

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO SUL – IFRS
CAMPUS CAXIAS DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

EYJI KOIKE CUFF

**A INTERNET DAS COISAS NO CONTEXTO INDUSTRIAL E O ENGENHEIRO DE
PRODUÇÃO: REVISÃO DE LITERATURA, MAPEAMENTO CIENTÍFICO E
FRAMEWORK**

**CAXIAS DO SUL
2023**

EYJI KOIKE CUFF

**A INTERNET DAS COISAS NO CONTEXTO INDUSTRIAL E O ENGENHEIRO DE
PRODUÇÃO: REVISÃO DE LITERATURA, MAPEAMENTO CIENTÍFICO E
FRAMEWORK**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, do curso de Engenharia de Produção, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, campus Caxias do Sul.

Orientador: Prof. MsC. André Augusto Andreis

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Caroline Dzulinski

CAXIAS DO SUL

2023

RESUMO

Koike Cuff, Eyji. **A internet das coisas no contexto industrial e o engenheiro de produção: revisão de literatura, mapeamento científico e framework.** 2023. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Caxias do Sul, 2023.

A internet das coisas (*internet of things* – IoT) surgiu como uma referência à Kevin Ashton, do Centro de Autoidentificação do Instituto de Tecnologias do Massachussetts (*MIT Auto ID Center*), em uma apresentação a Procter and Gamble sobre etiquetas de identificação por rádio frequência (*radio frequency identification* – RFID) no ano de 1999 (GREER *et al.*, 2019). Em contrapartida, o interesse acadêmico pelo termo somente tomou tração a partir de 2014 (GREER *et al.*, 2019). Deste modo, muito se tem documentado a respeito da utilização da IoT na indústria e de sua aplicação como base da Indústria 4.0 (I4.0), porém poucos estudos buscam relacionar os pontos em comum entre a I4.0 e a engenharia de produção (EP). Assim, o trabalho busca relacionar as evidências acadêmicas do uso da Internet das Coisas Industrial (*industrial internet of things* – IIoT) por meio de uma revisão bibliográfica sistemática da literatura (RBS), para, em seguida, desenvolver uma análise cientométrica utilizando o software Biblioshiny para capturar relacionamentos entre as áreas da EP e a tecnologias que são suportadas pela prática da IIoT. A análise cientométrica revela as principais tecnologias como simulação, inteligência artificial e *big data*. Por fim a interação entre áreas da EP e tais tecnologias resume-se através de um framework que implica na utilização da IoT e suas técnicas nas principais áreas como de engenharia de operações e processos da produção; engenharia da qualidade; cadeia de suprimentos; e engenharia de sustentabilidade.

Palavras-chave: Internet das Coisas. Internet das Coisas Industrial. Engenharia de Produção. Indústria 4.0.

ABSTRACT

Koike Cuff, Eyji. **The internet of things in the industrial context: a literature review, scientific mapping, and framework.** 2023. 44 p. Conclusion thesis (bachelor's in production engineering) – Federal Institute of Education, Science and Technology. Caxias do Sul, 2023.

The internet of things (IoT) emerged as a reference to Kevin Ashton from the Massachusetts Institute of Technology (MIT) – Auto ID center in a presentation to Proctor and Gamble about radio frequency identification (RFID) tags in 1999 (GREER *et al.*, 2019). In contrast, academic interest in the term has only taken traction since 2014 (GREER *et al.*, 2019). Thus, much has been documented about the use of IoT in the industry and as a basis for Industry 4.0 (I4.0), but few studies seek to relate the points in common between I4.0 and production engineering. Thus, this paper aims to relate the academic evidence of the uses of the industrial internet of things (IIoT) collected through a systematic literature review (RBS) and further develop a scientometric analysis using the software package Biblioshiny to capture relationships between the areas of production engineering (EP) and the technologies that are supported by the practice of the IIoT. The scientometric analysis reveals the key technologies as big data, artificial intelligence, and simulation. Finally, the interaction between areas of EP and those technologies is summarized through a framework that implies the use of IoT and its techniques in the EP focus areas such as operations engineering and production processes; quality engineering; supply chain; and sustainability engineering.

Keywords: Internet of Things. Industrial Internet of Things. Production Engineering. Industry 4.0.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
3 METODOLOGIA	3
3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA	4
3.2 MAPEAMENTO CIENTÍFICO.....	5
3.3 ESTRUTURAÇÃO DO FRAMEWORK.....	6
4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	7
4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA LITERATURA.....	7
4.2 MAPEAMENTO CIENTÍFICO.....	9
4.3 CONSTRUÇÃO DO FRAMEWORK.....	15
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
5.1 IIOT COMO PILAR DE SUPORTE DA I4.0.....	18
5.2 TECNOLOGIAS E A ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	19
5.3 APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS NAS ÁREAS DA EP	20
5.3.1 Engenharia de operações e processos da produção (EP1)	21
5.3.2 Engenharia da Qualidade (EP4)	22
5.3.3 Cadeia de suprimentos (EP2) e Engenharia da sustentabilidade (EP9) .	23
5.3.4 Outras áreas da EP (EP10, EP8, EP3 e EP6)	23
5.3.5 Resumo dos resultados obtidos	24
6 CONCLUSÕES E FUTURAS DIREÇÕES.....	25
REFERÊNCIAS.....	27
APÊNDICE A – QUADRO DE ARTIGOS FICHADOS	34
APÊNDICE B – QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DAS REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Com receita mundial esperada de 276 bilhões de dólares para 2023 (STATISTA, 2022) a internet das coisas (*internet of things* – IoT) representará cerca de 10% do produto interno bruto (PIB) mundial no mesmo ano. Analogamente, a previsão de impacto na economia brasileira é estimada entre 50 e 200 bilhões de dólares até 2025 (BNDES; BRASIL; BRASIL, 2017b) com crescimento projetado de 13% ao ano até 2028 (BNDES; BRASIL; BRASIL, 2017b; STATISTA, 2022).

Regulamentações como o decreto de Nº 9.854 (BRASIL, 2019) e o Plano de Ação para internet das coisas, produzido pelo consórcio do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) com participação do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão e do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, apresentam meios de direcionamento para viabilização de projetos de IoT. Contudo, o estado de São Paulo que atualmente representa 25,5% das companhias industriais do país (CENTRO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2023), tem baixa adoção da indústria 4.0 (JUNIOR; CARRER, 2022).

O termo IoT surgiu como uma referência a Kevin Ashton, do Centro de Autoidentificação da Universidade de Massachussetts (*MIT Auto ID center*), em uma apresentação a Proctor and Gamble sobre etiquetas de identificação por rádio frequência (*radio frequency identification* – RFID) no ano de 1999. O interesse acadêmico pelo termo cresce a partir de 2014 (GREER *et al.*, 2019). Naturalmente encontram-se estudos sobre a aplicação da IoT na posição de capacitadora para melhorias no contexto industrial como, por exemplo, células de manufatura reprogramáveis (ARNARSON *et al.*, 2022) e manutenção preditiva (CHRISTOU *et al.*, 2020).

Todavia quando analisadas as áreas temáticas que embasam a Engenharia de Produção (EP), principalmente em relação a atuação profissional do engenheiro de produção, não são observados muitos estudos que propõe o vínculo destas áreas com a IoT e as tecnologias associadas. Outrossim, autores como Mendes (2021) inferem que a indústria 4.0 (I4.0) será do cotidiano de um engenheiro, bem como a manipulação de seus recursos, integração das principais partes interessadas e, principalmente, atribuição de inteligência estratégica para tomada de decisões.

Deste modo o presente artigo tem o objetivo de apresentar quais tecnologias suportadas pela IoT impactam a engenharia de produção em suas diversas áreas, convertendo-as em ferramentas e corroborando com a frase síntese do Plano de Ação para a internet das coisas (BNDES; BRASIL; BRASIL, 2017a, p. 19):

“Acelerar a implantação da Internet das Coisas como instrumento de desenvolvimento sustentável da sociedade brasileira, capaz de aumentar a competitividade da economia, fortalecer as cadeias produtivas nacionais, e promover a melhoria da qualidade de vida.”

Visando o esclarecimento teórico sobre os principais termos presentes neste artigo, no próximo capítulo é apresentado o referencial teórico sobre indústria 4.0, sistemas cyber físicos (*cyber physical systems* – CPS), internet das coisas industrial (*industrial internet of things* – IIoT) em adição a aspectos importantes, para o presente texto, sobre engenharia de produção. Após, é apresentada a Metodologia, Aplicação da Metodologia, Resultados e Discussões, finalizando com a Conclusão da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Por muito, os termos II.0, CPS e IoT são utilizados como sinônimos mesmo que, conceitualmente, possam ter representações que variam conforme o ponto de vista de análise. Com o fim de esclarecer o tratamento destes termos, este capítulo visa uma sintetização dos componentes para a posterior articulação com a Engenharia de Produção.

Historicamente, na evolução dos sistemas de produção, é possível identificar quatro grandes eras: indústria 1.0: mecanização por meio de máquinas a vapor; indústria 2.0: eletricidade possibilitando a produção em massa; indústria 3.0: melhora de desempenho e redução de riscos por meio da automação; e indústria 4.0: conectividade e inteligência. Esta última tem seus pilares como os sintetizados pelo Fórum Mundial Econômico (2018) e Vaidya, Ambad e Bhosle, (2018): *big data* e análise de dados; inteligência artificial (*artificial intelligence* – AI); robótica autônoma; simulação (*digital twins* – DT); integração vertical e horizontal; IIoT; CPS; computação na nuvem; manufatura aditiva; plataformas de sensores avançados; realidade aumentada, virtual e mista; e *blockchain*¹.

¹ Sistema distribuído de contabilização de transações que usa criptografia para registrar e confirmar transações (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018).

O autor Sisinni *et al.* (2018, p. 1) define a IoT como: “[...] a implementação de bilhões, ou mesmo trilhões de dispositivos inteligentes capazes de reconhecer o ambiente ao seu entorno, transmitir e processar as informações adquiridas, e responder para o ambiente.”

A adaptação de seu conceito para o uso industrial, denominado de IIoT, levou a um polimorfismo com o termo “internet industrial” criado pela General Electric, “*smart factory*” (termo inglês para fábrica inteligente) da Industrial Business Machines (IBM) e com “*industry 4.0*” (termo que conhecemos como Indústria 4.0) surgido na Alemanha (SLAMA *et al.*, 2016). Ainda, acresce-se que as definições mais recentes de IoT são amplamente intercambiáveis com as de CPS (GREER *et al.*, 2019).

Os CPS misturam o mundo físico com o mundo cibernético ao ponto que o objeto digital e o objeto cibernético que os representam não podem mais ser discernidos (LASI *et al.*, 2014). Assim também, Greer *et al.* (2019, p. 34) propõe de forma a sintetizar ambos os conceitos: “Internet das coisas e sistemas cyber físicos compreendem a interação de componentes lógicos, físicos, transdutores² e humanos projetados para funcionar pela lógica e física integrada”. Adota-se este conceito, por envolver a questão de componentes que também são recursos relacionados a engenharia de produção.

A EP originou-se da administração científica concebida por Taylor, como o estudo e aplicação do método científico no refinamento dos processos produtivos e desempenho das organizações (MENDES, 2021). Quanto as suas atribuições, a formação do engenheiro de produção o faz competente de todas as etapas de um sistema produtivo, tanto de bens como de serviços, sendo elas: projeto, implantação, operação, melhoria e manutenção (ABEPRO, 2020).

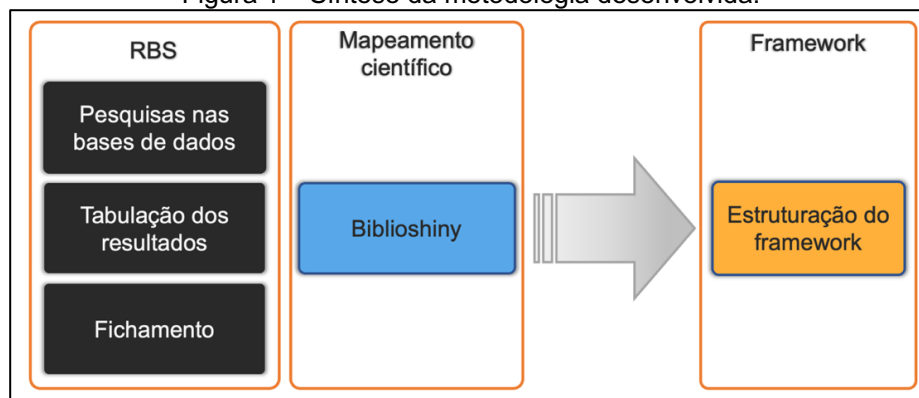
Assim, deve envolver os recursos, tratando-se de pessoas, materiais, tecnologias, informação e energia, além de avaliar, especificar e prever a interação destes sistemas com o meio ambiente e sociedade (ABEPRO, 2020). Portanto, o conceito de IoT promove a integração dos meios permitindo ao engenheiro de produção a melhor execução das suas prerrogativas.

