAM, A. Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, [s. l.], v. 78, p. 218-235, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.11.007>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197618302458?via%3Dihub>.

Acesso em: 22 jun. 2024.

NARIN, F. Evaluative bibliometrics: The use of publication and citation analysis in the evaluation of scientific activity. **Computer Horizons**, [s. l.], p. 1-459, mar. 1976.

NOROUZI, M.; CHÀFER, M.; CABEZA, L. F.; JIMÉNEZ, L.; BOER, D. Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 44, p. 1-18, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102704>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221005623>. Acesso em: 22 jun. 2024.

PORTER, M.; HEPPELMANN, J. E. How Smart, Connected Products Are Transforming Companies. **Harvard Business Review**, [s. l.], p.1-19, out. 2015. Disponível em: <http://www.knowledgesol.com/uploads/2/4/3/9/24393270/hbr-how-smart-connected-products-are-transforming-companies.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2024.

RAAN, A. F. J. V. Scientometrics: State-of-the-art. **Scientometrics**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 205-218, 1997. Disponível em: <http://www.cwts.nl/tvr/documents/avr-stateart-sciento.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2024.

RAGUSEO, E.; GASTALDI, L.; NEIROTTI, P. Smart work: Supporting employees' flexibility through ICT, HR practices and office layout. **Evidence-based HRM**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 240-256, dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1108/EBHRM-01-2016-0004>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/EBHRM-01-2016-0004/full/html>. Acesso em: 22 jun. 2024.

RODRIGUES, L.; JESUS, R.; SCHÜTZER, K. Industrie 4.0 – Uma Revisão da Literatura. **Revista de Ciência & Tecnologia**, [Piracicaba], v. 19, n. 38, p. 33-45, dez. 2016.

SCHUH, G.; ANDERL, R.; DUMITRESCU, R.; KRÜGER, A.; TEN HOMPEL, M. Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies - UPDATE 2020. **Acatech Study**, Munique, p. 1-64, abr. 2020. Disponível em: <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/>. Acesso em: 22 jun. 2024.

SINGH, V. K.; SINGH, P.; KARMAKAR, M.; LETA, J.; MAYR, P. The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. **Scientometrics**, Budapeste, v. 126, p. 5113-5142, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-021-03948-5>. Acesso em: 22 jun. 2024.

STOCK, T.; OBENAU, M.; KUNZ, S.; KOHL, H. Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. **Process Safety and Environmental Protection**, [s. l.], v. 118, p. 254-267, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.026>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582018303677?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jun. 2024.

THAMES, L.; SCHAEFER, D. Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. **Procedia CIRP**, [s.l.], 2016. v. 52, p. 12-17, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116307910?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jun. 2024.

TORTORELLA, G. L.; FETTERMANN, D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 56, n. 8, p. 2975-2987, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1391420>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2017.1391420>. Acesso em: 22 jun. 2024.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Bibliometric mapping of the computational intelligence field. **International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems**, [s. l.], v. 15, n. 5, p. 625-645, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0218488507004911>. Disponível em: https://www.worldscientific.com/doi/10.1142/S0218488507004911?srsIid=AfmBOop-Eg5_njMFlr5ka7nVtkGcpZj-TyKZnr_Gpc3c8TrplGpdV5X1. Acesso em: 22 jun. 2024.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, Budapeste, v. 84, p. 523-538, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-009-0146-3#citeas>. Acesso em: 22 jun. 2024.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. VOSviewer Manual version 1.6.8. **Universiteit Leiden**, [Leiden], p. 1-50, abr. 2018. Disponível em: https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.8.pdf. Acesso em: 22 jun. 2024.

VIEIRA, E. S.; GOMES, J. A. A comparison of Scopus and Web of science for a typical university. **Scientometrics**, Budapeste, v. 81, p. 587-600, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-2178-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-009-2178-0>. Acesso em: 22 jun. 2024.

VISSER, M.; VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, web of science, dimensions, crossref, and microsoft academic. **Quantitative Science Studies**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 20-41, abr. 2021. DOI: https://doi.org/10.1162/qss_a_00112. Disponível em: <https://direct.mit.edu/qss/article/2/1/20/97574/Large-scale-comparison-of-bibliographic-data>. Acesso em: 22 jun. 2024.

WANG, S.; WAN, J.; LI, D.; ZHANG, C. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 1-10, jan. 2016a. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1155/2016/3159805>. Acesso em: 22 jun. 2024.

WANG, S.; WAN, J.; ZHANG, D.; LI, D.; ZHANG, C. Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. **Computer Networks**, [s. l.], v. 101, p. 158-168, jun. 2016b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128615005046?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jun. 2024.

WOLLSCHLAEGER M; SAUTER, T. J. J. The Future of Industrial Communication. **IEEE Industrial Electronics magazine**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 17-27, mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/MIE.2017.2649104>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7883994>. Acesso em: 22 jun. 2024.

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: State of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 56, n. 8, p. 2941-2962, mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2018.1444806>. Acesso em: 22 jun. 2024.

ZHONG, R. Y., XU, X., KLOTZ, E., NEWMAN, S. T. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering**, [s. l.], v. 3, n. 5, p. 616-630, out. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917307130?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jun. 2024.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 429-472, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1094428114562629>. Acesso em: 22 jun. 2024.

APÊNDICE A – LISTA THESAURUS PARA PAÍSES

Lista Thesaurus para países (continua)

| Nome | Substituído por |
|------------------------|----------------------|
| algeria | Argélia |
| argentina | Argentina |
| australia | Austrália |
| austria | Áustria |
| bahrain | Bahrein |
| bangladesh | Bangladesh |
| belgium | Bélgica |
| bosnia and herzegovina | Bósnia e Herzegovina |
| brazil | Brasil |
| brunei darussalam | Brunei Darussalam |
| bulgaria | Bulgária |
| canada | Canadá |
| chile | Chile |
| china | China |
| colombia | Colômbia |
| croatia | Croácia |
| cyprus | Chipre |
| czech republic | República Tcheca |
| denmark | Dinamarca |
| ecuador | Equador |
| egypt | Egito |
| estonia | Estônia |
| ethiopia | Etiópia |
| finland | Finlândia |
| france | França |
| germany | Alemanha |
| ghana | Gana |
| greece | Grécia |
| hong kong | Hong Kong |
| hungary | Hungria |
| india | Índia |
| indonesia | Indonésia |
| iran | Irã |

Lista Thesaurus para países (continuação)

| Nome | Substituído por |
|--------------------|------------------------|
| iraq | Iraque |
| ireland | Irlanda |
| israel | Israel |
| italy | Itália |
| japan | Japão |
| jordan | Jordânia |
| kazakhstan | Cazaquistão |
| kenya | Quênia |
| kuwait | Kuwait |
| latvia | Letônia |
| lebanon | Líbano |
| lithuania | Lituânia |
| luxembourg | Luxemburgo |
| macao | Macau |
| malaysia | Malásia |
| mexico | México |
| morocco | Marrocos |
| namibia | Namíbia |
| netherlands | Países Baixos |
| new zealand | Nova Zelândia |
| nigeria | Nigéria |
| norway | Noruega |
| oman | Omã |
| pakistan | Paquistão |
| peru | Peru |
| philippines | Filipinas |
| poland | Polônia |
| portugal | Portugal |
| qatar | Catar |
| romania | Romênia |
| russian federation | Federação Russa |
| saudi arabia | Arábia Saudita |
| serbia | Sérvia |
| singapore | Singapura |

Lista Thesaurus para países (conclusão)

| Nome | Substituído por |
|----------------------|------------------------|
| slovakia | Eslováquia |
| slovenia | Eslovênia |
| south africa | África do Sul |
| south korea | Coreia do Sul |
| spain | Espanha |
| sweden | Suécia |
| switzerland | Suíça |
| taiwan | Taiwan |
| thailand | Tailândia |
| tunisia | Tunísia |
| turkey | Turquia |
| ukraine | Ucrânia |
| united arab emirates | Emirados Árabes Unidos |
| united kingdom | Reino Unido |
| united states | Estados Unidos |
| uruguay | Uruguai |
| uzbekistan | Uzbequistão |
| venezuela | Venezuela |
| viet nam | Vietnã |
| yemen | Iêmen |

