

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LUÍS HENRIQUE ANDREETTA ALBERTI

**EVIDÊNCIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR ELETROELETRÔNICO  
BRASILEIRO: UM ESTUDO MULTICASOS A PARTIR DA LITERATURA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2019

LUÍS HENRIQUE ANDREETTA ALBERTI

**EVIDÊNCIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR ELETRÔNICO  
BRASILEIRO: UM ESTUDO MULTICASOS A PARTIR DA  
LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Elétrica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Avancini Schenatto

PATO BRANCO

2019

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado **“EVIDÊNCIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR ELETROELETRÔNICO BRASILEIRO: UM ESTUDO MULTICASOS A PARTIR DA LITERATURA”**, do aluno **“LUÍS HENRIQUE ANDREETTA ALBERTI”** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° 243 de 2019.

Fizeram parte da banca os professores:

**Fernando José Avancini Schenatto**

**André Macario Barros**

**Alexandre Batista de Jesus Soares**

**A Ata de Defesa assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe Solange Andreetta Alberti (*in memoriam*), que onde quer que esteja está vibrando com esta vitória. Mamãe Sola, amo-te infinitamente.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida.

Ao meu pai Adilton Alberti, pelo apoio e confiança e por sempre me mostrar o caminho da verdade.

A minha mãe Solange Andreetta Alberti (*in memoriam*), pessoa que me amou incondicionalmente e sempre acreditou em mim, sua memória é o que me fortalece e me inspira.

A minha irmã Gabriela Andreetta Alberti, por estar sempre ao meu lado me incentivando e torcendo por mim.

Aos meus avós Valentin Andreetta, Therezinha M<sup>a</sup> Moretto Andreetta (*in memoriam*), Alcides Alberti (*in memoriam*) e Geneci Jurema Alberti, por sempre me mostrarem o lado bom da vida com seus ensinamentos e experiências de vida, o que sou hoje devo a vocês.

Aos meus familiares e amigos, sem vocês essa caminhada seria muito mais difícil.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fernando José Avancini Schenatto pelos ensinamentos e amizade construída ao longo dos anos.

Aos demais professores do departamento do curso de Engenharia Elétrica da UTFPR – Pato Branco que contribuíram para a minha formação.

## EPÍGRAFE

Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá. (Ayrton Senna, 1990).

## RESUMO

ALBERTI, Luís Henrique Andreetta. Evidências da Indústria 4.0 no setor eletroeletrônico brasileiro: um estudo multicase a partir da literatura. 2019. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Atualmente, com a crescente evolução industrial e tecnológica, vem acontecendo o que está sendo entendido como uma Quarta Revolução Industrial, chamada de Indústria 4.0 (I4.0). Este termo retrata a digitalização e a interoperabilidade no setor industrial global, despertando interesses de desenvolvimento nos setores públicos e privados. A partir deste cenário, o presente trabalho visa caracterizar este novo paradigma industrial, abordando seus conceitos, princípios e pilares tecnológicos, para posteriormente realizar um estudo multicase, apresentando casos de uso de tecnologias relacionadas à I4.0 no setor eletroeletrônico brasileiro, com objetivo de retratar os avanços das organizações brasileiras neste contexto. Portanto, realizou-se uma revisão sistemática da literatura para a seleção de bibliografias, construindo dois portfólios bibliográficos: um para a etapa teórica de caracterização e um para a etapa de casos. Em seguida, realizou-se uma análise bibliométrica e uma análise de conteúdo dos documentos presentes no portfólio teórico para verificar o alinhamento da pesquisa com o tema, auxiliando na realização da etapa subsequente de pesquisa de casos. Por fim, realizou-se um estudo multicase com 5 casos selecionados, apresentando aplicações de tecnologias da I4.0 nas áreas de fabricação de máquinas, operação e monitoramento de usinas hidrelétricas, educação e regulação do setor elétrico, no qual, a partir deste estudo, pode-se compreender “como” e “em que” os benefícios e tecnologias da I4.0 são utilizados nas diferentes áreas de aplicação. Pesquisas futuras poderão investigar casos de uso de I4.0 na região sudoeste do Paraná, visando retratar a situação real das empresas e organizações sobre o que e como utilizam de I4.0, apresentando sugestões para uma implantação eficaz dos conceitos e tecnologias desta nova revolução industrial.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0; Manufatura Avançada; Setor Eletroeletrônico; Estudo Multicasos.

## ABSTRACT

ALBERTI, Luís Henrique Andreetta. Industry 4.0 evidences in the Brazilian electro-electronic sector: a multiple case study from the literature. 2019. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Nowadays, with the increasing industrial and technological evolution, has been happening what is being understood as a Fourth Industrial Revolution, called Industry 4.0 (I4.0). This term portrays digitization and interoperability in the global industrial sector, arousing development interests in the public and private sectors. From this scenario, the present work aims to characterize this new industrial paradigm, addressing its concepts, principles and technological pillars, to later carry out a multiple case study, presenting use cases of technologies related to I4.0 in the Brazilian electro-electronic sector, aiming at portray the advances of Brazilian organizations in this context. Therefore, a systematic literature review was performed to select bibliographies, building two bibliographic portfolios: one for the theoretical characterization stage and one for the case stage. Then, a bibliometric analysis and a content analysis of the documents in the theoretical portfolio were performed to verify the alignment of the research with the theme, helping in the accomplishment of the subsequent stage of case research. Finally, a multiple case study with 5 selected cases was presented, presenting applications of I4.0 technologies in the areas of machine manufacturing, operation and monitoring of hydroelectric plants, education and regulation of the electric sector, in which, from this study, can understand “how” and “where” the benefits and technologies of I4.0 are used in different application areas. Future research may investigate I4.0 use cases in southwestern Paraná, aiming to portray the real situation of companies and organizations about what and how they use I4.0, presenting suggestions for an effective implementation of the concepts and technologies of this new industrial revolution.