3 METODOLOGIA

² Greer *et al.* (2019) caracteriza transdutores como componentes que realizam a conversão entre o mundo físico e lógico, especificamente tratando de sensores e atuadores.

O presente artigo apresenta como abordagem metodológica um estudo teórico exploratório, o qual foi estruturado por meio de uma revisão bibliográfica sistemática (RBS) em conjunto com o mapeamento cientométrico e construção de um framework. Partindo desta premissa, as principais etapas metodológicas empregadas neste estudo são apresentadas na Figura 1 que compõe a síntese do processo desenvolvido para obtenção dos resultados.

Figura 1 – Síntese da metodologia desenvolvida.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Segundo Gil (2018), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material prévio sobre o respectivo tema. Já Galvão e Pereira (2014, p. 2) descrevem a RBS como “[...] um tipo de investigação focada em questão bem definida, que visa identificar, selecionar, avaliar e sintetizar as evidências relevantes disponíveis”.

Define-se como questão de investigação o levantamento das tecnologias capacitadas pela IIoT que contenham vínculos com técnicas aplicadas no contexto industrial. A RBS proporciona que outros pesquisadores consigam repetir o procedimento e representa o mais alto nível de evidências para tomada de decisão (GALVÃO; PEREIRA, 2014). As etapas de uma pesquisa bibliográfica, como definido por Gil (2018) são:

- A) Escolha do tema;
- B) Levantamento bibliográfico preliminar;
- C) Formulação do problema;
- D) Assunto;
- E) Busca das fontes;
- F) Leitura do material;
- G) Fichamento;

H) Organização lógica dos resultados;

I) Redação do texto;

Bancos de referências acadêmicas serão consultados utilizando-se de palavras-chave que estejam presentes em seu conteúdo para delinear a abrangência da pesquisa.

Aproveitando-se de que a RBS permite a filtragem das evidências, vão ser considerados artigos dos últimos 5 anos, em conjunto com os artigos do ano corrente. Além disso, pretende-se filtrar as áreas de estudo para que não destoem muito das áreas da engenharia de produção reconhecendo-se as interligações da IIoT com áreas de tecnologia e tipo de publicação, buscando remover publicações marcadas como “artigo de conferência” devido a sua necessidade de abstrair detalhes para sintetização.

Para a análise do conteúdo das evidências pela etapa de fichamento, será considerado seu alinhamento com o objetivo da RBS citado anteriormente. Apesar de a RBS permitir a organização lógica dos resultados, busca-se o auxílio de uma ferramenta cientométrica para realizar uma análise estatística, utilizando técnicas de mapeamento científico.

3.2 MAPEAMENTO CIENTÍFICO

O mapeamento científico é um dos procedimentos de bibliometria para realizar a avaliação quantitativa e mostrar os aspectos estruturais e dinâmicos da pesquisa acadêmica (COBO *et al.*, 2011). Com o objetivo de sintetizar o resultado da RBS de forma reproduzível, transparente e sistemática (K-SYNTH SRL, 2023), utiliza-se da ferramenta Bibliometrix com sua extensão de interface gráfica de usuário web (*Web Graphical User Interface*) denominada Biblioshiny. Segundo Aria e Cuccurullo (2017) “o pacote Bibliometrix é uma ferramenta estatística de análise quantitativa para aplicação em conjuntos de dados sobre publicações científicas e artigos de periódicos”. Para este procedimento as seguintes informações serão levantadas:

- A) Quais os termos que os autores mais utilizaram como palavras-chave para classificar seu trabalho?
- B) O quão recente é o interesse pelo campo?
- C) Quais os países que mais contribuem para a produção científica e quais são referência na área?

D) Quais os periódicos com maior impacto?

E) Qual a relação entre as palavras-chave e quais são os temas principais que elas apresentam?

No Quadro 1, apresenta-se cada pergunta e a técnica que será aplicada no Biblioshiny com os parâmetros para a obtenção do produto.

Quadro 1 – Análises desenvolvidas no Biblioshiny.

Pergunta	Análise	Parâmetros Adicionais
A)	<i>Documents – Wordcloud</i>	<i>Field: Author's Keywords, Number of words =25</i>
B)	<i>Documents – Reference Spectroscopy</i>	<i>Não aplicável</i>
C)	<i>Author's – Country Scientific Production</i>	<i>Não aplicável</i>
C)	<i>Author's – Most cited countries</i>	<i>Não aplicável</i>
D)	<i>Sources – Source Impact</i>	<i>Impact Measure = Total Citation, Number of sources = 10</i>
E)	<i>Conceptual Structure – Thematic map</i>	<i>Field = Author's keywords, Number of words = 25;</i>
E)	<i>Co-occurrence Network</i>	<i>Field = Author's keywords, Number of words = 20</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Esta síntese servirá como fundação para o framework descrito no próximo tópico, carregando de forma objetiva o que os autores da área estão pensando, e como suas teorias se relacionam com os objetivos do presente artigo. Os relacionamentos entre palavras-chave dos autores serão explorados na construção do framework e articulados com as áreas da EP.

3.3 ESTRUTURAÇÃO DO FRAMEWORK

Segundo Macedo e Souza (2022) um framework é uma estrutura que visa representar um problema e fornecer a base para a sua resolução. O presente artigo utiliza um framework teórico, que tem a finalidade de estender a teoria existente (MACEDO; SOUZA, 2022) para abranger as áreas de atuação de um engenheiro de produção e orientar sobre seu relacionamento com as tecnologias da IoT.

Os artigos selecionados serão classificados de acordo com as tecnologias abordadas e área da engenharia de produção na qual o estudo foi aplicado. Como áreas da engenharia de produção, consideram-se as definidas pela ABEPRO (2020) apresentadas como:

- A) Engenharia de operações e processos da produção;
- B) Cadeia de suprimentos;

- C) Pesquisa operacional;
- D) Engenharia da qualidade;
- E) Engenharia do produto;
- F) Engenharia organizacional;
- G) Engenharia econômica;
- H) Engenharia do trabalho;
- I) Engenharia da sustentabilidade;
- J) Educação em engenharia de produção

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

O processo metodológico foi aplicado em seus três passos para a construção de um framework que estabeleça o relacionamento das tecnologias da indústria 4.0 com a engenharia de produção. Neste capítulo serão abordadas as contribuições de cada passo para a obtenção dos resultados.

4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA LITERATURA

As bases de dados selecionadas para as pesquisas foram *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science* disponíveis através do portal de periódicos CAPES. A frase de busca utilizou as palavras-chave “*industrial internet of things*” e *manufacturing* ou *process* ou *production* e *factory*, resultando em “*industrial internet of things*” and (*manufacturing or production or process*) and *factory*. Esse conjunto, delineou a abrangência da pesquisa em artigos que continham em seu conteúdo, obrigatoriamente o termo completo – indicado pelo uso de aspas – internet das coisas industrial (*industrial internet of things*), fábrica (*factory*) e alguma das palavras produção (*production*), processo (*process*) ou manufatura (*manufacturing*).

O primeiro filtro aplicado nas bases de dados foi referente ao intervalo de tempo abrangendo os últimos cinco anos completos, bem como o ano corrente. Em seguida, foram selecionadas as áreas de conhecimento de interesse, conforme descrito no Quadro 2 e baseando-se nas áreas de atuação relacionadas com a EP e a indústria 4.0. Por fim, filtrou-se por tipo de publicação utilizando “artigo de revisão”, “artigo de pesquisa”, “capítulo de livro” e “livro” nas bases da *Scopus* e *Science Direct*, e “artigo de revisão”, “artigo” e “acesso antecipado” na *Web of Science*, totalizando 1432 artigos filtrados.

Quadro 2 – Síntese dos dados da RBS.

Tema	Internet das coisas industrial como ferramenta do engenheiro de produção				
Objetivo da RBS	Relacionar as tecnologias capacitadas pela IIoT com vínculos a técnicas aplicadas no contexto industrial;				
Palavras-chave	<i>"Industrial internet of things" and (manufacturing or production or process) and factory</i>				
Bases de dados	<i>Science Direct; Scopus; Web of Science;</i>				
Etapas de filtragem			Número de resultados		
Filtros	<i>Science Direct e Scopus</i>	<i>Web of Science</i>	<i>Science Direct</i>	<i>Scopus</i>	<i>Web of Science</i>
Palavras-chave e operadores booleanos	<i>"Industrial internet of things" and (manufacturing or production or process) and factory</i>	<i>(ALL="Industrial internet of things") and ((ALL=manufacturing) or (ALL=production) or (ALL=process)) and (ALL=factory)</i>	1260	456	367
Filtro 1 - período de publicação	2018 - 2023	2018 - 2023	1188	420	340
Filtro 2 - área do conhecimento	<i>Engineering, Computer Science, Decision Sciences, "Business, Management and Accounting", Energy, Materials Science, Mathematics, Environmental Science</i>	<i>Engineering; Computer Sciences; Telecommunications; Automation Control Systems; Instruments Instrumentation; Materials Science; Operation Research Management Science; Business Economics; Environmental Sciences Ecology; Mathematics; Energy Fuels; Robotics; Remote Sensing; Transportation</i>	1088	412	333
Outros filtros aplicados	<i>Tipo: Review, Research, Book Chapters, Encyclopedia</i>	<i>Tipo: Article, Review Article, Early Access</i>	1042	203	187

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

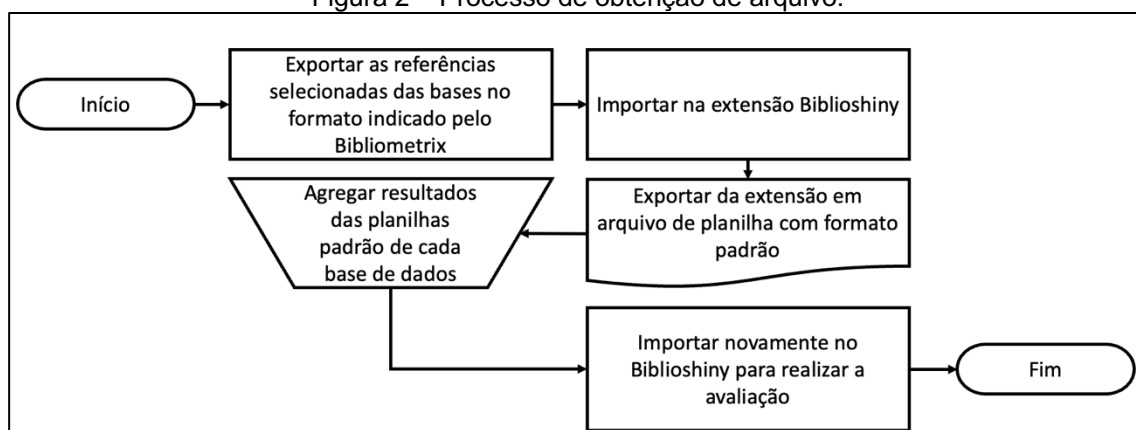
Assim, o resultado foi exportado para o *software* gerenciador de referências Mendeley, e posteriormente para arquivo de valores separados por vírgulas (.csv) contendo todos os dados da publicação, como filiações, autores, ano de publicação, referências utilizadas e *Digital Object Identifier* (DOI). O arquivo resultante foi aberto no *software* de planilhas Excel e a função remover duplicadas foi utilizada para arquivos com o mesmo DOI resultando em 697 registros. Por fim, leitura dos títulos em conjunto com os resumos foi realizada para encontrar trabalhos que estivessem de acordo com o objetivo da RBS, resultando em 45 artigos apresentados no Apêndice A – Quadro de artigos fichados

Para a etapa de fichamento, os artigos resultantes foram analisados de acordo com sua metodologia, seus objetivos e seus resultados. Nesta etapa, produziu-se uma ficha síntese para cada referência, contendo os elementos principais de todo o texto. Assim, puderam ser agrupados de acordo com o grupo de tecnologia e área da engenharia de produção.

4.2 MAPEAMENTO CIENTÍFICO

Os 45 artigos obtidos foram exportados novamente das bases *Web of Science* como arquivos *plain text* (.txt) e da *Scopus* e *Science Direct* como arquivos de biblioteca digital (.bib) e importados para o Biblioshiny. Como não é possível agregar diversos arquivos no Biblioshiny, cada arquivo foi exportado para Excel e unificado em um formato tabular próprio da extensão. A Figura 2 apresenta o processo realizado.