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

APÊNDICE B – LISTA THESAURUS PARA PERIÓDICOS

Lista Thesaurus para periódicos (continua)

| Nome | Substituído por |
|------------------------------------|--|
| appl. sci | applied sciences |
| appl. sci. | applied sciences |
| autom. constr | automation in construction |
| cirp ann | cirp annals |
| comput ind | computers and industrial engineering |
| comput ind eng | computers and industrial engineering |
| comput. ind | computers and industrial engineering |
| comput. ind. | computers and industrial engineering |
| comput. ind. eng | computers and industrial engineering |
| comput. ind. eng. | computers and industrial engineering |
| computers & industrial engineering | computers and industrial engineering |
| eur. j. oper. res | european journal of operational research |
| eur. j. oper. res. | european journal of operational research |
| expert syst. appl | expert systems with applications |
| expert syst. appl. | expert systems with applications |
| future gener. comput. syst. | future generation computer systems |
| ieee internet things j | ieee internet of things journal |
| ieee internet things j. | ieee internet of things journal |
| ieee trans. ind. inf. | ieee transactions on industrial informatics |
| ieee trans. ind. inform | ieee transactions on industrial informatics |
| ieee trans. ind. inform. | ieee transactions on industrial informatics |
| ieee trans. ind. informat. | ieee transactions on industrial informatics |
| int j adv manuf technol | international journal of advanced manufacturing technology |
| int j prod econ | international journal of production economics |
| int j prod res | international journal of production research |
| int. j. adv. manuf. technol | international journal of advanced manufacturing technology |
| int. j. adv. manuf. technol. | international journal of advanced manufacturing technology |
| int. j. comput. integr. manuf | international journal of computer integrated manufacturing |
| int. j. prod. econ | international journal of production economics |

Lista Thesaurus para periódicos (conclusão)

| Nome | Substituído por |
|---|---|
| int. j. prod. econ. | international journal of production economics |
| int. j. prod. res | international journal of production research |
| int. j. prod. res. | international journal of production research |
| international journal of operations & production management | international journal of operations and production management |
| j clean prod | journal of cleaner production |
| j intell manuf | journal of intelligent manufacturing |
| j manuf syst | journal of manufacturing systems |
| j. bus. res | journal of business research |
| j. clean. prod | journal of cleaner production |
| j. ind. inf. integr. | journal of industrial information integration |
| j. intell. manuf | journal of intelligent manufacturing |
| j. manuf. syst | journal of manufacturing systems |
| j. manuf. technol. manag | journal of manufacturing technology management |
| j. oper. manag. | journal of operations management |
| proc. cirp | procedia cirp |
| procedia comput. sci | procedia computer science |
| procedia manuf | procedia manufacturing |
| prod. plan. control | production planning and control |
| res. policy | research policy |
| resour. conserv. recycl. | resources, conservation and recycling |
| sustainability | sustainability (switzerland) |
| technol. forecast. soc. chang | technological forecasting and social change |

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

APÊNDICE C – LISTA THESAURUS PARA AUTORES

| Nome | Substituído por |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| aigbavboa, clinton | aigbavboa, clinton ohis |
| ayala, néstor f. | ayala, néstor fabián |
| de sousa jabbour, ana beatriz lopes | de sousa jabbour |
| fernandez-carames, tiago m. | fernández-caramés, tiago m. |
| filho, moacir godinho | godinho filho, moacir |
| fogliatto, flavio s. | fogliatto, flavio sanson |
| frank, alejandro g. | frank, alejandro germán |
| kamble, sachin | kamble, sachin s. |
| kim, hyun | kim, bo hyun |
| lopes de sousa jabbour, ana beatriz | de sousa jabbour |
| lopes de sousa jabbour, ana beatriz | de sousa jabbour |
| singh, rajesh | singh, rajesh kumar |
| singh, rajesh kr | singh, rajesh kumar |
| strandhagen, jan ola | strandhagen, jo wessel |
| tortorella, guilherme | tortorella, guilherme luz |
| tortorella g. | tortorella g.i. |
| villalba-diez, javier | villalba-díez, javier |
| voigt k.-i. | voigt k.i. |

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

APÊNDICE D – LISTA THESAURUS PARA PALAVRAS-CHAVES: MUNDO

Lista Thesaurus para palavras-chaves: Mundo (continua)

| Nome | Substituído por |
|------------------------------|--------------------------|
| industry 4.0 | Indústria 4.0 |
| internet of things | Internet das Coisas |
| artificial intelligence | Inteligência Artificial |
| industrial revolutions | Revolução Industrial |
| decision making | Tomada de Decisão |
| embedded systems | Sistemas Embarcados |
| machine learning | Aprendizado de Máquina |
| sustainability | Sustentabilidade |
| fourth industrial revolution | Indústria 4.0 |
| sustainable development | Sustentabilidade |
| smart manufacturing | Fábrica Inteligente |
| manufacturing | Manufatura |
| digital transformation | Transformação Digital |
| industrial research | Pesquisa Industrial |
| automation | Automação |
| manufacture | Manufatura |
| big data | Big Data |
| digital twin | Gêmeo Digital |
| cyber physical system | Sistema Ciber-Físico |
| innovation | Inovação |
| digitalization | Digitalização |
| blockchain | Blockchain |
| supply chains | Cadeia de Suprimentos |
| deep learning | Aprendizado Profundo |
| article | Artigo |
| supply chain management | Cadeia de Suprimentos |
| human | Humano |
| learning systems | Sistemas de Aprendizado |
| iot | Internet das Coisas |
| cyber-physical systems | Sistema Ciber-Físico |
| manufacturing industries | Indústrias de Manufatura |
| competition | Competição |
| information management | Gestão da Informação |

Lista Thesaurus para palavras-chaves: Mundo (continuação)

| Nome | Substituído por |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| robotics | Robótica |
| circular economy | Economia Circular |
| smart factory | Fábrica Inteligente |
| digital technologies | Tecnologias Digitais |
| technology | Tecnologia |
| manufacturing process | Processo de Manufatura |
| life cycle | Ciclo de Vida |
| predictive maintenance | Manutenção Preditiva |
| optimization | Otimização |
| energy efficiency | Eficiência Energética |
| network security | Segurança de Rede |
| maintenance | Manutenção |
| machine-learning | Aprendizado de Máquina |
| industrial internet of things (iiot) | Internet Industrial das Coisas |
| digital storage | Armazenamento Digital |
| augmented reality | Realidade Aumentada |
| data analytics | Análise de Dados |
| engineering education | Educação em Engenharia |
| cloud computing | Computação em Nuvem |
| performance | Desempenho |
| production system | Sistema de Produção |
| industrial development | Desenvolvimento Industrial |
| energy utilization | Utilização de Energia |
| virtual reality | Realidade Virtual |
| forecasting | Previsão |
| quality control | Controle de Qualidade |
| internet of things (iot) | Internet das Coisas |
| surveys | Pesquisas |
| industry | Indústria |
| real time systems | Sistemas em Tempo Real |
| technological development | Tecnologia |
| costs | Custos |
| digitization | Digitalização |
| industrial internet of things | Internet Industrial das Coisas |
| simulation | Simulação |

Lista Thesaurus para palavras-chaves: Mundo (continuação)

| Nome | Substituído por |
|---------------------------------|----------------------------------|
| design/methodology/approach | Design/metodologia/abordagem |
| covid-19 | COVID-19 |
| flow control | Controle de Fluxo |
| production control | Controle de Produção |
| block-chain | Blockchain |
| security | Segurança |
| 5g mobile communication systems | Sistemas de Comunicação Móvel 5G |
| product design | Design de Produto |
| systematic literature review | Revisão de Literatura |
| efficiency | Eficiência |
| additive manufacturing | Manufatura Aditiva |
| internet of things (iot) | Internet das Coisas |
| technology adoption | Tecnologia |
| production process | Processo de Produção |
| data handling | Manuseio de Dados |
| 3d printers | Impressão 3D |
| cybersecurity | Cibersegurança |
| scheduling | Agendamento |
| process control | Controle de Processo |
| accident prevention | Prevenção de Acidentes |
| manufacturing companies | Empresas de Manufatura |
| humans | Humano |
| learning algorithms | Algoritmos de Aprendizado |
| literature review | Revisão de Literatura |
| network architecture | Arquitetura de Rede |
| data acquisition | Aquisição de Dados |
| commerce | Comércio |
| supply chain | Cadeia de Suprimentos |
| industrial robots | Robôs Industriais |
| knowledge management | Gestão do Conhecimento |
| interoperability | Interoperabilidade |
| management | Gestão |
| education | Educação |
| data mining | Mineração de Dados |
| automotive industry | Indústria Automotiva |