Figura 2 – Processo de obtenção de arquivo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Através do mapeamento científico, foi possível gerar a nuvem de palavras apresentada na Figura 3, contendo as 25 principais palavras-chave colocadas em destaque pelos autores. É possível notar a relevância de tecnologias, com destaque para os sistemas cyber físicos (*cyber physical system*), internet das coisas industrial (*industrial internet of things*), indústria 4.0 (*industry 4.0*) e gêmeos digitais (*Digital Twins*). Neste quesito, a Indústria 4.0 pode ter se tornado um termo guarda-chuva, que por sua abrangência pode relacionar diversos elementos ao mesmo tempo.

Figura 3 – Principais palavras-chave obtidas por meio do *Biblioshiny*.

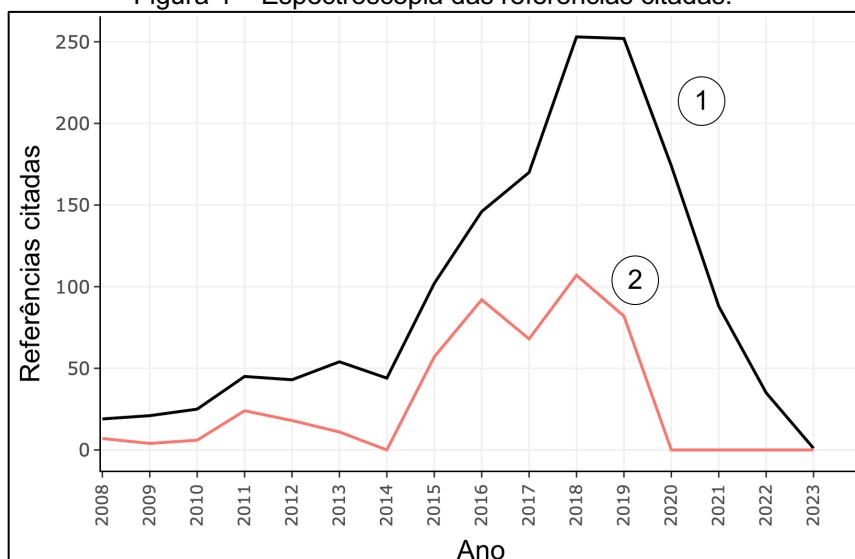


Fonte: Extraído da ferramenta *Biblioshiny* pelo autor (2023).

Ainda, notam-se as tecnologias aprendizado profundo (*deep learning*) e aprendizado de máquina (*machine learning*) que poderiam ser aglomeradas sob o termo genérico de inteligência artificial (*artificial intelligence*), e distinguir-se-iam de *big data* em tamanho. Os termos relevantes no contexto da EP apresentados aparecem como, principalmente, manutenção preditiva (*predictive maintenance* – PdM), monitoramento de condição (*condition monitoring*), manufatura inteligente (*smart manufacturing*) e fábrica inteligente (*smart factory*), agendamento (*scheduling*), planejamento da produção (*production planning*) e gerenciamento de energia (*energy management*).

Utilizando a ferramenta de distribuição anual a respeito das referências citadas, verifica-se na Figura 4 que o pico da quantidade de referências citadas ocorre com os materiais de 2018 (linha 1), com 262 entradas, corroborando com o estudo de Greer *et al.* (2019). O *Biblioshiny* também apresenta uma linha de mediana (linha 2) que permite a observação da média ponderada por período. A queda no número de publicações a partir de 2020 coincide com a pandemia de Covid-2019, onde trabalhos como o de Rodrigues, Ferreira e Rocha (2018) necessitaram ter suas comprovações e estudos de caso postergados.

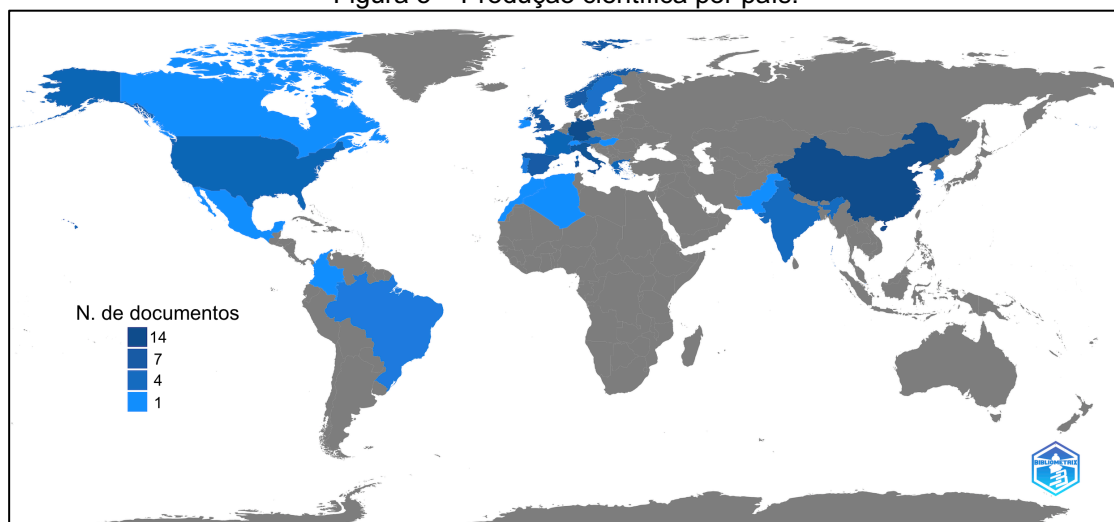
Figura 4 – Espectroscopia das referências citadas.



Fonte: Extraído da ferramenta Biblioshiny pelo autor (2023).

Através da Figura 5, é possível avaliar a contribuição dos países na amostra de evidências relacionadas as palavras-chave pesquisadas, notando-se a proeminência de China, Alemanha e Itália. Os 11 países mais influentes, em termos de quantidade de publicações científicas, são: China com 14 publicações; Alemanha com 13 publicações; Itália com 10 publicações; Noruega, Espanha e Reino Unido com 7 publicações; França, Grécia e Estados Unidos com 5 publicações; e Áustria e Índia com 4 publicações.

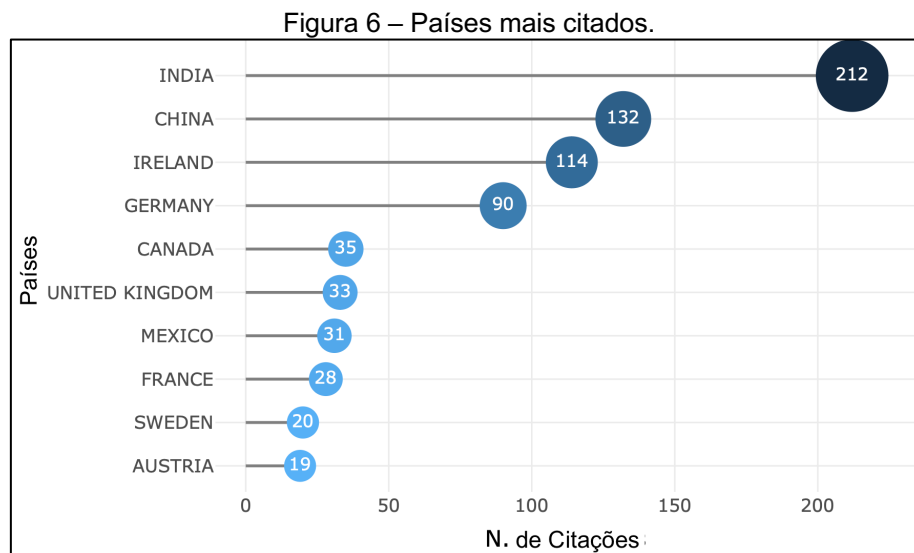
Figura 5 – Produção científica por país.



Fonte: Extraído da ferramenta Biblioshiny pelo autor (2023).

Analisando-se as citações utilizadas nos trabalhos, nota-se a dominância da Índia (India), China, Irlanda (Ireland) e Alemanha (Germany) em relação aos demais. De modo geral, os 10 países mais citados são identificados como: Índia com 212 citações; China com 132 citações; Irlanda com 114 citações; Alemanha com 90 citações; Canadá (Canada) com 35 citações; Reino Unido (United Kingdom) com 33

citações; México (Mexico) com 31 citações; França (France) com 28 citações; Suécia (Sweden) com 20 citações; e Áustria (Austria) com 19 citações. A Figura 6 representa graficamente os países mais citados.



Fonte: Extraído da ferramenta Biblioshiny pelo autor (2023).

Quanto a periódicos científicos, nota-se que muitos são revistas científicas com alguma relação a sistemas da informação, ciência da computação e automação pela natureza interdisciplinar da área de pesquisa. Os periódicos com maior impacto baseado na frequência com as quais foram citados são: *International Journal Of Information Management* com 205 citações; *Journal Of Manufacturing Systems* com 119 citações; *Robotics And Computer-Integrated Manufacturing* com 103 citações; *IFAC Papers Online* com 54 citações; *12th Cirp Conference On Intelligent Computation In Manufacturing Engineering* com 41 citações; *8th CIRP Sponsored Conference On Learning Factories (CLF 2018) -Advanced Engineering Education & Training For Manufacturing Innovation* com 35 citações; *International Journal Of Interactive Design And Manufacturing – IJIDEM* com 31 citações; *25th International Conference On Production Research Manufacturing Innovation: Cyber Physical Manufacturing* com 28 citações; *Technological Forecasting And Social Change* com 22 citações; *Future Generation Computer Systems-The International Journal Of EScience* com 20 citações. A Figura 7 compõe a representação gráfica dos dados.

Figura 7 – Principais periódicos científicos.



Fonte: Extraído da ferramenta Biblioshiny pelo autor (2023).

A análise temática das palavras-chave compreende a formação de conjuntos de palavras correspondentes a temas. Cada tema possui uma medida de centralidade, que é a interação de um conjunto com outro, e de densidade que é a medida da força de relacionamento interno entre palavras de um mesmo tema (COBO *et al.*, 2011).

Cobo *et al.* (2011) propõe a visualização gráfica destes conjuntos em um mapa estratégico que contém quatro quadrantes. Cobo *et al.* (2011, p. 150–151) classifica cada quadrante como: o quadrante de temas motores (*Motor Themes*) no topo direito são temas importantes e bem desenvolvidos; o quadrante de temas de nicho (*Niche Themes*) no topo esquerdo com temas bem desenvolvidos porém com poucas relações externas; o quadrante localizado na parte de baixo a esquerda (*Emerging or Declining Themes*) com temas pouco desenvolvidos e marginais; e por fim, o quadrante de temas básicos (*Basic Themes*) que tem importância porém não estão desenvolvidos, sendo mais genéricos e transversais.

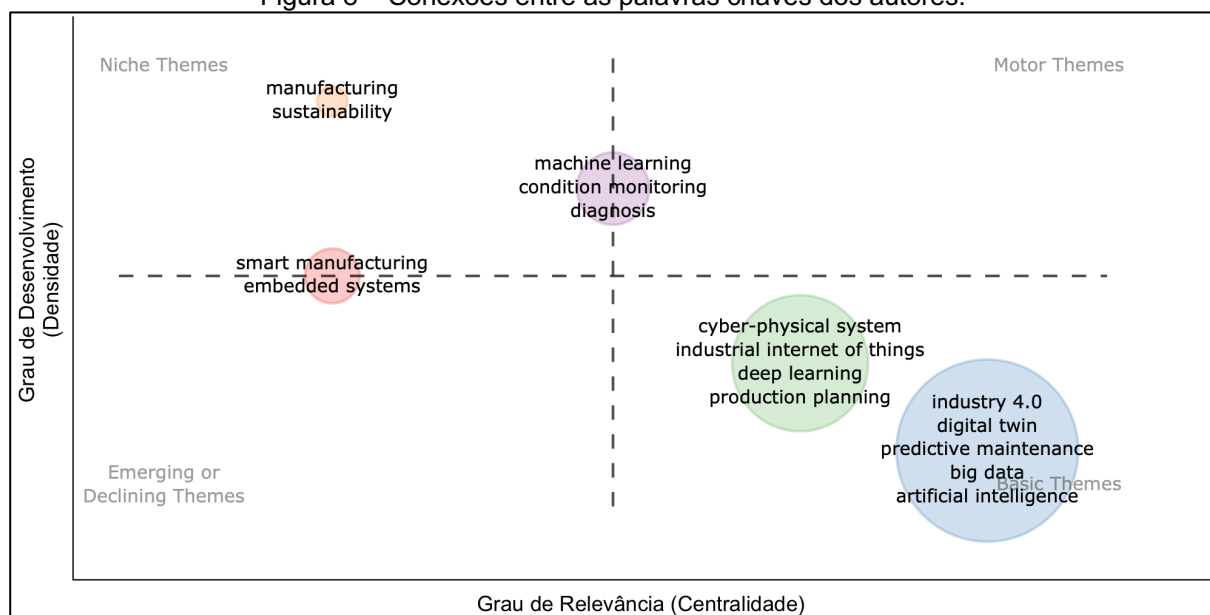
Para cada quadrante, identificou-se os temas:

- Temas de nicho: manufatura (*manufacturing*), sustentabilidade (*sustainability*).

- Temas motor: aprendizado de máquina (*machine learning*), monitoramento de condição (*condition monitoring*), diagnóstico (*diagnosis*);
- Temas base: indústria 4.0 (*industry 4.0*), sistemas cyber físicos (*cyber physical systems*), internet das coisas industrial (*industrial internet of things*), gêmeos digitais (*digital twins*), inteligência artificial (*artificial intelligence*), *big data*, manutenção preditiva (*predictive maintenance*), aprendizado profundo (*deep Learning*) e planejamento de produção;
- Temas emergentes ou em declínio: manufatura inteligente (*smart manufacturing*), sistemas embarcados (*embedded systems*).

A Figura 8 mostra a estrutura conceitual dos temas com a classificação temática utilizando-se do algoritmo *walktrap*³, reforçando a quantidade de temas base de alto grau de relevância que carecem de maior desenvolvimento ou que são utilizados como termos genéricos para aglomerar outros.

Figura 8 – Conexões entre as palavras chaves dos autores.



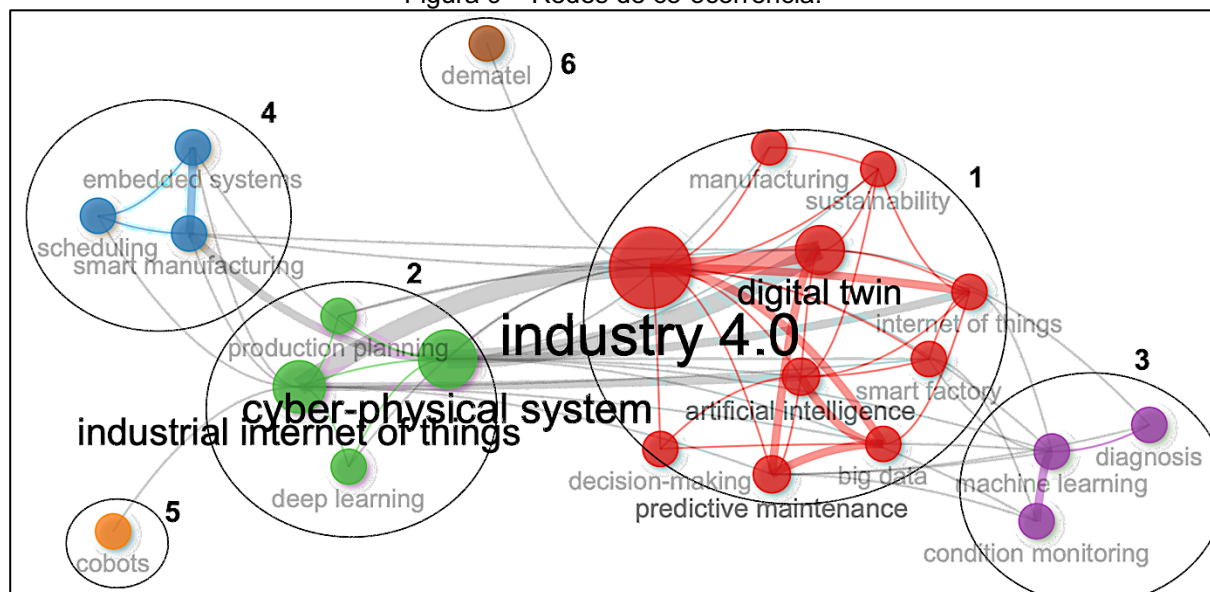
Fonte: Extraído da ferramenta Biblioshiny pelo autor (2023).

Por fim, as palavras-chave apresentadas pelos autores permitem análise de co-ocorrência utilizando o algoritmo de *walktrap*. Por meio da Figura 9 é possível observar o relacionamento entre os termos e a composição de 4 agrupamentos ou *clusters* principais e 2 marginais. Nota-se a grande proeminência de 4 termos principais: I4.0;

³ Algoritmo que, através de distâncias de caminhadas aleatórias em um gráfico, consegue definir estruturas de comunidades pela densidade dessas caminhadas (PONS; LATAPY, 2005).

CPS; IIoT; e DT. Tais termos se destacam pelas diversas relações internas e externas com outras palavras-chave.

Figura 9 – Redes de co-ocorrência.



Fonte: Extraído da ferramenta Biblioshiny pelo autor (2023).

Os agrupamentos podem ser entendidos como grupos semânticos ou conceituais de um determinado tema (COBO *et al.*, 2011), e as redes demonstram as conexões e a força de relacionamento, representada pela largura da rede, entre termos.

Em resumo, pode-se extrair que: I4.0, CPS e IIoT se relacionam com grande parte das outras palavras-chave; I4.0 tem forte relacionamento com IIoT e DT; Alguns métodos de AI, como aprendizado de máquina (*machine learning* - ML) e aprendizado profundo (*deep learning* - DL) apresentam relacionamentos mais específicos como diagnóstico (*diagnosis*), monitoramento de condição (*condition monitoring*) e IIoT; DT se relacionam seguramente com CPS e I4.0 e com PdM em menor intensidade; Já PdM se relaciona também com *big data* que por sua vez tem relações com AI e I4.0; e os grupos marginais se relacionam com IIoT e I4.0.

4.3 CONSTRUÇÃO DO FRAMEWORK

Com base na leitura dos artigos, dados da bibliometria e principais pilares da indústria 4.0, compõem-se as principais áreas de tecnologia (T_n , sendo n , o indicador do grupo) apresentados no Quadro 3. Salienta-se que durante a leitura integral dos textos, várias tecnologias foram encontradas que não necessariamente tiveram destaque nas palavras-chave dos autores, e são aglomeradas no grupo T4.

Quadro 3 – Principais grupos de tecnologia.

CATEGORIA	NOME DO GRUPO	TECNOLOGIAS PRESENTES
T1	Inteligência artificial	Aprendizado de máquina, redes neurais e aprendizado profundo
T2	<i>Big data</i>	<i>Big data</i> e análise de dados
T3	Simulação	Gêmeos digitais, simulação discreta
T4	Outros	RFID, <i>blockchain</i> , <i>cloud</i> , sistemas embarcados, sistemas autônomos, computação de borda, realidade aumentada e realidade estendida

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em adição, as áreas da engenharia de produção foram codificadas conforme apresentado no Quadro 4. Todos os agrupamentos são de forma não exclusiva, tanto de áreas da EP como de tecnologias, podendo ocorrer a coexistência de vários campos da EP e de tecnologias no mesmo trabalho.

Quadro 4 – Codificação das áreas da engenharia de produção.

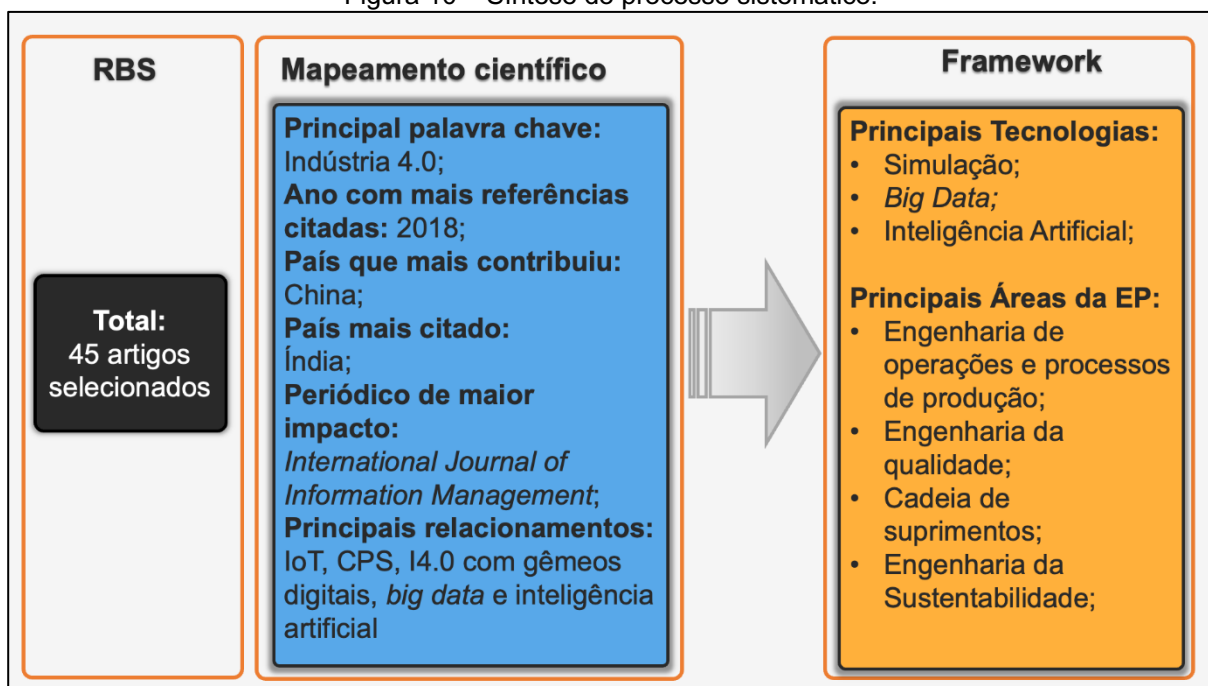
ÁREA	CÓDIGO
Engenharia de operações e processos da produção	EP1
Cadeia de suprimentos	EP2
Pesquisa operacional	EP3
Engenharia da qualidade	EP4
Engenharia do produto	EP5
Engenharia organizacional	EP6
Engenharia econômica	EP7
Engenharia do trabalho	EP8
Engenharia da sustentabilidade	EP9
Educação em engenharia de produção	EP10

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em breve síntese, a Figura 10 apresenta os principais resultados de cada fase do processo sistemático deste artigo que levaram a construção do framework.

Figura 10 – Síntese do processo sistemático.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A RBS, resultou em 45 artigos que possuem como palavra-chave em destaque indústria 4.0; contam com grande participação da China; tem grande parte das referências da Índia; o periódico com mais citações apresenta-se como o *International Journal of Information Management*; e tem referências em sua maior parte no ano de 2018.

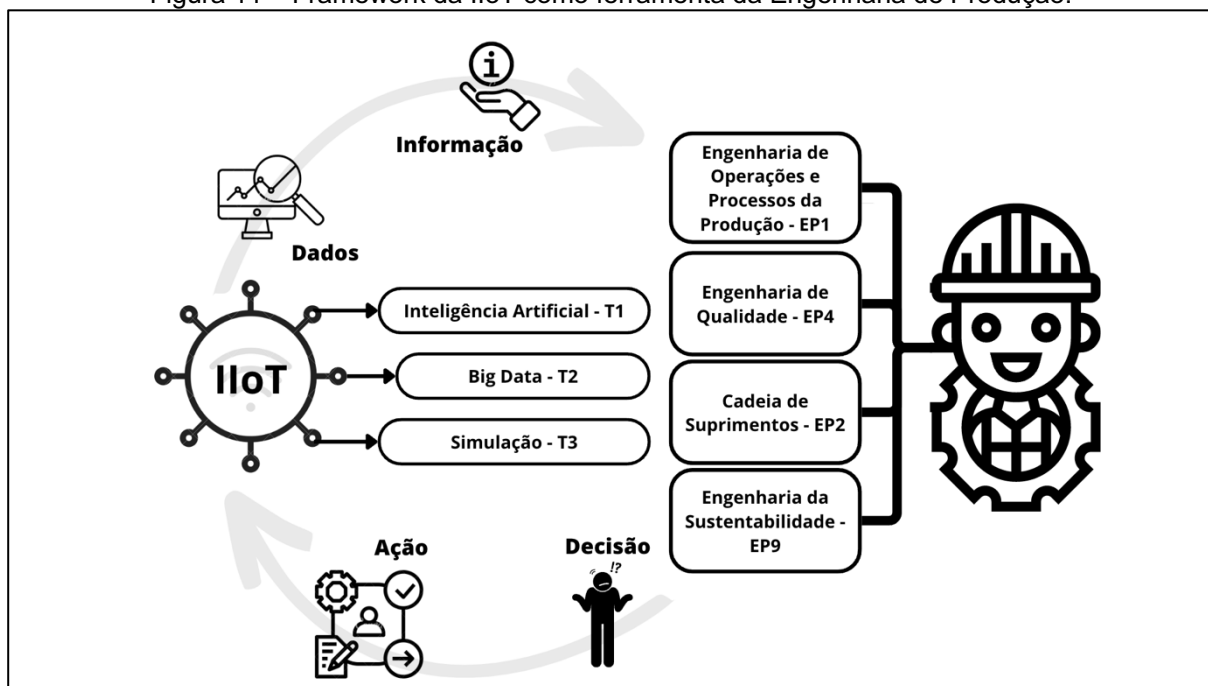
Ainda, a partir da amostra notou-se que os termos intercambiáveis I4.0, CPS e IoT caracterizaram-se como atores principais, que estão relacionados com outras aplicações de simulação, inteligência artificial e *big data*. Por sua vez, estas tecnologias estão relacionadas com algumas práticas como diagnóstico, monitoramento de condição e manutenção preditiva.