Lista Thesaurus para palavras-chaves: Mundo (continuação)

| Nome | Substituído por |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| industry 5.0 | Indústria 5.0 |
| industrial technology | Tecnologia Industrial |
| current | atual |
| industrial revolution 4.0 | Indústria 4.0 |
| construction industry | Indústria da Construção |
| productivity | Produtividade |
| fault detection | Detecção de Falhas |
| internet | Internet |
| literature reviews | Revisão de Literatura |
| 3d printing | Impressão 3D |
| economic and social effects | Efeitos Econômicos e Sociais |
| lean production | Produção Enxuta |
| anomaly detection | Detecção de Anomalias |
| monitoring | Monitoramento |
| neural networks | Redes Neurais |
| condition monitoring | Monitoramento de Condição |
| cybe-physical systems | Sistema Ciber-Físico |
| decision support systems | Tomada de Decisão |
| edge computing | Computação de Borda |
| e-learning | E-learning |
| cyber-physical system | Sistema Ciber-Físico |
| algorithm | Algoritmo |
| digitalisation | Digitalização |
| investments | Investimentos |
| risk assessment | Avaliação de Risco |
| case-studies | Estudos de Caso |
| human resource management | Gestão de Recursos Humanos |
| small and medium-sized enterprise | Pequena e Média Empresa |
| additives | Aditivos |
| computer architecture | Arquitetura de Computadores |
| intelligent manufacturing | Manufatura Inteligente |
| industrial internet of thing | Internet Industrial das Coisas |
| enabling technologies | Tecnologias Habilitadoras |
| industrial economics | Economia Industrial |
| integration | Integração |

Lista Thesaurus para palavras-chaves: Mundo (conclusão)

| Nome | Substituído por |
|--------------------------|--------------------------------|
| decisions makings | Tomada de Decisão |
| smes | Pequena e Média Empresa |
| benchmarking | Benchmarking |
| machinery | Maquinário |
| iiot | Internet Industrial das Coisas |
| logistics | Logística |
| cyber security | Cibersegurança |
| higher education | Ensino Superior |
| internet of thing (iot) | Internet das Coisas |
| cloud-computing | Computação em Nuvem |
| genetic algorithms | Algoritmos Genéticos |
| engineering | Engenharia |
| digital manufacturing | Manufatura Digital |
| industrial revolution | Revolução Industrial |
| metadata | Metadados |
| process monitoring | Monitoramento de Processo |
| wireless sensor networks | Redes de Sensores Sem Fio |
| emerging technologies | Tecnologias Emergentes |
| information technology | Tecnologia da Informação |
| competitiveness | Competitividade |
| cost effectiveness | Eficácia de Custo |
| service industry | Indústria de Serviços |

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

APÊNDICE E – LISTA THESAURUS PARA PALAVRAS-CHAVES: BRASIL

Lista Thesaurus para palavras-chaves: Brasil (continua)

| Nome | Substituído por |
|------------------------------|--------------------------|
| industry 4.0 | Indústria 4.0 |
| internet of things | Internet das Coisas |
| artificial intelligence | Inteligência Artificial |
| industrial revolutions | Revolução Industrial |
| decision making | Tomada de Decisão |
| embedded systems | Sistemas Embarcados |
| machine learning | Aprendizado de Máquina |
| sustainability | Sustentabilidade |
| fourth industrial revolution | Indústria 4.0 |
| sustainable development | Sustentabilidade |
| smart manufacturing | Fábrica Inteligente |
| manufacturing | Manufatura |
| digital transformation | Transformação Digital |
| industrial research | Pesquisa Industrial |
| automation | Automação |
| manufacture | Manufatura |
| big data | Big Data |
| digital twin | Gêmeo Digital |
| cyber physical system | Sistema Ciber-Físico |
| innovation | Inovação |
| digitalization | Digitalização |
| blockchain | Blockchain |
| supply chains | Cadeia de Suprimentos |
| deep learning | Aprendizado Profundo |
| article | Artigo |
| supply chain management | Cadeia de Suprimentos |
| human | Humano |
| learning systems | Sistemas de Aprendizado |
| iot | Internet das Coisas |
| cyber-physical systems | Sistema Ciber-Físico |
| manufacturing industries | Indústrias de Manufatura |
| competition | Competição |
| information management | Gestão da Informação |
| robotics | Robótica |
| circular economy | Economia Circular |
| smart factory | Fábrica Inteligente |
| digital technologies | Tecnologias Digitais |
| technology | Tecnologia |
| manufacturing process | Processo de Manufatura |
| life cycle | Ciclo de Vida |
| predictive maintenance | Manutenção Preditiva |

Lista Thesaurus para palavras-chaves: Brasil (continuação)

| Nome | Substituído por |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| optimization | Otimização |
| energy efficiency | Eficiência Energética |
| network security | Segurança de Rede |
| maintenance | Manutenção |
| machine-learning | Aprendizado de Máquina |
| industrial internet of things (iiot) | Internet Industrial das Coisas |
| digital storage | Armazenamento Digital |
| augmented reality | Realidade Aumentada |
| data analytics | Análise de Dados |
| engineering education | Educação em Engenharia |
| cloud computing | Computação em Nuvem |
| performance | Desempenho |
| production system | Sistema de Produção |
| industrial development | Desenvolvimento Industrial |
| energy utilization | Utilização de Energia |
| virtual reality | Realidade Virtual |
| forecasting | Previsão |
| quality control | Controle de Qualidade |
| internet of things (iot) | Internet das Coisas |
| surveys | Pesquisa |
| industry | Indústria |
| real time systems | Sistemas em Tempo Real |
| technological development | Tecnologia |
| costs | Custos |
| digitization | Digitalização |
| industrial internet of things | Internet Industrial das Coisas |
| simulation | Simulação |
| design/methodology/approach | Design/metodologia/abordagem |
| covid-19 | COVID-19 |
| flow control | Controle de Fluxo |
| production control | Controle de Produção |
| block-chain | Blockchain |
| security | Segurança |
| 5g mobile communication systems | Sistemas de Comunicação Móvel 5G |
| product design | Design de Produto |
| systematic literature review | Revisão de Literatura |
| efficiency | Eficiência |
| additive manufacturing | Manufatura Aditiva |
| internet of things (iot) | Internet das Coisas |
| technology adoption | Tecnologia |
| production process | Processo de Produção |
| data handling | Manuseio de Dados |
| 3d printers | Impressão 3D |

Lista Thesaurus para palavras-chaves: Brasil (continuação)

| Nome | Substituído por |
|-----------------------------|------------------------------|
| cybersecurity | Cibersegurança |
| scheduling | Agendamento |
| process control | Controle de Processo |
| accident prevention | Prevenção de Acidentes |
| manufacturing companies | Empresas de Manufatura |
| humans | Humano |
| learning algorithms | Algoritmos de Aprendizado |
| literature review | Revisão de Literatura |
| network architecture | Arquitetura de Rede |
| data acquisition | Aquisição de Dados |
| commerce | Comércio |
| supply chain | Cadeia de Suprimentos |
| industrial robots | Robôs Industriais |
| knowledge management | Gestão do Conhecimento |
| interoperability | Interoperabilidade |
| management | Gestão |
| education | Educação |
| data mining | Mineração de Dados |
| automotive industry | Indústria Automotiva |
| industry 5.0 | Indústria 5.0 |
| industrial technology | Tecnologia Industrial |
| 'current | 'atual |
| industrial revolution 4.0 | Indústria 4.0 |
| construction industry | Indústria da Construção |
| productivity | Produtividade |
| fault detection | Detecção de Falhas |
| internet | Internet |
| literature reviews | Revisão de Literatura |
| 3d printing | Impressão 3D |
| economic and social effects | Efeitos Econômicos e Sociais |
| lean production | Produção Enxuta |
| anomaly detection | Detecção de Anomalias |
| monitoring | Monitoramento |
| neural networks | redes neurais |
| condition monitoring | Monitoramento de Condição |
| cybe-physical systems | Sistema Ciber-Físico |
| decision support systems | Tomada de Decisão |
| edge computing | Computação de Borda |
| e-learning | E-learning |
| cyber-physical system | Sistema Ciber-Físico |
| algorithm | Algoritmo |
| digitalisation | Digitalização |
| investments | Investimentos |

Lista Thesaurus para palavras-chaves: Brasil (continuação)

| Nome | Substituído por |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| risk assessment | Avaliação de Risco |
| case-studies | Estudos de Caso |
| human resource management | Gestão de Recursos Humanos |
| small and medium-sized enterprise | Pequena e Média Empresa |
| additives | Aditivos |
| computer architecture | Arquitetura de Computadores |
| intelligent manufacturing | Manufatura Inteligente |
| industrial internet of thing | Internet Industrial das Coisas |
| enabling technologies | Tecnologias Habilitadoras |
| industrial economics | Economia Industrial |
| integration | Integração |
| decisions makings | Tomada de Decisão |
| smes | Pequena e Média Empresa |
| benchmarking | Benchmarking |
| machinery | Maquinário |
| iiot | Internet Industrial das Coisas |
| logistics | Logística |
| cyber security | Cibersegurança |
| higher education | Ensino Superior |
| internet of thing (iot) | Internet das Coisas |
| cloud-computing | Computação em Nuvem |
| genetic algorithms | Algoritmos Genéticos |
| engineering | Engenharia |
| digital manufacturing | Manufatura Digital |
| industrial revolution | Revolução Industrial |
| metadata | Metadados |
| process monitoring | Monitoramento de Processo |
| wireless sensor networks | Redes de Sensores Sem Fio |
| emerging technologies | Tecnologias Emergentes |
| information technology | Tecnologia da Informação |
| competitiveness | Competitividade |
| cost effectiveness | Eficácia de Custo |
| service industry | Indústria de Serviços |
| % reductions | redução de % |
| 3-d printing | Impressão 3D |
| advanced manufacturing | manufatura avançada |
| agile manufacturing systems | sistemas de manufatura ágeis |
| agriculture 4.0 | agricultura 4.0 |
| artificial neural network | redes neurais |
| bibliometrics | bibliometria |
| big data analytics | análise de big data |
| brazil | brasil |
| business | negócios |