O framework encontra como elementos tecnológicos principais a inteligência artificial, *big data* e simulação o que condiz com o mapeamento científico. Não obstante, os elementos da EP principais são: engenharia de operações e processo da produção; engenharia da qualidade; cadeia de suprimentos; e engenharia da sustentabilidade. As inter-relações serão discutidas nas subseções seguintes.

De forma mais sucinta, a Figura 11 apresenta o relacionamento dos elementos da EP que são sustentados, otimizados e incrementados com a utilização da IIoT como uma capacitadora de tecnologias. Todos os elementos são parte de um fluxo de transformação de dados, que interpretados e com contexto resultam em informações.

Já o fluxo inverso, conta com decisões tomadas a partir das informações, e o encadeamento de ações como resposta.

Figura 11 – Framework da IIoT como ferramenta da Engenharia de Produção.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para o engenheiro de produção isso exprime que o ciclo de transformação dos dados, coletados do mundo físico, deve produzir informações para servir às áreas e à tomada de decisão. Por sua parte as decisões geram ações e retornam ao mundo físico para serem empregadas. Os relacionamentos e aplicações entre os campos de estudo e atuação e tecnologias são discutidos nas subseções seguintes.

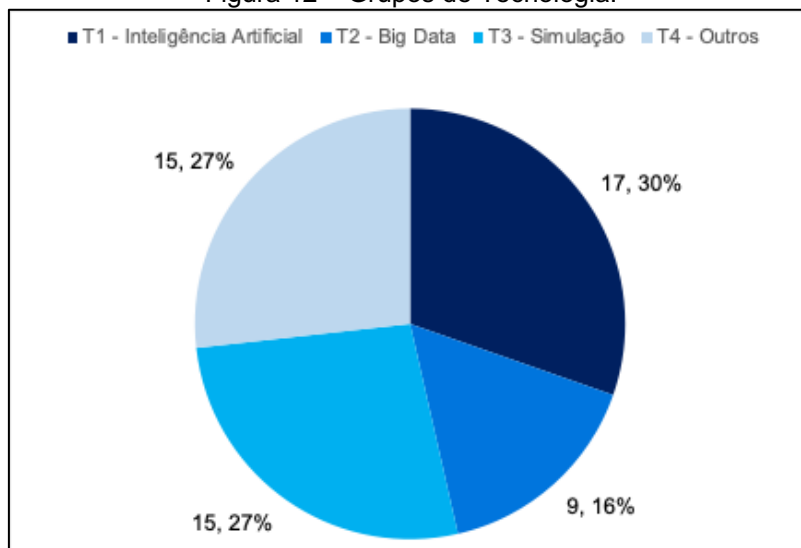
5.1 IIOT COMO PILAR DE SUPORTE DA I4.0

Um dos principais pilares de suporte da indústria 4.0 e suas tecnologias é o compartilhamento de grandes volumes de informação em tempo real pela IIoT. Dentre outras referências, os autores Rajput, S. e Singh S. P. (2019) corroboram em sua conclusão de que a adoção da IoT beneficia sustentabilidade e as operações da produção com o compartilhamento de informações em tempo real. Em consonância, Deshpande *et al.* (2020) conclui que o uso da IIoT e de aprendizado de máquina auxiliam na tomada de decisão em tempo real; Nouinou *et al.* (2023) reitera que a IIoT serve de base para a implementação de outras tecnologias; e Santos, Toscano e Souza (2021) adicionam que a IoT possibilita a inserção automática de dados em DTs.

As principais tecnologias suportadas pela IIoT que foram identificadas nos artigos selecionados referem-se a: inteligência artificial em 17 referências; *big data*

com 9 referências; e simulação com 15 referências. No entanto, também se constata 15 resultados que apresentam outras 8 tecnologias como por exemplo realidade aumentada e RFID. Uma visão geral da contagem da classificação de tecnologias nas evidências encontradas é representada na Figura 12.

Figura 12 – Grupos de Tecnologia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

5.2 TECNOLOGIAS E A ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

O relacionamento das áreas da EP com os quatro grupos de tecnologias encontrados apresenta-se no Apêndice B – Quadro de classificação das referências. Após a classificação ficou evidente a grande quantidade de referências relacionadas a engenharia de operações e processos da produção com 27 referências fichadas. Ainda com alguma quantidade expressiva a engenharia da qualidade (EP4) apresenta 7 referências e as áreas de cadeia de suprimentos (EP2) e a engenharia da sustentabilidade apresentam 6 referências. Os demais campos da EP como educação em engenharia de produção (EP10), pesquisa operacional (EP3), engenharia do trabalho (EP8) e engenharia organizacional apresentam 4 ou menos evidências.

As áreas de engenharia econômica (EP7) e engenharia de produto (EP5) se encontram ausentes e levanta-se a hipótese de tenham uma quantidade de estudos pouco expressiva já na etapa de filtragem das bases de dados. Para confirmar que poucas evidências são encontradas, executa-se uma nova pesquisa preliminar nas bases de dados, representada no Quadro 5 utilizando-se das mesmas etapas da RBS apresentada anteriormente, no tópico 4.1, Quadro 2. Comparando-se os resultados

dos filtros em ambos os procedimentos, retrata-se a pequena quantia de resultados obtidos.

Quadro 5 – Resultados da RBS relacionada com EP5 e EP7.

Tema	Engenharia econômica e engenharia de produto relacionada a IoT				
Objetivo da RBS	Encontrar evidências de relação entre as áreas de engenharia de produto e engenharia econômica com a IoT				
Palavras-chave	"IoT" AND ("Economic Engineering" or "Product Engineering")				
Bases de dados	Science Direct; Scopus; Web of Science;				
Etapas de filtragem			Número de resultados		
Filtros	Science Direct, Scopus	Web of Science	Science Direct	Scopus	Web of Science
Palavras-chave e operadores booleanos	"IoT" AND ("Economic Engineering" or "Product Engineering")	(ALL="IoT") AND ((ALL="Economic Engineering") OR (ALL="Product Engineering"))	115	182	5
Filtro 1 - período de publicações	2018 - 2023	2018 - 2023	93	157	5
Filtro 2 - área do conhecimento	Engineering, Computer Science, Decision Sciences, "Business, Management and Accounting", Energy, Materials Science, Mathematics, Environmental Science	Engineering; Computer Sciences; Telecommunications; Automation Control Systems; Instruments Instrumentation; Materials Science; Operation Research Management Science; Business Economics; Environmental Sciences Ecology; Mathematics; Energy Fuels; Robotics; Remote Sensing; Transportation	85	145	3
Outros filtros aplicados	Tipo: Review, Research, Book Chapters, Encyclopedia	Tipo: Article, Review Article, Early Access	81	97	2

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na próxima seção, as aplicações das tecnologias nas áreas da EP serão exploradas, e um resumo geral destas aplicações será apresentado.

5.3 APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS NAS ÁREAS DA EP

Nesta seção apresenta-se as aplicações dos grupos de tecnologia nas áreas da engenharia de produção, com foco principal nas áreas de engenharia de processos e operações da produção (EP1), engenharia da qualidade (EP4), cadeia de

suprimentos (EP2) e engenharia da sustentabilidade (EP9) conforme a contagem de referências classificadas nestas áreas.

5.3.1 Engenharia de operações e processos da produção (EP1)

A área de operações e processos da produção é a que mais encontra estudos aplicados das tecnologias suportadas pela IIoT, dentre as quais destacam-se gêmeos digitais, inteligência artificial e *big data*, corroborando com Nouinou *et al.* (2023) que conclui em seu estudo que houve um aumento do foco em *big data* e inteligência artificial, em detrimento da atenção à automação. É possível enumerar que as aplicações de tais tecnologias promovem a predição e simulação de cenários complexos de produção e manutenção; a tomada de decisões em tempo real baseado em dados; e a concepção de sistemas com certo nível de autonomia para a tomada de decisões.

A técnica de *big data* é utilizada principalmente para descrever a coleta de grandes volumes de dados. Em geral utiliza-se tal tecnologia para alimentar algoritmos de aprendizado de máquina (BRUNELLI *et al.*, 2019; PEASE *et al.*, 2018) e para monitoramento e tomada de decisões operacionais (LI; CHEN; SHANG, 2022; NOUINOU *et al.*, 2023). Os autores Sahal, Breslin e Ali (2020) apresentam estudos de dimensionamento e seleção de tecnologias com base nos requisitos de PdM comprovados na indústria eólica e de transportes.

O uso de inteligência artificial geralmente é focado em gestão da manutenção e programação e controle de produção. Autores como Khan *et al.* (2022), Bermeo-Ayerbe *et al.* (2021), Pease *et al.* (2018) focam na otimização do agendamento de tarefas para melhor utilização e balanceamento de recursos e melhor nivelamento de consumo de energia. Brunelli *et al.* (2019) utiliza algoritmos para prever o status da produção e os indicadores da qualidade e desempenho de máquina.

A aplicação de AI na manutenção tem como os principais pontos o reconhecimento de falhas (KISSKALT *et al.*, 2018; NIKFAR; BITENCOURT; MYKONIATIS, 2022) e plataformas para a predição de condição, de eficiência e de necessidade de manutenção com estimativas de tempo de vida útil restante de ferramentas (*remaining useful life*) (CHRISTOU *et al.*, 2020; SURICO *et al.*, 2020).

Boa parte das aplicações de tecnologias de simulação são para o monitoramento, simulação e otimização da produção. Alguns autores apontam para a

aquisição de indicadores de performance (KPIs), visualização da telemetria do processo em tempo real (DERYABIN; TEMKIN; ZYKOV, 2020; SANTOS; TOSCANO; DE SOUSA, 2021) e para programação e controle de produção (BIESINGER *et al.*, 2019; ZHENG; SIVABALAN, 2020). Os autores Werner, Zimmermann e Lentes, (2019) e You *et al.* (2022) implementam gêmeos digitais como ferramenta da PdM. Schuh *et al.* (2020) utiliza a tecnologia em questão para mapeamento do fluxo de valor em empresas de batelada única ou pequena e Anarson *et al.* (2022) foca na reconfiguração automática de uma célula de produção à medida que alterações são feitas digitalmente.

Outras tecnologias também contribuem para as operações como uso de Robôs reconfiguráveis (EL ZANT *et al.*, 2021) que permitem a concepção de uma célula de produção adaptável; o uso realidade aumentada para monitoramento das condições de produção e da máquina (GARCÍA; BREGON; MARTÍNEZ-PRIETO, 2022; LONGO *et al.*, 2022); plataformas na nuvem permitem o monitoramento e gerenciamento da produção e manutenção (DING *et al.*, 2021; SURICO *et al.*, 2020); sistemas autônomos e inteligentes são estudados para a programação e controle da produção (PCP) e gerenciamento de processos e eventos (HERRMANN *et al.*, 2021; SEIGER *et al.*, 2022); e robôs colaborativos melhoram o processo de montagem com ganhos de qualidade (SALUNKHE *et al.*, 2019).

5.3.2 Engenharia da Qualidade (EP4)

Em geral, as tecnologias da indústria 4.0 suportam positivamente as técnicas da qualidade apresentando, principalmente, métodos autônomos de monitoramento da qualidade e previsão de características finais de produtos. Ainda, encontram uma relação de mútuo benefício com a prática do *lean manufacturing* (DAVIS *et al.*, 2020; MÜLLER, 2019).

Os autores Deshpande, Minai e Kumar, (2020) discorrem sobre a aplicação de redes neurais para detecção de defeitos na inspeção de chapas de aço. Na mesma linha Ericsson, Johansson e Stjern D., (2021) aplicam o reconhecimento de defeitos em superfícies de madeira em conjunto com um gêmeo digital que permite a visualização da célula em tempo real.

Outros autores como Neal *et al.* (2021) conseguem atingir melhores níveis de qualidade em processo pela aplicação de monitoramento com gêmeos digitais e

inteligência artificial de itens retornáveis de processo, enquanto Zhang *et al.* (2022) busca prever as características finais do produto no início do processo de produção, possibilitando as correções necessárias prontamente.