Lista Thesaurus para palavras-chaves: Brasil (continuação)

| Nome | Substituído por |
|--|------------------------------------|
| business models | modelos de negócios |
| classification (of information) | classificação (da informação) |
| climate change | mudança climática |
| competitive advantage | vantagem competitiva |
| computer control systems | sistemas de controle de computador |
| computer vision | visão computacional |
| conceptual framework | estrutura conceitual |
| conceptual frameworks | estrutura conceitual |
| continuous improvements | melhorias contínuas |
| convolutional neural network | rede neural convolucional |
| convolutional neural networks | rede neural convolucional |
| cost reduction | redução de custos |
| cps | Sistema Ciber-Físico |
| cutting tools | ferramentas de corte |
| digital twins | Gêmeo Digital |
| discrete event simulation | simulação de eventos discretos |
| emerging countries | países emergentes |
| emerging economies | economias emergentes |
| empirical studies | estudo empírico |
| empirical study | estudo empírico |
| employment | emprego |
| environmental impact | impacto ambiental |
| exploratory studies | estudos exploratórios |
| factor analysis | análise fatorial |
| floors | andares |
| health care | cuidados de saúde |
| healthcare 4.0 | saúde 4.0 |
| industrial automation | automação industrial |
| industrial environments | ambientes industriais |
| industrial processs | processos industriais |
| industrial production | produção industrial |
| information and communication technologies | Tecnologia da Informação |
| information use | uso da informação |
| intelligent systems | sistemas inteligentes |
| lean automation | automação enxuta |
| lean manufacturing | manufatura enxuta |
| manufacturing sector | setor de manufatura |
| mapping | mapeamento |
| maturity model | modelo de maturidade |
| multivariate analysis | análise multivariada |
| multivariate data | dados multivariados |
| open source software | software de código aberto |
| operational performance | desempenho operacional |

Lista Thesaurus para palavras-chaves: Brasil (conclusão)

| Nome | Substituído por |
|--------------------------|------------------------------|
| operations management | gestão de operações |
| perception | percepção |
| policy implementation | implementação de políticas |
| production efficiency | eficiência de produção |
| project management | gestão de projetos |
| research and development | pesquisa e desenvolvimento |
| resilience | resiliência |
| shopfloors | chão de fábrica |
| sistema ciber-físico | Sistema Ciber-Físico |
| supply chain 4.0 | cadeia de suprimentos 4.0 |
| survey | Pesquisa |
| sustainable operations | operações sustentáveis |
| systematic review | revisão sistemática |
| teaching | ensino |
| technological change | mudança tecnológica |
| technologies | Tecnologia |
| triple bottom line | tríplice linha de fundo |
| value stream mapping | mapeamento de fluxo de valor |
| workers' | trabalhadores |

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus e resultados do VOSviewer.

APÊNDICE F – ANÁLISE ESTATÍSTICA: EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES SOBRE TODOS OS TEMAS

RESUMO DOS RESULTADOS

| <i>Estatística de regressão</i> | |
|---------------------------------|-------------|
| R múltiplo | 0,970530518 |
| R-Quadrado | 0,941929486 |
| R-quadrado ajustado | 0,935477207 |
| Erro padrão | 102677,2279 |
| Observações | 11 |

ANOVA

| | <i>gl</i> | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>F de significação</i> |
|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|
| Regressão | 1 | 1,53905E+12 | 1,53905E+12 | 145,9839908 | 7,2638E-07 |
| Resíduo | 9 | 94883518224 | 10542613136 | | |
| Total | 10 | 1,63394E+12 | | | |

| | <i>Coefficientes</i> | <i>Erro padrão</i> | <i>Stat t</i> | <i>valor-P</i> | <i>95% inferiores</i> | <i>95% superiores</i> | <i>Inferior 95,0%</i> | <i>Superior 95,0%</i> |
|------------|----------------------|--------------------|---------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Interseção | -236391528 | 19756021,39 | 11,96554323 | 7,89079E-07 | -281082753,3 | -191700302,7 | -281082753,3 | -191700302,7 |
| Ano | 118285,2 | 9789,88956 | 12,08238349 | 7,2638E-07 | 96138,93121 | 140431,4688 | 96138,93121 | 140431,4688 |

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

APÊNDICE G – ANÁLISE ESTATÍSTICA: EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES SOBRE INDÚSTRIA 4.0 NO MUNDO

RESUMO DOS RESULTADOS

| <i>Estatística de regressão</i> | |
|---------------------------------|-------------|
| R múltiplo | 0,958518227 |
| R-Quadrado | 0,918757192 |
| R-quadrado ajustado | 0,909730214 |
| Erro padrão | 377,0448021 |
| Observações | 11 |

ANOVA

| | <i>gl</i> | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>F de significação</i> |
|-----------|-----------|-------------|-------------|------------|--------------------------|
| Regressão | 1 | 14469191,14 | 14469191,14 | 101,779037 | 3,32488E-06 |
| Resíduo | 9 | 1279465,045 | 142162,7828 | | |
| Total | 10 | 15748656,18 | | | |

| | <i>Coeficientes</i> | <i>Erro padrão</i> | <i>Stat t</i> | <i>valor-P</i> | <i>95% inferiores</i> | <i>95% superiores</i> | <i>Inferior 95,0%</i> | <i>Superior 95,0%</i> |
|------------|---------------------|--------------------|---------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Interseção | -730658,1818 | 72546,80834 | -10,07154137 | 3,37199E-06 | -894770,4639 | -566545,8997 | -894770,4639 | -566545,8997 |
| Ano | 362,6818182 | 35,94981133 | 10,08855971 | 3,32488E-06 | 281,357695 | 444,0059414 | 281,357695 | 444,0059414 |

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

APÊNDICE H – ANÁLISE ESTATÍSTICA: EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES SOBRE INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL

RESUMO DOS RESULTADOS

| <i>Estatística de regressão</i> | |
|---------------------------------|-------------|
| R múltiplo | 0,950131954 |
| R-Quadrado | 0,90275073 |
| R-quadrado ajustado | 0,890594572 |
| Erro padrão | 20,13462268 |
| Observações | 10 |

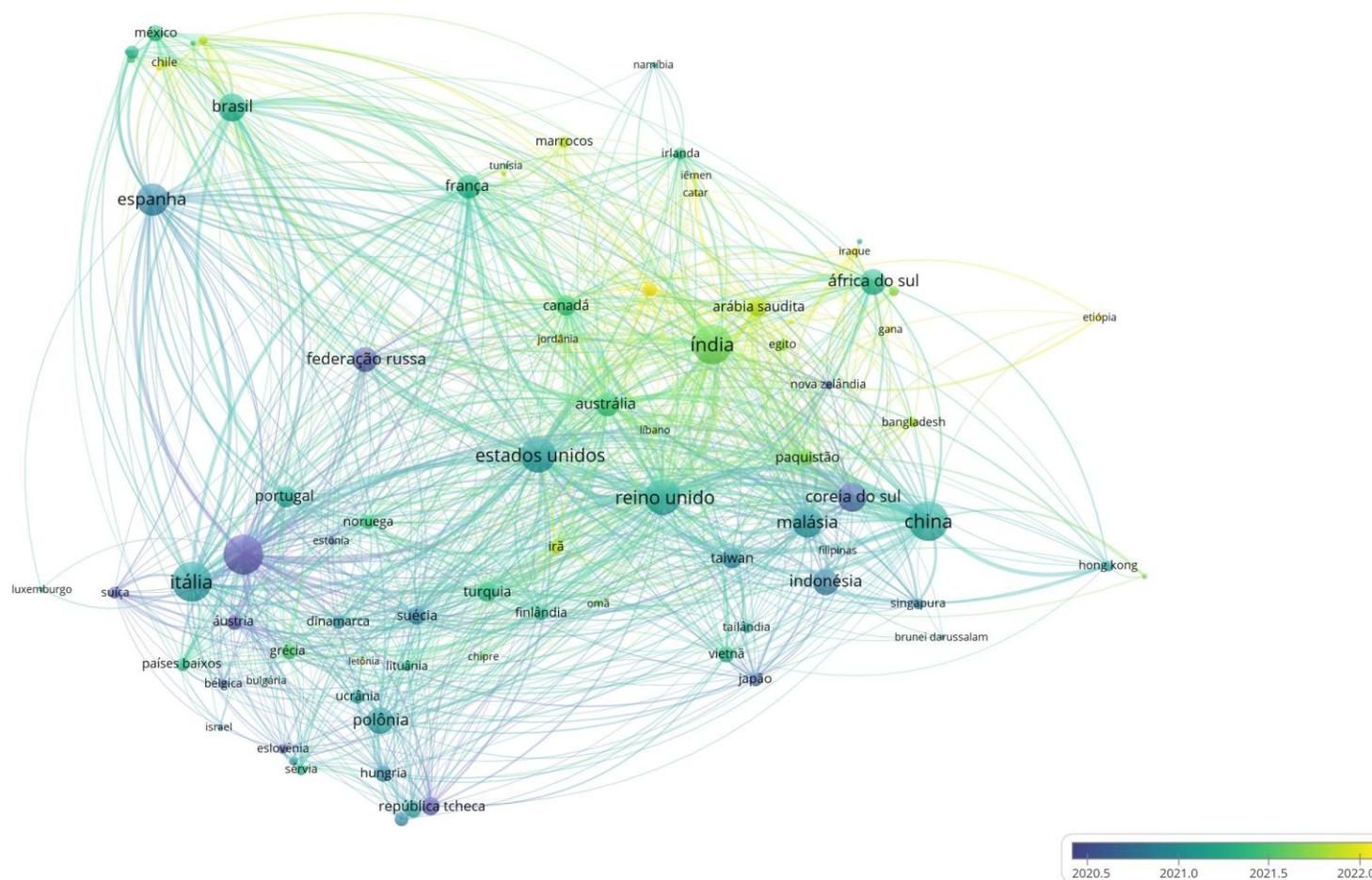
ANOVA

| | <i>gl</i> | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>F de significação</i> |
|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|
| Regressão | 1 | 30106,37576 | 30106,37576 | 74,26282861 | 2,54706E-05 |
| Resíduo | 8 | 3243,224242 | 405,4030303 | | |
| Total | 9 | 33349,6 | | | |

| | <i>Coefficientes</i> | <i>Erro padrão</i> | <i>Stat t</i> | <i>valor-P</i> | <i>95% inferiores</i> | <i>95% superiores</i> | <i>Inferior 95,0%</i> | <i>Superior 95,0%</i> |
|------------|----------------------|--------------------|---------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Interseção | -38501,66667 | 4474,512385 | -8,604661996 | 2,57511E-05 | -48819,91073 | -28183,4226 | -48819,91073 | -28183,4226 |
| Ano | 19,1030303 | 2,216748999 | 8,617588329 | 2,54706E-05 | 13,99119794 | 24,21486266 | 13,99119794 | 24,21486266 |

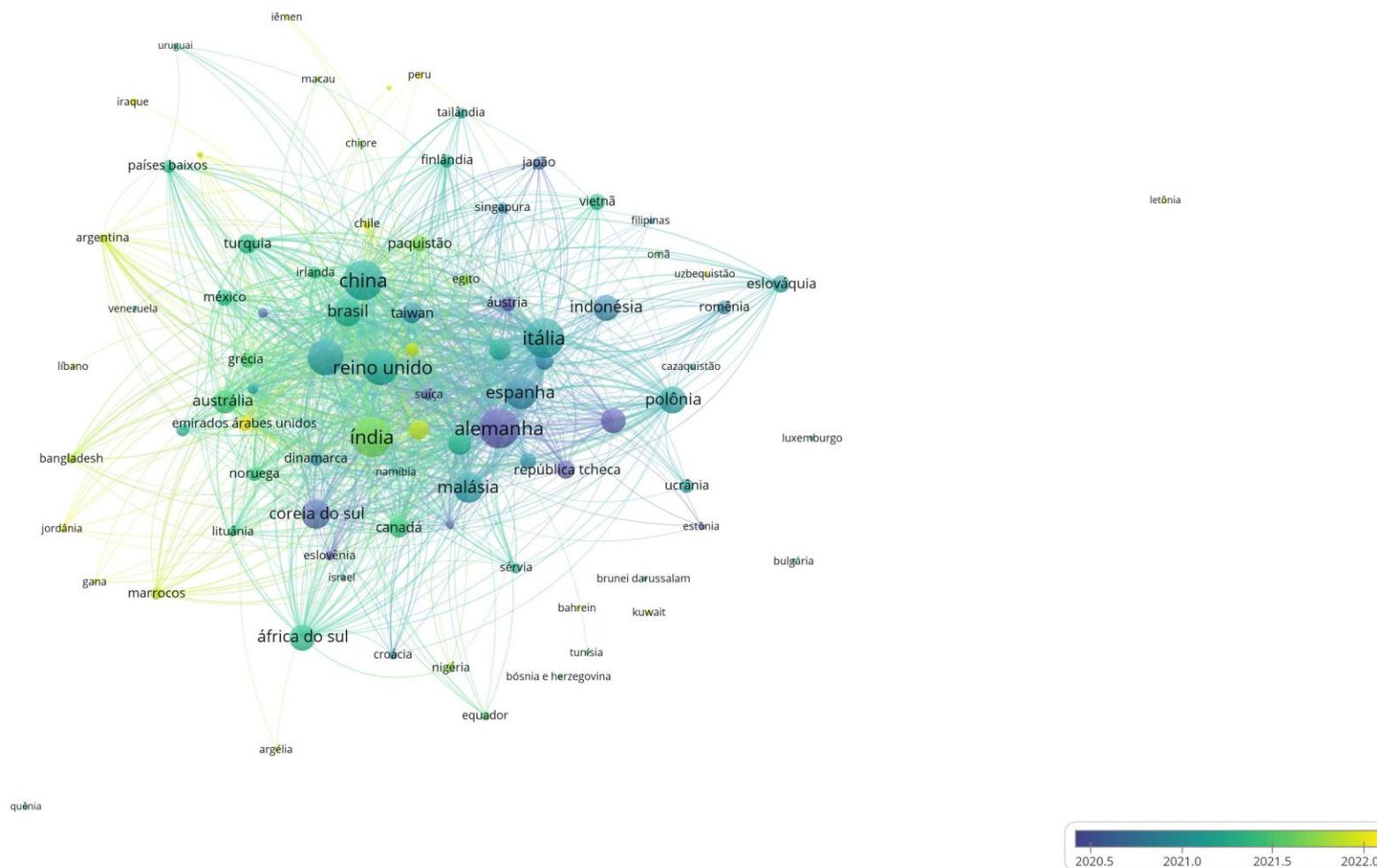
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Scopus.

APÊNDICE I – REDE DE COAUTORIA DOS PAISES (TEMPO)