5.3.3 Cadeia de suprimentos (EP2) e Engenharia da sustentabilidade (EP9)

Sem pormenorizar, a indústria 4.0 beneficia positivamente a cadeia de suprimentos e a sustentabilidade (RAJPUT; SINGH, 2019), permitindo o compartilhamento de grandes volumes de dados entre recursos produtivos internos e entre empresas, bem como a predição e tomada de decisões autônomas com relação a logística, otimização do uso de eletricidade e de ferramentas com estimativas RUL.

A logística interna é beneficiada com o uso de IA e gêmeos digitais com a possibilidade de agendamento proativo na gestão de estoque em processo (*work in progress*) (WANG; ZHANG; ZHONG, 2020). Autores como Deepu *et al.* (2021), Isaja *et al.* (2023) e Kamble *et al.* (2022) estudam a integração da cadeia de suprimentos, tanto no quesito da logística interna como no compartilhamento de informações entre empresas por meio de *big data*, *blockchain* e gêmeos digitais.

Por fim, Henao-Hernández *et al.* (2019) vai ao encontro a Kamble *et al.* (2022) e Rajput *et al.* (2019) salientando os benefícios da disponibilidade de informações para a sustentabilidade. Porém Rajput *et al.* (2019) destaca a falta de estruturação de métodos de coleta dessas informações e, em conjunto com Henao-Hernández *et al.* (2019), faz ressalvas para a pouca atenção a fatores sociais.

5.3.4 Outras áreas da EP (EP10, EP8, EP3 e EP6)

A educação em engenharia de produção (EP10), engenharia do trabalho (EP8), pesquisa operacional (EP3) e engenharia organizacional (EP6) são áreas com contribuição marginal para a amostra.

A EP6 aparece como coadjuvante em estudos como Schuh *et al.* (2020) e Seiger *et al.* (2022) que acabam por implementar técnicas de gêmeos digitais e outras tecnologias IIoT para controle de processo com métodos de gestão de processos de negócio (*business process modeling*) e mapeamento da cadeia de valor (*value stream mapping*). Da mesma forma a engenharia do trabalho (EP8) aparece com a modificação do posto de trabalho utilizando a realidade aumentada (LONGO *et al.*,

2022) e robôs colaborativos (SALUNKHE *et al.*, 2019) para melhor desempenho de processo e eliminação de problemas ergonômicos.

Enquanto isso a pesquisa operacional (EP3) é utilizada para problemas de otimização de consumo de energia com simulação discreta de eventos (RODRIGUES; FERREIRA; ROCHA, 2018), modelagem *fuzzy* para predição de propriedades mecânica de produtos de aço (PENG *et al.*, 2022) e utilização de modelos ocultos de Markov para interpretação de sinais e predição de condições de operação (KISSKALT *et al.*, 2018).

Finalmente, os artigos que tratam da educação do engenheiro de produção (EP10), e de uma forma geral, da educação em engenharia, aplicam os conceitos de I4.0, CPS, IIoT, IA e realidade aumentada em laboratórios para preparação e aquisição de experiência prática dos estudantes (ELBESTAWI *et al.*, 2018; HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020; WOSCHANK; PACHER, 2020) e em frameworks de concepção dos mesmos com baixo custo e recursos de livre distribuição (CASTRO *et al.*, 2022).

5.3.5 Resumo dos resultados obtidos

As relações complexas entre aplicações, áreas e tecnologias são desafiadoras de ser resumidas. Através do Quadro 6, busca-se representar de forma a facilitar a compreensão das aplicações a respeito as tecnologias e áreas como explorado anteriormente. Como algumas tecnologias podem ser utilizadas em conjunto, em momentos se apresentam agregados de tecnologias que são utilizadas para uma mesma aplicação, reforçando uma característica modular e dinâmica dos artifícios da I4.0.

Quadro 6 – Área, tecnologia ou conjunto e aplicação

Área	Grupo	Aplicação
Engenharia de operações e processos de produção (EP1)	Simulação	Otimização de leiaute. Mapeamento e otimização dos processos.
	Inteligência artificial e simulação	Manutenção preditiva. Programação e controle de produção.
	Inteligência artificial	Manutenção preditiva. Programação e controle da produção. Predição de desempenho.
	Big data	Tomada de decisões operacionais. Alimentação de gêmeos digitais e inteligência artificial.

	Outras tecnologias	Manutenção preditiva. Programação e controle de produção. Melhorias de processo. Leiaute flexível.
Engenharia da qualidade (EP4)	Inteligência artificial e simulação	Inspeção de defeitos. Monitoramento de qualidade de itens retornáveis de processo. Predição das características finais do produto.
Cadeia de suprimentos (EP2)	Inteligência artificial e simulação	Agendamento proativo de movimentação de estoque em processo.
	Inteligência artificial, simulação e outras tecnologias	Compartilhamento de informações entre processos e entre empresas na cadeia de produção. Sistemas autônomos de tomada de decisão.
Sustentabilidade (EP9)	Outras tecnologias e inteligência artificial	Redução e otimização de consumo energético. Compartilhamento de informações.
Outras áreas da EP (EP10, EP8, EP3 e EP6)	Outras tecnologias	Gerenciamento de processos e ventos de negócio.
	Simulação	Mapeamento da cadeia de valor.
	Simulação e inteligência artificial	Modelagem e simulação de cenários.
	Todos os grupos	Educação prática de engenheiros.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em suma, grande parte da atenção é voltada para programação e controle de produção, gerenciamento de manutenção e manutenção preditiva, compartilhamento de informações de produção, e predição e otimização de consumo de recursos e processos.

6 CONCLUSÕES E FUTURAS DIREÇÕES

Os resultados do mapeamento científico demonstram a grande relação entre a indústria 4.0 com as tecnologias internet das coisas industrial e sistemas cyber físicos, apresentadas pelos relacionamentos temáticos e de palavras-chave. Além de reforçar sua proeminência, reforçam também o caráter benéfico do acoplamento destas com outras tecnologias da I4.0. Ainda se observou o estado recente de desenvolvimento dos estudos, em conjunto com os países e periódicos científicos que são referência no tema de pesquisa.

Estabeleceu-se que a IIoT e os CPS são uma base para a coleta de informações e de retorno de decisões. Conectou-se, através de um framework, tecnologias de simulação, *big data* e inteligência artificial, conceitos capazes de aumentar a competitividade e a performance em diversas áreas do setor industrial, com áreas de atuação do engenheiro de produção, representadas pela engenharia de operações e processos de produção; a engenharia de qualidade; a cadeia de suprimentos; e a engenharia de sustentabilidade. O foco das aplicações encontradas voltou-se para programação e controle de produção, gerenciamento de manutenção e manutenção preditiva, compartilhamento de informações de produção, e predição e otimização de consumo de recursos e processos.

Enfim, constata-se que os estudos futuros podem se direcionar as áreas de carência como engenharia de produto (EP5) e engenharia econômica (EP7) e as habilidades que o engenheiro de produção precisa dominar. Em adição, outras lacunas carecem de atenção como a interoperabilidade entre diferentes componentes do ambiente fabril (CHRISTOU *et al.*, 2020; DING *et al.*, 2021; EL ZANT *et al.*, 2021); as dificuldades na integração de pessoas, processos decisórios, sistemas empresariais e sistemas de gestão do conhecimento (GARCÍA; BREGON; MARTÍNEZ-PRIETO, 2022; HENAO-HERNÁNDEZ *et al.*, 2019; KAMBLE *et al.*, 2022; NEAL *et al.*, 2021; RAJPUT; SINGH, 2019; WANG; ZHANG; ZHONG, 2020); padronização de estruturas de dados e gêmeos digitais (GARCÍA; BREGON; MARTÍNEZ-PRIETO, 2022; KAMBLE *et al.*, 2022; NEAL *et al.*, 2021; RAJPUT; SINGH, 2019; WANG; ZHANG; ZHONG, 2020); a negligência do caráter competitivo das tecnologias da I4.0 (HERRMANN *et al.*, 2021; MÜLLER, 2019; RAJPUT; SINGH, 2019); e a criação de novos currículos de ensino de engenharia que considerem as tecnologias e o caráter transitório da I4.0 (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020).

REFERÊNCIAS

ABEPRO, Associação Brasileira de Engenharia de Produção. **Profissão – ABEPRO**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://portal.abepro.org.br/profissao/>. Acesso em: 29 abr. 2023.

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017. Disponível em: Acesso em: 30 abr. 2023.

ARNARSON, Halldor *et al.* Towards automatic configuration and programming of a manufacturing cell. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 64, p. 225–235, 2022. Disponível em: Acesso em: 11 mar. 2023.

BERMEO-AYERBE, Miguel Angel; OCAMPO-MARTÍNEZ, Carlos; DIAZ-ROZO, Javier. Adaptive predictive control for peripheral equipment management to enhance energy efficiency in smart manufacturing systems. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 291, p. 125556, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965262035602X>. Acesso em: 16 mar. 2023.

BIESINGER, Florian *et al.* A digital twin for production planning based on cyber-physical systems: A Case Study for a Cyber-Physical System-Based Creation of a Digital Twin. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 79, p. 355–360, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827119302045>. Acesso em: 11 mar. 2023.

BNDES, Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social; BRASIL, Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão; BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Produto 3: análise de oferta e demanda: relatório parcial: aspiração do Brasil em Internet das Coisas. [s. l.], p. 1–20, 2017a. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/13499>. Acesso em: 28 abr. 2023.

BNDES, Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social; BRASIL, Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão; BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Produto 8: Relatório do Plano de Ação**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2017b. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/269bc780-8cdb-4b9b-a297-53955103d4c5/relatorio-final-plano-de-acao-produto-8-alterado.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m0jDUok>. Acesso em: 28 abr. 2023.

BRASIL. **Decreto Nº 9.854**. Institui o Plano Nacional de Internet das Coisas e dispõe sobre a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina e Internet das Coisas. Brasília, 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d9854.htm. Acesso em: 28 abr. 2023.

BRUNELLI, Luca *et al.* Deep learning-based production forecasting in manufacturing: A packaging equipment case study. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 38, p. 248–255, 2019. Disponível em: Acesso em: 11 mar. 2023.

CASTRO, Hélio *et al.* Cyber-Physical Systems using Open Design: an approach towards an Open Science Lab for Manufacturing. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 196, p. 381–388, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S187705092102250X>. Acesso em: 11 mar. 2023.

CENTRO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **São Paulo - Perfil da Indústria nos Estados**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/sp>. Acesso em: 12 maio 2023.

CHRISTOU, Ioannis T. *et al.* End-to-End Industrial IoT Platform for Actionable Predictive Maintenance. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 53, n. 3, p. 173–178, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896320301725>.

COBO, M J *et al.* An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. **Journal of Informetrics**, [s. l.], v. 5, p. 146–166, 2011.

DAVIS, Nathaniel *et al.* 4th Industrial Revolution Design Through Lean Foundation. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 91, p. 306–311, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827120308246>. Acesso em: 11 mar. 2023.

DEEPU, S. T.; RAVI, V. A conceptual framework for supply chain digitalization using integrated systems model approach and DIKW hierarchy. **Intelligent Systems with Applications**, [s. l.], v. 10–11, 2021. Disponível em: Acesso em: 16 mar. 2023.

DERYABIN, Sergey A.; TEMKIN, Igor O.; ZYKOV, Sergey V. About some issues of developing Digital Twins for the intelligent process control in quarries. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 176, p. 3210–3216, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050920320287>. Acesso em: 16 mar. 2023.

DESHPANDE, Aditya M.; MINAI, Ali A.; KUMAR, Manish. One-Shot Recognition of Manufacturing Defects in Steel Surfaces. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 48, p. 1064–1071, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978920315985>. Acesso em: 11 mar. 2023.

DING, Kai *et al.* A cyber-physical production monitoring service system for energy-aware collaborative production monitoring in a smart shop floor. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 297, p. 126599, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652621008192>. Acesso em: 16 mar. 2023.

EL ZANT, Chawki *et al.* A design methodology for modular processes orchestration. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, [s. l.], v. 35, p. 106–

117, 2021. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1755581721000742>. Acesso em: 11 mar. 2023.

ELBESTAWI, Mo *et al.* SEPT Learning Factory for Industry 4.0 Education and Applied Research. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 23, p. 249–254, 2018. Disponível em: Acesso em: 11 mar. 2023.

ERICSSON, Mikael; JOHANSSON, Dahniel; STJERN, David. AI-Based Quality Control of Wood Surfaces with Autonomous Material Handling. **Applied Sciences**, ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND, v. 11, n. 21, p. 9965, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/21/9965>.

GALVÃO, Taís Freire; PEREIRA, Mauricio Gomes. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 183–184, 2014. Disponível em: http://scielo.iec.pa.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742014000100018&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

GARCÍA, Álvaro; BREGON, Anibal; MARTÍNEZ-PRIETO, Miguel A. A non-intrusive Industry 4.0 retrofitting approach for collaborative maintenance in traditional manufacturing. **Computers & Industrial Engineering**, [s. l.], v. 164, p. 107896, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360835221008007>. Acesso em: 11 mar. 2023.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas Ltda, 2018. *E-book*. Disponível em: Acesso em: 30 abr. 2023.

GREER, Christopher *et al.* Cyber-physical systems and internet of things. **Special Publication (NIST SP)**, Gaithersburg, MD, 2019. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1900-202.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2023.

HENAO-HERNÁNDEZ, Iván *et al.* Control and monitoring for sustainable manufacturing in the Industry 4.0: A literature review. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 52, n. 10, p. 195–200, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896319308778>. Acesso em: 11 mar. 2023.

HERNANDEZ-DE-MENENDEZ, Marcela; ESCOBAR DÍAZ, Carlos A.; MORALES-MENENDEZ, Ruben. Engineering education for smart 4.0 technology: a review. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJDeM)**, TIERGARTENSTRASSE 17, D-69121 HEIDELBERG, GERMANY, v. 14, n. 3, p. 789–803, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s12008-020-00672-x>.

HERRMANN, Jan-Phillip *et al.* A literature review and cluster analysis of the Aachen production planning and control model under Industry 4.0. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 180, p. 208–218, 2021. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050921001988>. Acesso em: 16 mar. 2023.

ISAJA, Mauro *et al.* A blockchain-based framework for trusted quality data sharing towards zero-defect manufacturing. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 146, p. 103853, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166361523000039>. Acesso em: 11 mar. 2023.

JUNIOR, Antonio Arnaldo Baio; CARRER, Marcelo José. Adoption of Industry 4.0 technologies: an analysis of small and medium-sized companies in the state of São Paulo, Brazil. **Gestão & Produção**, [s. l.], v. 29, p. e122, 2022. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/gp/a/GwQ7Hd7k6WhVwzDkZ75wFwc/?lang=en>. Acesso em: 22 abr. 2023.

KAMBLE, Sachin S. *et al.* Digital twin for sustainable manufacturing supply chains: Current trends, future perspectives, and an implementation framework. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 176, 2022. Disponível em: Acesso em: 11 mar. 2023.

KHAN, Anam Nawaz *et al.* A Criticality-Aware Dynamic Task Scheduling Mechanism for Efficient Resource Load Balancing in Constrained Smart Manufacturing Environment. **IEEE ACCESS**, 445 HOES LANE, PISCATAWAY, NJ 08855-4141 USA, v. 10, p. 50933–50946, 2022.

KISSKALT, Dominik *et al.* A novel approach for data-driven process and condition monitoring systems on the example of mill-turn centers. **Production Engineering**, TIERGARTENSTRASSE 17, D-69121 HEIDELBERG, GERMANY, v. 12, n. 3–4, p. 525–533, 2018. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11740-018-0797-0>.

K-SYNTH SRL. **Bibliometrix - bibliometrix**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.bibliometrix.org/home/index.php/layout/bibliometrix>. Acesso em: 2 jun. 2023.

LASI, Heiner *et al.* Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014. Disponível em: <https://link-springer-com.ez348.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s12599-014-0334-4>. Acesso em: 29 abr. 2023.

LI, Chunquan; CHEN, Yaqiong; SHANG, Yuling. A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, [s. l.], v. 29, p. 101021, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2215098621001336>. Acesso em: 11 mar. 2023.

LONGO, Francesco *et al.* An ontology-based, general-purpose and Industry 4.0-ready architecture for supporting the smart operator (Part I – Mixed reality case). **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 64, p. 594–612, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278612522001303>. Acesso em: 11 mar. 2023.

MACEDO, Marcelo; SOUZA, Mariane Ramos de. TEORIA, MODELOS E FRAMEWORKS: CONCEITOS E DIFERENÇAS. **Anais do Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação – ciki**, [s. l.], v. 1, n. 1, 2022. Disponível em: <https://proceeding.ciki.ufsc.br/index.php/ciki/article/view/1249>. Acesso em: 2 jun. 2023.

MENDES, Dayse. **Engenharia de produção: do paradigma inicial à sociedade 5.0**. 1. ed. Curitiba: InterSaberes, 2021.

MÜLLER, Julian M. Contributions of Industry 4.0 to quality management - A SCOR perspective. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 52, n. 13, p. 1236–1241, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896319313461>. Acesso em: 11 mar. 2023.

NEAL, Aaron D. *et al.* The potential of industry 4.0 Cyber Physical System to improve quality assurance: An automotive case study for wash monitoring of returnable transit items. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, [s. l.], v. 32, p. 461–475, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1755581720300791>.

NIKFAR, Mohsen; BITENCOURT, Julia; MYKONIATIS, Konstantinos. A Two-Phase Machine Learning Approach for Predictive Maintenance of Low Voltage Industrial Motors. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 200, p. 111–120, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050922002198>. Acesso em: 16 mar. 2023.

NOUINOU, Hajar *et al.* Decision-making in the context of Industry 4.0: Evidence from the textile and clothing industry. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 391, p. 136184, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652623003426>. Acesso em: 16 mar. 2023.

PEASE, Sarogini Grace *et al.* An intelligent real-time cyber-physical toolset for energy and process prediction and optimisation in the future industrial Internet of Things. **Future Generation Computer Systems**, [s. l.], v. 79, p. 815–829, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X1630382X>. Acesso em: 16 mar. 2023.

PENG, Gongzhuang *et al.* A collaborative design platform for new alloy material development. **Advanced Engineering Informatics**, [s. l.], v. 51, p. 101488, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1474034621002378>. Acesso em: 11 mar. 2023.

PONS, Pascal; LATAPY, Matthieu. Computing communities in large networks using random walks. [s. l.], 2005. Disponível em: Acesso em: 23 jun. 2023.

RAJPUT, Shubhangini; SINGH, Surya Prakash. Connecting circular economy and industry 4.0. **International Journal of Information Management**, [s. l.], v. 49, p. 98–113, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268401218311599>. Acesso em: 16 mar. 2023.

RAO PABOLU, Venkata Krishna; SHRIVASTAVA, Divya; KULKARNI, Makarand S. A Dynamic System to Predict an Assembly Line Worker's Comfortable Work-Duration Time by Using the Machine Learning Technique. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 106, p. 270–275, 2022. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827122001913>. Acesso em: 11 mar. 2023.

RODRIGUES, Gislene Salim; FERREIRA, João Carlos Espíndola; ROCHA, Carlos Rodrigues. A novel method for analysis and optimization of electric energy consumption in manufacturing processes. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 17, p. 1073–1081, 2018. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978918311958>. Acesso em: 11 mar. 2023.

SAHAL, Radhya; BRESLIN, John G.; ALI, Muhammad Intizar. Big data and stream processing platforms for Industry 4.0 requirements mapping for a predictive maintenance use case. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 54, p. 138–151, 2020. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278612519300937>. Acesso em: 11 mar. 2023.

SALUNKHE, Omkar *et al.* Assembly 4.0: Wheel Hub Nut Assembly Using a Cobot. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 52, n. 13, p. 1632–1637, 2019. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896319314156>. Acesso em: 11 mar. 2023.

SANTOS, Romão; TOSCANO, César; DE SOUSA, Jorge Pinho. A new Simulation-Based Approach in the Design of Manufacturing Systems and Real-Time Decision Making. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 54, n. 1, p. 282–287, 2021. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896321007424>. Acesso em: 11 mar. 2023.

SCHUH, Günther *et al.* Creation of digital production twins for the optimization of value creation in single and small batch production. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 93, p. 222–227, 2020. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827120307629>. Acesso em: 11 mar. 2023.

SEIGER, Ronny *et al.* Integrating process management and event processing in smart factories: A systems architecture and use cases. **Journal of Manufacturing Systems**, THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND, v. 63, p. 575–592, 2022. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278612522000814>.

SISINNI, Emiliano *et al.* Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, [s. l.], v. 14, n. 11, p. 4724–4734, 2018. Disponível em: Acesso em: 23 abr. 2023.

SLAMA, Dirk *et al.* **Enterprise IoT : strategies & best practices for connected products & services**. Sebastopol: O'Reilly Media, 2016. *E-book*. Disponível em: Acesso em: 30 abr. 2023.

STATISTA. **Internet of Things - Worldwide**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.statista.com/outlook/tmo/internet-of-things/worldwide>. Acesso em: 28 abr. 2023.

SURICO, M. *et al.* PROGRAMS project approach to maintenance management. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 53, n. 3, p. 313–318, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896320302007>. Acesso em: 11 mar. 2023.

VAIDYA, Saurabh; AMBAD, Prashant; BHOSLE, Santosh. Industry 4.0 – A Glimpse. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 20, p. 233–238, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978918300672>. Acesso em: 12 maio 2023.

WANG, W.; ZHANG, Yingfeng; ZHONG, R. Y. A proactive material handling method for CPS enabled shop-floor. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [s. l.], v. 61, 2020. Disponível em: Acesso em: 11 mar. 2023.

WERNER, Andreas; ZIMMERMANN, Nikolas; LENTES, Joachim. Approach for a Holistic Predictive Maintenance Strategy by Incorporating a Digital Twin. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 39, p. 1743–1751, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978920303292>.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Harnessing the Fourth Industrial Revolution for Life on Land**. Geneva: [s. n.], 2018. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_4IR_Life_on_Land.pdf. Acesso em: 30 abr. 2023.

WOSCHANK, M.; PACHER, Corina. A Holistic Didactical Approach for Industrial Logistics Engineering Education in the LOGILAB at the Montanuniversitaet Leoben. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 51, p. 1814–1818, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978920321302>. Acesso em: 11 mar. 2023.

YOU, Yingchao *et al.* Advances of Digital Twins for Predictive Maintenance. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 200, p. 1471–1480, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S187705092200357X>. Acesso em: 16 mar. 2023.

ZHANG, Cai Jun; ZHANG, Yan Chao; HAN, Yang. Industrial cyber-physical system driven intelligent prediction model for converter end carbon content in steelmaking plants. **Journal of Industrial Information Integration**, [s. l.], v. 28, 2022. Disponível em: Acesso em: 11 mar. 2023.

ZHENG, Pai; SIVABALAN, Abinav Shankar. A generic tri-model-based approach for product-level digital twin development in a smart manufacturing environment. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [s. l.], v. 64, p. 101958, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0736584519305289>. Acesso em: 11 mar. 2023.

APÊNDICE A – QUADRO DE ARTIGOS FICHADOS

Autor	Título	Periódico	DOI
Arnarson H., Mahdi H., Solvang B., and Bremdal B.,	<i>Towards automatic configuration and programming of a manufacturing cell</i>	<i>Journal of Manufacturing Systems</i>	DOI
Bermeo-Ayerbe M., Ocampo-Martínez C., Diaz-Rozo J.	<i>Adaptive predictive control for peripheral equipment management to enhance energy efficiency in smart manufacturing systems</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	DOI
Biesinger F., Meike D., Kraß B., and Weyrich M.	<i>A digital twin for production planning based on cyber-physical systems: A Case Study for a Cyber-Physical System-Based Creation of a Digital Twin</i>	<i>Procedia CIRP</i>	DOI
Brunelli L., Masiero C., Tosato D., Beghi A., and susto G.	<i>Deep learning-based production forecasting in manufacturing: A packaging equipment case study</i>	<i>Procedia Manufacturing</i>	DOI
Castro H., Pinto N., Pereira F., Ferreira L., Ávila P., Bastos J., Putnik G., and Cruz-Cunha M.	<i>Cyber-Physical Systems using Open Design: an approach towards an Open Science Lab for Manufacturing</i>	<i>Procedia Computer Science</i>	DOI
Christou I., Kefalakis N., Zalonis A., Soldatos J., and Bröchler R.	<i>End-to-End Industrial IoT Platform for Actionable Predictive Maintenance</i>	<i>IFAC-PapersOnLine</i>	DOI
Davis N., Companiwala A., Muschard B., and Petrusch N.	<i>4th Industrial Revolution Design Through Lean Foundation</i>	<i>Procedia CIRP</i>	DOI
Deepu S. and Ravi V.	<i>A conceptual framework for supply chain digitalization using integrated systems model approach and DIKW hierarchy</i>	<i>Intelligent Systems with Applications</i>	DOI
Deryabin S., Temkin I., and Zykov S.	<i>About some issues of developing Digital Twins for the intelligent process control in quarries</i>	<i>Procedia Computer Science</i>	DOI
Deshpande A., Minai A., and Kumar M.	<i>One-Shot Recognition of Manufacturing Defects in Steel Surfaces</i>	<i>Procedia Manufacturing</i>	DOI
Ding K., Zhang Y., Chan F., Zhang C., Lv J., Liu Q., Leng J., and Fu H.	<i>A cyber-physical production monitoring service system for energy-aware collaborative production monitoring in a smart shop floor</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	DOI
El Zant C., Benfriha K., Loubère S., and Aoussat A.	<i>A design methodology for modular processes orchestration</i>	<i>CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology</i>	DOI
Elbestawi M., Centea D., Singh I., and Wanyama T.	<i>SEPT Learning Factory for Industry 4.0 Education and Applied Research</i>	<i>Procedia Manufacturing</i>	DOI