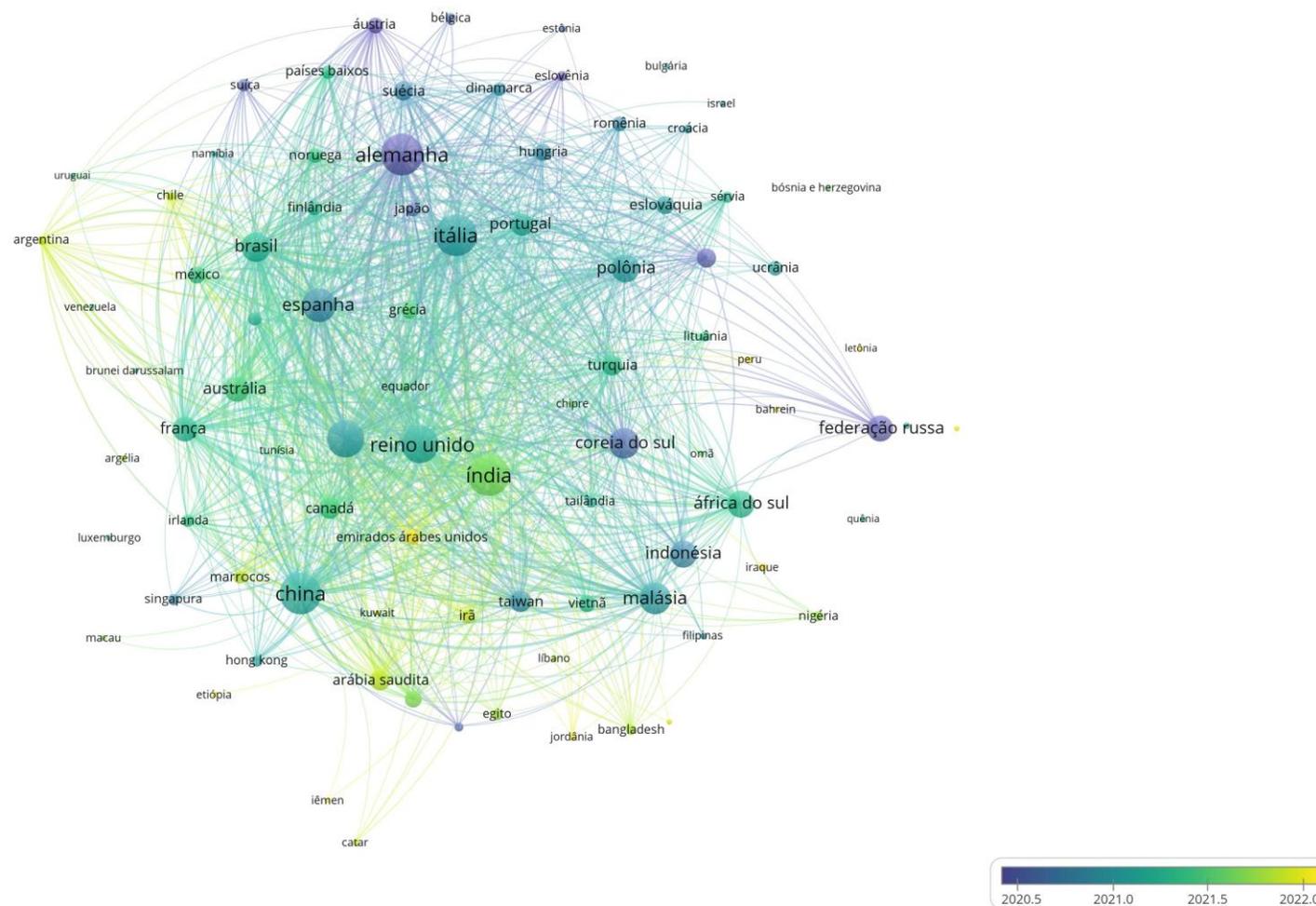
Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

APÊNDICE J – REDE DE CITAÇÃO DOS PAISES (TEMPO)



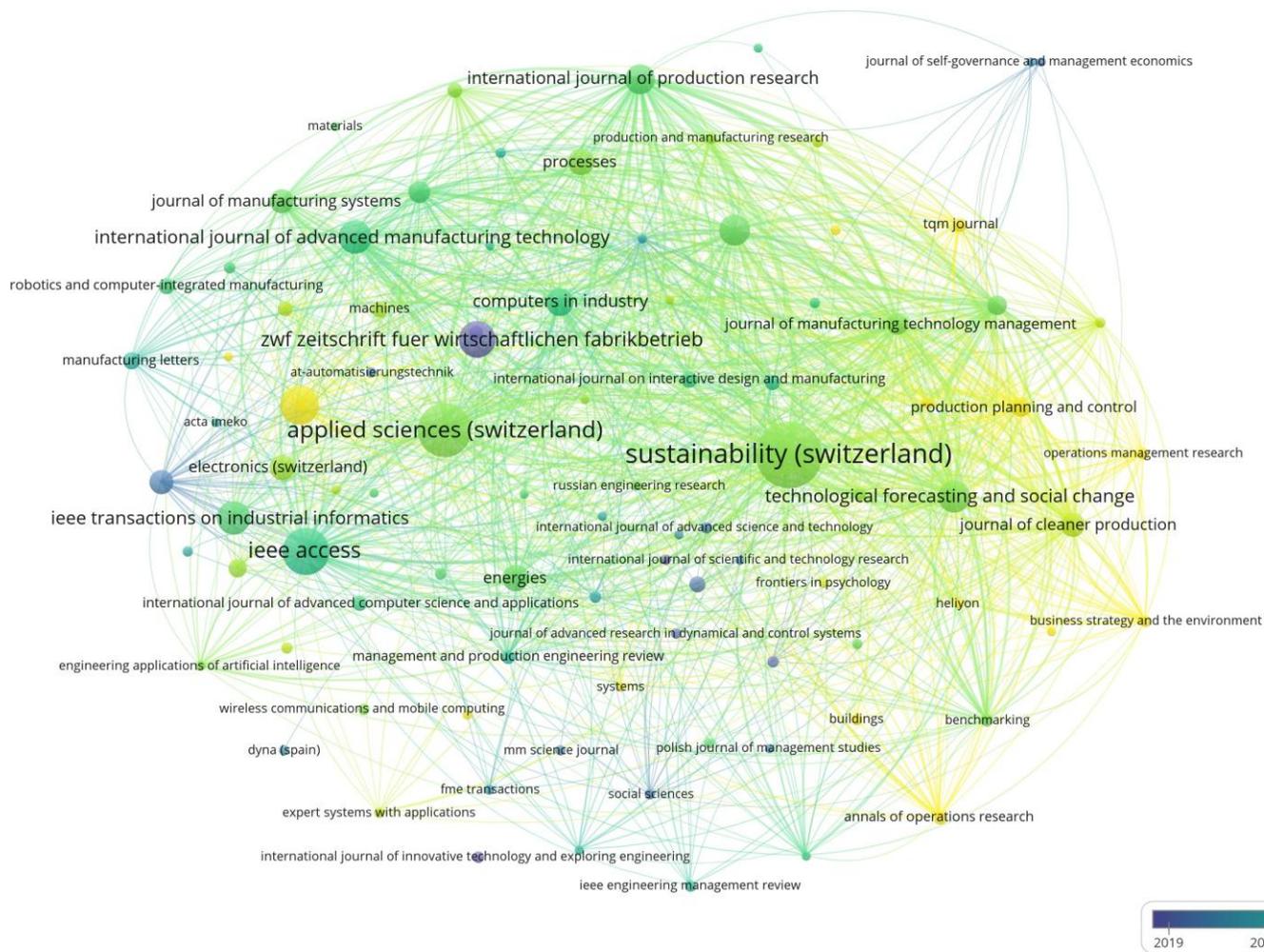
Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus

APÊNDICE K – REDE DE ACOPLAMENTO BIBLIOGRÁFICO DOS PAÍSES (TEMPO)



Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

APÊNDICE L – REDE DE ACOPLAMENTO BIBLIOGRÁFICO DOS PERIÓDICOS (TEMPO)

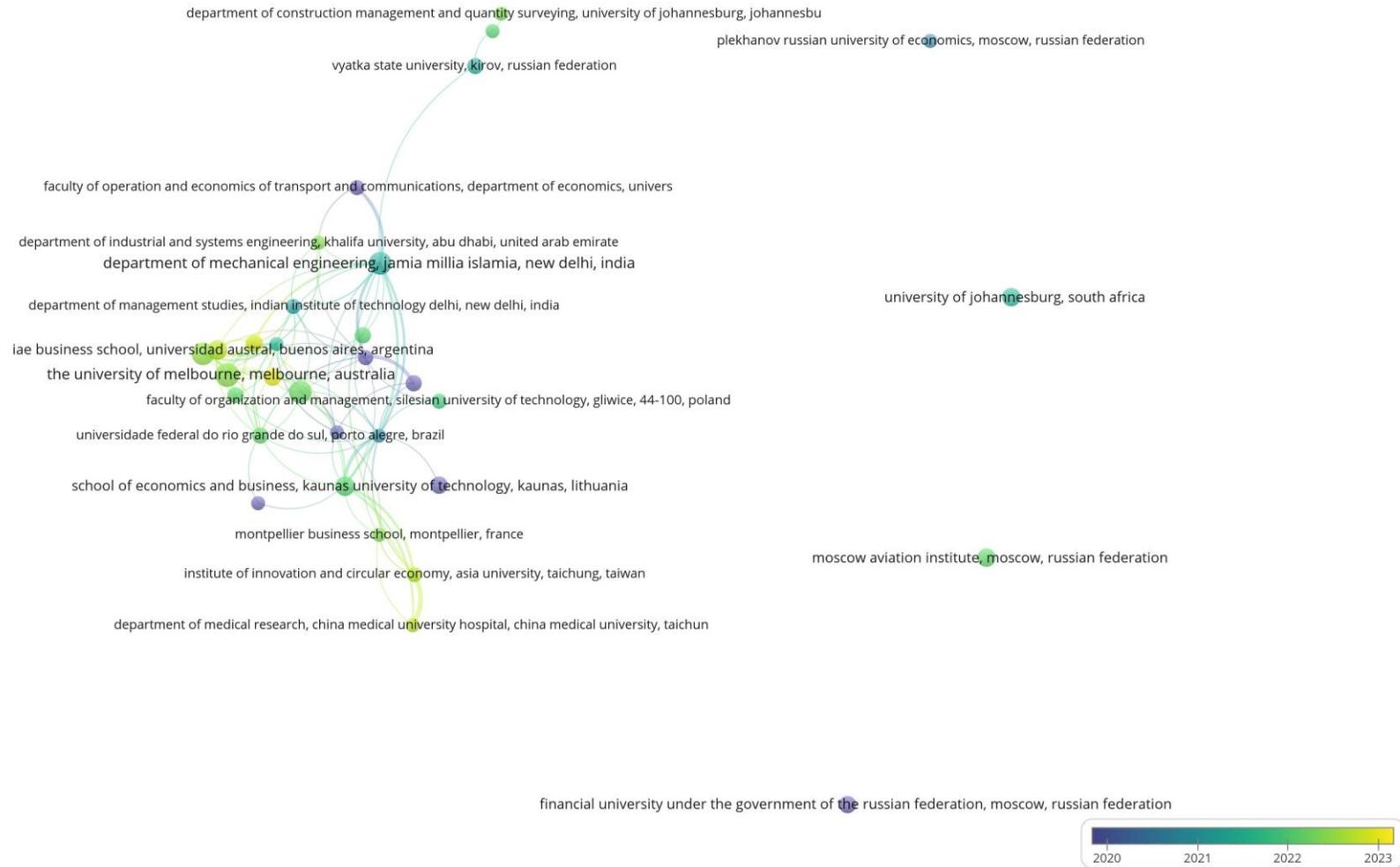


APÊNDICE N – REDE DE COAUTORIA DAS INSTITUIÇÕES (TEMPO)



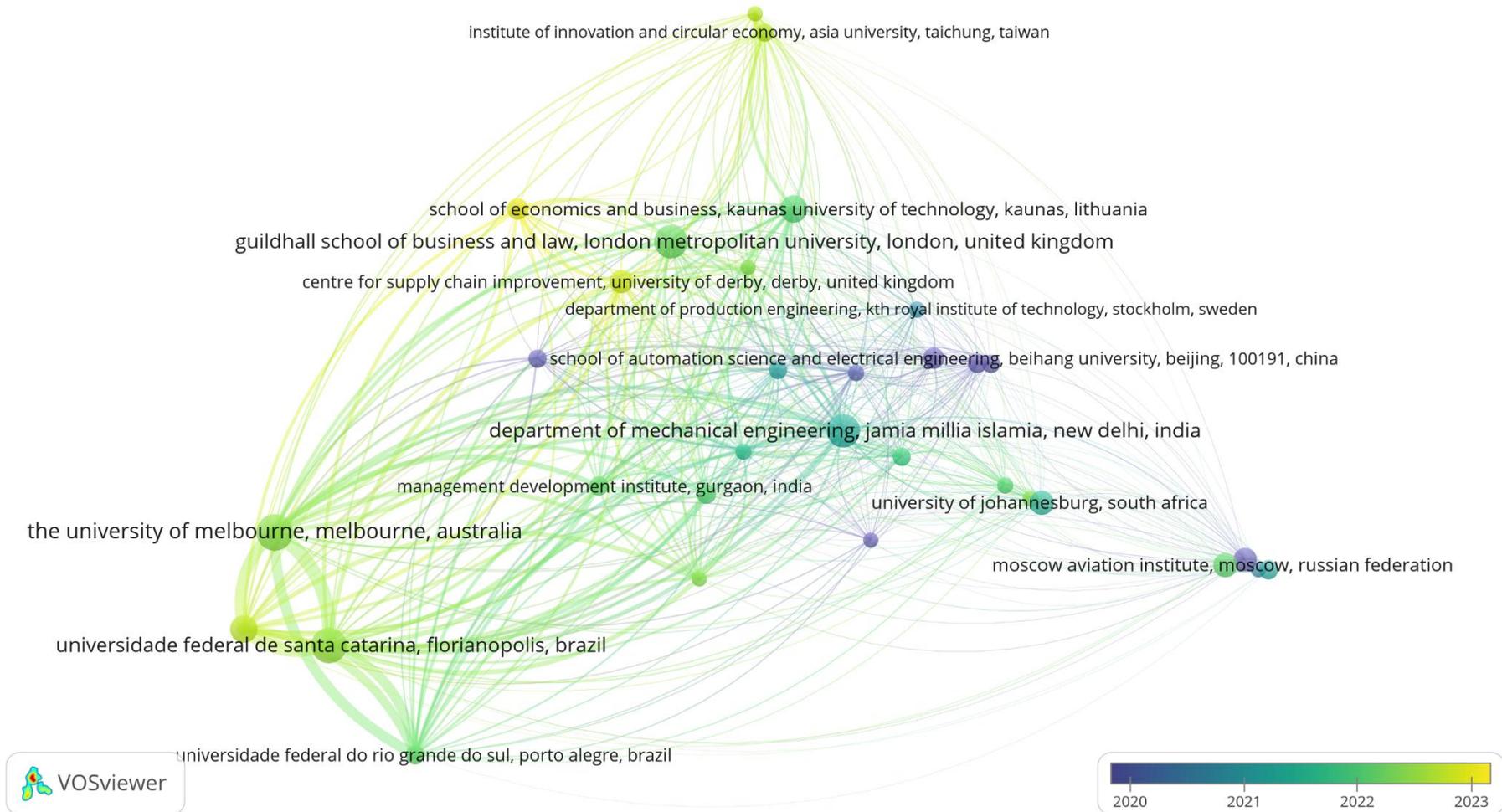
Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

APÊNDICE O – REDE DE CITAÇÃO DAS INSTITUIÇÕES (TEMPO)



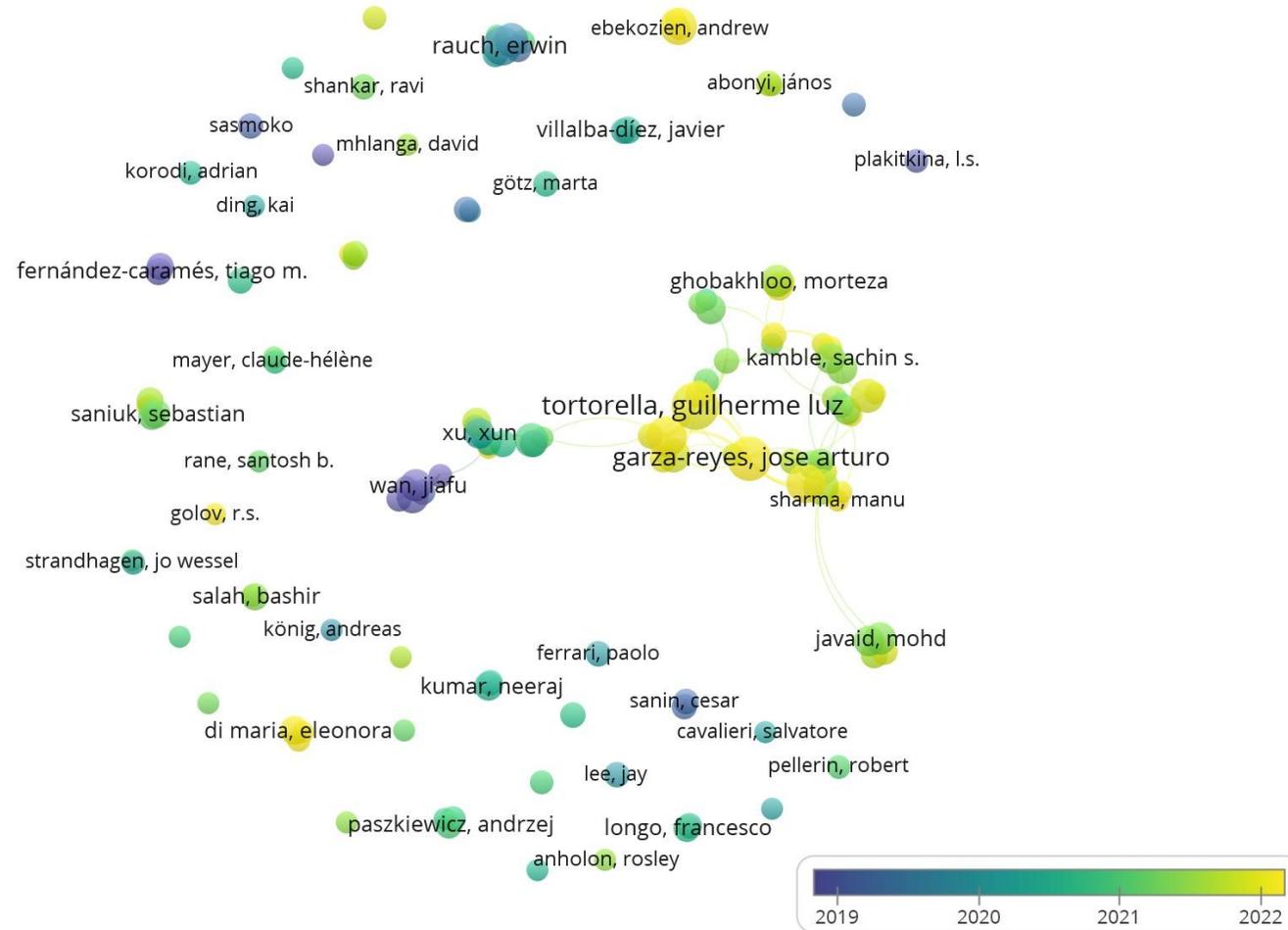
Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