Ericsson M., Johansson D., and Stjern D.	<i>AI-Based Quality Control of Wood Surfaces with Autonomous Material Handling</i>	<i>Applied Sciences</i>	DOI
García Á., Bregon A., and Martínez-Prieto M.	<i>A non-intrusive Industry 4.0 retrofitting approach for collaborative maintenance in traditional manufacturing</i>	<i>Computers & Industrial Engineering</i>	DOI
Henao-Hernández I., Solano-Charris E., Muñoz-Villamizar A., Santos J., and Henríquez-Machado R.	<i>Control and monitoring for sustainable manufacturing in the industry 4.0: A literature review</i>	<i>IFAC-PapersOnLine</i>	DOI
Hernandez-de-Menendez M., Escobar Díaz C., and Morales-Menendez R.	<i>Engineering education for smart 4.0 technology: a review</i>	<i>International Journal on Interactive Design and Manufacturing</i>	DOI
Herrmann J., Tackenberg S., Padoano E., and Gamber T.	<i>A literature review and cluster analysis of the Aachen production planning and control model under Industry 4.0</i>	<i>Procedia Computer Science</i>	DOI
Isaja M., Nguyen P., Goknil A., Sen S., Husom E., Tverdal S., Anand A., Jiang Y., Pedersen K., Myrseth P., Stang J., Niavis H., Pfeifhofer S., and Lamplmair P.	<i>A blockchain-based framework for trusted quality data sharing towards zero-defect manufacturing</i>	<i>Computers in Industry</i>	DOI
Kamble S., Gunasekaran A., Parekh H., Mani V., Belhadi A., and Sharma R.	<i>Digital twin for sustainable manufacturing supply chains: Current trends, future perspectives, and an implementation framework</i>	<i>Technological Forecasting and Social Change</i>	DOI
Khan Alqbal N., Rizwan A., Ahmad R., and Kim D.	<i>A Criticality-Aware Dynamic Task Scheduling Mechanism for Efficient Resource Load Balancing in Constrained Smart Manufacturing Environment</i>	<i>IEEE ACCESS</i>	DOI
Kißkalt D., Fleischmann H., Kreitlein S., Knott M., and Franke J.	<i>A novel approach for data-driven process and condition monitoring systems on the example of mill-turn centers</i>	<i>Production Engineering</i>	DOI
Li C., Chen Y., and Shang Y.	<i>A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing</i>	<i>Engineering Science and Technology, an International Journal</i>	DOI
Longo F., Mirabelli G., Nicoletti L., and Solina V.	<i>An ontology-based, general-purpose and Industry 4.0-ready architecture for supporting the smart operator (Part I – Mixed reality case)</i>	<i>Journal of Manufacturing Systems</i>	DOI
Müller J.	<i>Contributions of Industry 4.0 to quality management - A SCOR perspective</i>	<i>IFAC-PapersOnLine</i>	DOI

Neal A., Sharpe R., van Lopik K., Tribe J., Goodall P., Lugo H., Segura-Velandia D., Conway P., Jackson L., Jackson T., and West A.	<i>The potential of industry 4.0 Cyber Physical System to improve quality assurance: An automotive case study for wash monitoring of returnable transit items</i>	<i>CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology</i>	DOI
Nikfar M., Bitencourt J., and Mykoniatis K.	<i>A Two-Phase Machine Learning Approach for Predictive Maintenance of Low Voltage Industrial Motors</i>	<i>Procedia Computer Science</i>	DOI
Nouinou H., Asadollahi-Yazdi E., Baret I., Nguyen N., Terzi M., Ouazene Y., Yalaoui F., and Kelly R.	<i>Decision-making in the context of Industry 4.0: Evidence from the textile and clothing industry</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	DOI
Pease S., Trueman R., Davies C., Grosberg J., Yau K., Kaur N., Conway P., and West A.	<i>An intelligent real-time cyber-physical toolset for energy and process prediction and optimisation in the future industrial Internet of Things</i>	<i>Future Generation Computer Systems</i>	DOI
Peng G., Sun Y., Zhang Q., Yang Q., and Shen W.	<i>A collaborative design platform for new alloy material development</i>	<i>Advanced Engineering Informatics</i>	DOI
Rajput S. and Singh S.	<i>Connecting circular economy and industry 4.0</i>	<i>International Journal of Information Management</i>	DOI
Rao Pabolu V., Shrivastava D., and Kulkarni M.	<i>A Dynamic System to Predict an Assembly Line Worker's Comfortable Work-Duration Time by Using the Machine Learning Technique</i>	<i>Procedia CIRP</i>	DOI
Rodrigues G., Ferreira J., and Rocha C.	<i>A novel method for analysis and optimization of electric energy consumption in manufacturing processes</i>	<i>Procedia Manufacturing</i>	DOI
Sahal R., Breslin J., and Ali M.	<i>Big data and stream processing platforms for Industry 4.0 requirements mapping for a predictive maintenance use case</i>	<i>Journal of Manufacturing Systems</i>	DOI
Salunkhe O., Stensöta O., Åkerman M., Berglund Å., and Alveflo P.	<i>Assembly 4.0: Wheel Hub Nut Assembly Using a Cobot</i>	<i>IFAC-PapersOnLine</i>	DOI
Santos R., Toscano C., and de Sousa J.	<i>A new Simulation-Based Approach in the Design of Manufacturing Systems and Real-Time Decision Making</i>	<i>IFAC-PapersOnLine</i>	DOI
Schuh G., Kelzenberg C., Wiese J., and Kessler N.	<i>Creation of digital production twins for the optimization of value creation in single and small batch production</i>	<i>Procedia CIRP</i>	DOI
Seiger R., Malburg L., Weber B., and Bergmann R	<i>Integrating process management and event processing in smart factories: A systems architecture and use cases</i>	<i>Journal of Manufacturing Systems</i>	DOI

Surico M., Ricatto R., Merlo A., Németh I., Sardelis A., Villoslada M., Montejo E., Frenkel N., Aivaliotis P., Celada I., Sidiropoulos J., Eytan A., Papavasileiou A., and Aggogeri F.	<i>PROGRAMS project approach to maintenance management</i>	<i>IFAC-PapersOnLine</i>	DOI
Wang W., Zhang Y., and Zhong R.	<i>A proactive material handling method for CPS enabled shopfloor</i>	<i>Robotics and Computer- Integrated Manufacturing</i>	DOI
Werner A., Zimmermann N., and Lentes J	<i>Approach for a Holistic Predictive Maintenance Strategy by Incorporating a Digital Twin</i>	<i>Procedia Manufacturing</i>	DOI
Woschank M. and Pacher C.	<i>A Holistic Didactical Approach for Industrial Logistics Engineering Education in the LOGILAB at the Montanuniversitaet Leoben</i>	<i>Procedia Manufacturing</i>	DOI
You Y., Chen C., Hu F., Liu Y., and Ji Z.	<i>Advances of Digital Twins for Predictive Maintenance</i>	<i>Procedia Computer Science</i>	DOI
Zhang C., Zhang Y., and Han Y.	<i>Industrial cyber-physical system driven intelligent prediction model for converter end carbon content in steelmaking plants</i>	<i>Journal of Industrial Information Integration</i>	DOI

APÊNDICE B – QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DAS REFERÊNCIAS

Referências	Áreas da Engenharia de Produção							
	EP 1	EP 2	EP 3	EP 4	EP 6	EP 8	EP 9	EP10
(KHAN <i>et al.</i> , 2022)	T1							
(CHRISTOU <i>et al.</i> , 2020)	T1							
(NIKFAR; BITENCOURT; MYKONIATIS, 2022)	T1							
(DING <i>et al.</i> , 2021)	T4							
(EL ZANT <i>et al.</i> , 2021)	T4							
(HERRMANN <i>et al.</i> , 2021)	T4							
(GARCÍA; BREGON; MARTÍNEZ-PRIETO, 2022)	T4							
(BIESINGER <i>et al.</i> , 2019)	T3							
(ZHENG; SIVABALAN, 2020)	T3							
(SANTOS; TOSCANO; DE SOUSA, 2021)	T3							
(DERYABIN; TEMKIN; ZYKOV, 2020)	T3							
(YOU <i>et al.</i> , 2022)	T3							
(WERNER; ZIMMERMANN; LENTES, 2019)	T3							
(ARNARSON <i>et al.</i> , 2022)	T3							
(NOUINOU <i>et al.</i> , 2023)	T1, T2							
(SURICO <i>et al.</i> , 2020)	T1, T4							
(SAHAL; BRESLIN; ALI, 2020)	T2							
(KISSKALT <i>et al.</i> , 2018)	T1		T1					
(LI; CHEN; SHANG, 2022)	T2						T2	
(BERMEO-AYERBE; OCAMPO-MARTÍNEZ; DIAZ-ROZO, 2021)	T1						T1	
(PEASE <i>et al.</i> , 2018)	T1, T2						T1, T2	
(BRUNELLI <i>et al.</i> , 2019)	T1, T2			T1, T2				
(ZHANG; ZHANG; HAN, 2022)	T1			T1				

(LONGO <i>et al.</i> , 2022)	T4					T4		
(SALUNKHE <i>et al.</i> , 2019)	T4					T4		
(SCHUH <i>et al.</i> , 2020)	T3				T3			
(SEIGER <i>et al.</i> , 2022)	T4				T4			
(DAVIS <i>et al.</i> , 2020)				T4				
(ERICSSON; JOHANSSON; STJERN, 2021)				T1, T3				
(MÜLLER, 2019)				T4				
(DESHPANDE; MINAI; KUMAR, 2020)				T1				
(NEAL <i>et al.</i> , 2021)		T3, T4		T3, T4				
(DEEPU; RAVI, 2021)		T2						
(WANG; ZHANG; ZHONG, 2020)		T1, T3						
(ISAJA <i>et al.</i> , 2023)		T4						
(RAJPUT; SINGH, 2019)		T1					T1	
(KAMBLE <i>et al.</i> , 2022)		T3					T3	
(HENAO-HERNÁNDEZ <i>et al.</i> , 2019)							T4	
(PENG <i>et al.</i> , 2022)			T1, T2					
(RAO PABOLU; SHRIVASTAVA; KULKARNI, 2022)						T1		
(WOSCHANK; PACHER, 2020)								T4
(RODRIGUES; FERREIRA; ROCHA, 2018)			T3					
(CASTRO <i>et al.</i> , 2022)								T4
(HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; ESCOBAR DÍAZ; MORALES- MENENDEZ, 2020)								T1, T2, T3, T4
(ELBESTAWI <i>et al.</i> , 2018)								T2
Total	27	6	3	7	2	3	6	4



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul
Conselho Superior

ANEXOS

ANEXO A

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO ELETRÔNICA

1 Identificação do autor e do documento

Nome completo: **Eyji Koike Cuff**

RG: **8116795579**

CPF: **033.128.320-47**

E-mail: **eyji.koike@gmail.com**

Telefone: **54 9 8162 9115**

Curso: **Engenharia de Produção**

Campus: **Caxias do Sul**

Tipo de trabalho: () Relatório de Estágio (x) TCC () Dissertação () Tese

() Outros. Especifique: _____

Nome do(a) orientador(a): **Andre Augusto Andreis**
Ana Caroline Dzulinski

Data da apresentação: **06/ 07 / 23**

Título do documento: **A INTERNET DAS COISAS NO CONTEXTO INDUSTRIAL E O ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO:**
REVISÃO DE LITERATURA, MAPEAMENTO CIENTÍFICO E FRAMEWORK

2 Restrições (período de embargo):

sim

não

Em caso afirmativo, informe a data de liberação: ____/____/____ (no máximo até dois anos após a data da apresentação)

Justificativa: _____

3 Autorização para disponibilização no Repositório Digital / Biblioteca Digital do IFRS.

☒

Autorizo o IFRS a depositar e disponibilizar gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, o documento supracitado, de minha autoria, no Repositório Digital / Biblioteca Digital para fins de leitura e/ou impressão pela Internet.

☐

Não autorizo o IFRS a depositar gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, o documento supracitado, de minha autoria, no Repositório Digital / Biblioteca Digital.

Caxias do Sul, **15 / 07 / 23**

Local
representante legal

Data

Assinatura do(a) autor(a) ou de seu(sua)

Documento assinado digitalmente

gov.br

ANDRE AUGUSTO ANDREIS

Data: 16/07/2023 11:38:53-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente

gov.br

ANA CAROLINE DZULINSKI

Data: 16/07/2023 12:14:58-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)