APÊNDICE P – REDE DE ACOPLAMENTO BIBLIOGRÁFICO DAS INSTITUIÇÕES (TEMPO)



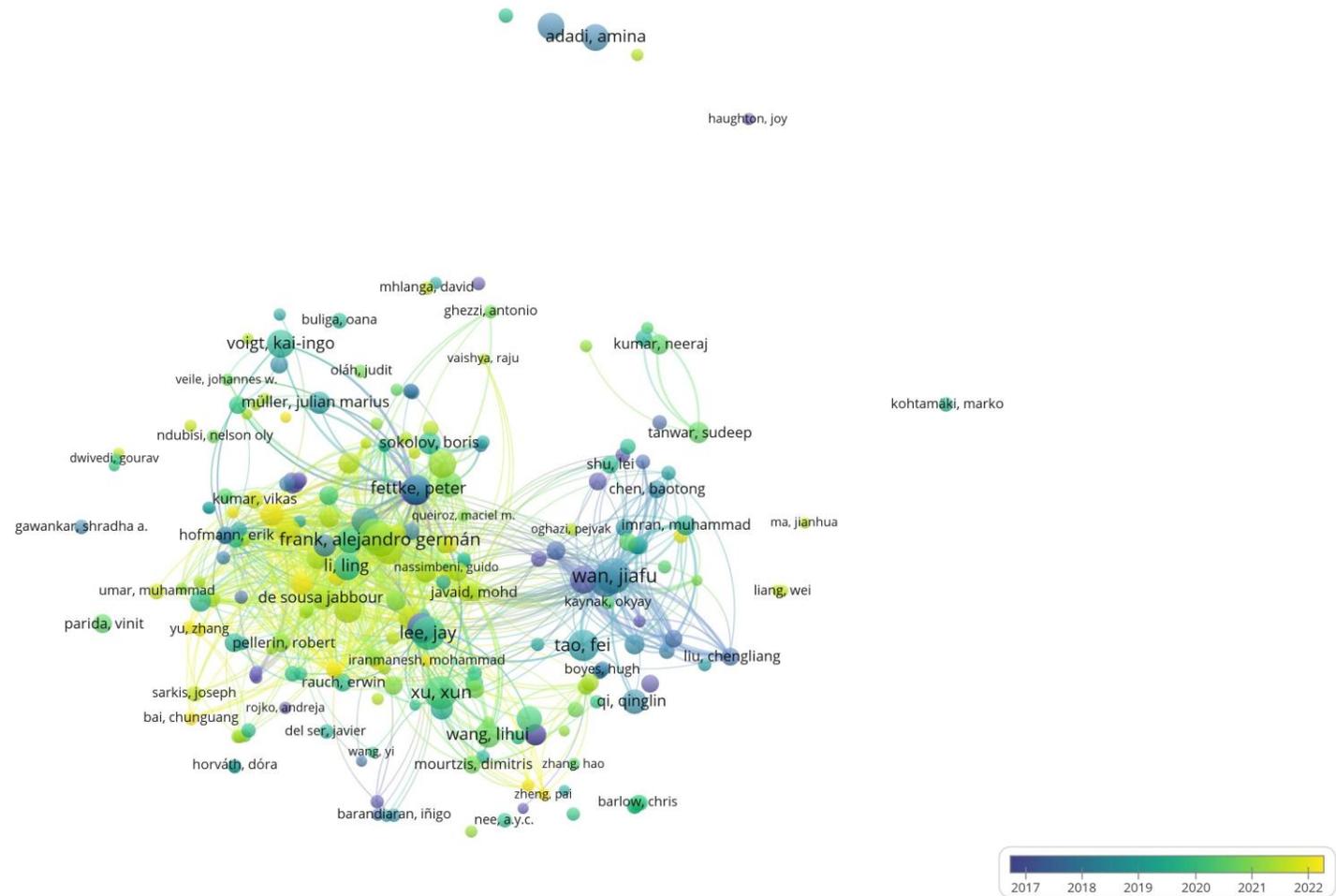
Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

APÊNDICE Q – REDE DE COAUTORIA DOS AUTORES (TEMPO)



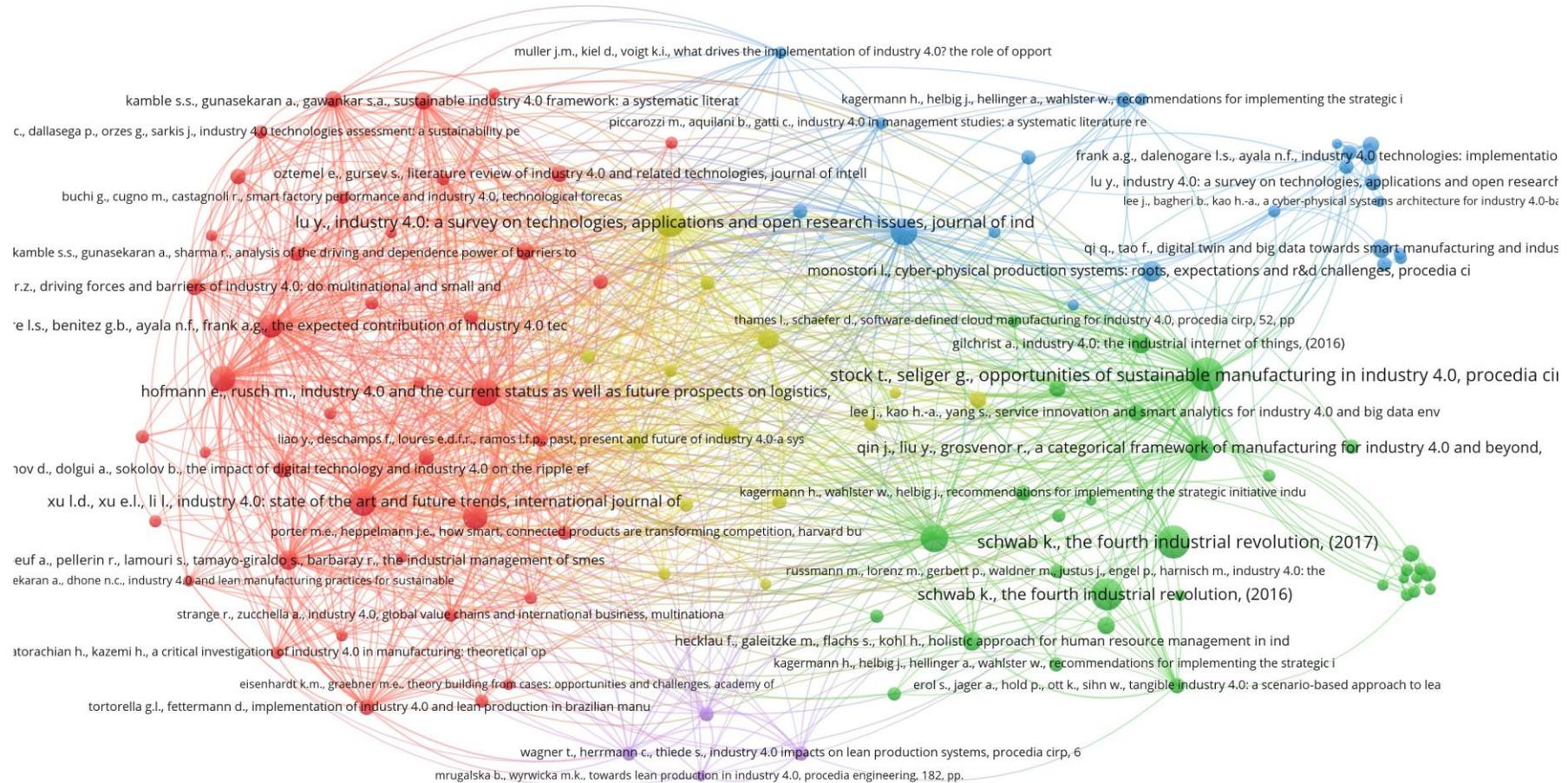
Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

APÊNDICE R – REDE DE CITAÇÃO DOS AUTORES (TEMPO)



Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.

APÊNDICE V – REDE DE COCITAÇÃO DE REFERENCIA



Fonte: VOSviewer com base nos dados da Scopus.