**Keywords:** Industry 4.0; Advanced Manufacturing; Electro-electronic Sector; Multiple Case Study.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – As fases da revolução industrial.....	15
Figura 2 – Os nove pilares da Indústria 4.0.....	16
Figura 3 – Representação da manufatura tradicional comparada à Indústria 4.0. ....	22
Figura 4 – Arquitetura 5C para Sistemas Ciber-Físicos. ....	28
Figura 5 – Fluxograma de pesquisa. ....	40
Figura 6 – Artigos com representatividade de 96,4% das citações. ....	49
Figura 7 – Incidência das palavras-chave nos documentos do portfólio teórico. ....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Total de referências obtidas através da busca nas bases de dados. ....	42
Tabela 2 – Total de referências após o processo de aplicação de filtros. ....	43
Tabela 3 – Total de referências das bases de dados na etapa de casos. ....	44
Tabela 4 – Total de referências após aplicar os processos de filtro na etapa de casos. ....	44
Tabela 5 – Artigos do portfólio teórico classificados pela quantidade de citações. ...	48

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Eixos e Palavras-chave empregados na pesquisa.....	42
Quadro 2 – Portfólio final de conteúdo teórico. ....	47
Quadro 3 – Análise de conteúdo do portfólio teórico sobre os princípios e benefícios da I4.0. ....	51
Quadro 4 – Análise de conteúdo do portfólio teórico sobre tecnologias da I4.0.....	52
Quadro 5 – Análise multicasos envolvendo os princípios e benefícios da I4.0. ....	62
Quadro 6 – Análise multicasos envolvendo as tecnologias da I4.0.....	62

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

3D	Tridimensional
ABIMAQ	Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CESP	Companhia Energética de São Paulo
CLP	Controlador Lógico Programável
CPS	Sistemas Ciber-físicos
EMBRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
FEIMEC	Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos
I4.0	Indústria 4.0
IEDs	Dispositivos Eletrônicos Inteligentes
IIoT	Internet Industrial das Coisas
IoT	Internet das Coisas
kV	Quilovolt
M2M	Comunicação Máquina-Máquina
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RA	Realidade Aumentada
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SIBRATEC	Sistema Brasileiro de Tecnologia
SIMPO	Sistema Integrado de Manutenção Preditiva e Operação
TI	Tecnologia da Informação
UWB	Banda Ultralarga

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	14
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo Geral	18
1.1.2	Objetivos Específicos	19
1.2	JUSTIFICATIVA	19
1.3	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	20
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	20
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	21
2.1.1	Princípios da Indústria 4.0	24
2.1.1.1	Interconexão	24
2.1.1.2	Virtualização	25
2.1.1.3	Decisões Descentralizadas	25
2.1.1.4	Assistência Técnica	26
2.1.1.5	Capacidade de Resposta em Tempo Real	26
2.1.1.6	Modularidade	26
2.1.2	Sistemas Ciber-Físicos (CPS)	27
2.2	TECNOLOGIAS-CHAVE ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0	29
2.2.1	Internet Industrial das Coisas (IIoT)	29
2.2.2	<i>Big Data Analytics</i>	30
2.2.3	Computação em Nuvem	32
2.2.4	Cibersegurança	32
2.2.5	Manufatura aditiva	33
2.2.6	Realidade Aumentada	34
2.2.7	Simulação	35
2.2.8	Robôs Autônomos	36
2.2.9	Sistemas de Integração Horizontal e Vertical	37

<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA</b> .....	39
3.1	ETAPAS DA PESQUISA .....	39
3.1.1	Etapa 1: Planejamento da Pesquisa.....	41
3.1.2	Etapa 2: Seleção de Portfólio Bibliográfico Teórico e de Casos.....	41
3.1.3	Etapa 3: Análise Bibliométrica do Portfólio Teórico .....	44
3.1.4	Etapa 4: Estudo Multicasos .....	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS DA SELEÇÃO DO PORTFÓLIO TEÓRICO E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA</b> .....	46
4.1	RESULTADOS DA SELEÇÃO DO PORTFÓLIO TEÓRICO .....	46
4.2	RESULTADOS DA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	47
4.3	ANÁLISE DE CONTEÚDO .....	50
<b>5</b>	<b>A INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR ELETROELETRÔNICO BRASILEIRO</b> .....	54
5.1	ANÁLISE INDIVIDUAL DOS CASOS .....	54
5.1.1	Caso A – Monitoramento em uma empresa de fabricação de máquinas .....	54
5.1.2	Caso B – Sistema de manutenção e operação em uma usina hidrelétrica..	56
5.1.3	Caso C – Monitoramento de segurança de barragem em uma usina hidrelétrica .....	57
5.1.4	Caso D – Medição sem fio do consumo de energia elétrica em uma linha de fabricação industrial avançada .....	59
5.1.5	Caso E – Sistema de análise de dados para o setor elétrico brasileiro .....	60
5.2	ANÁLISE MULTICASOS .....	61
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	64
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	66

## 1 INTRODUÇÃO

Em meados do século XVIII ocorreu, na Inglaterra, a Primeira Revolução Industrial, marcada pela máquina movida a vapor em conjunto com o uso do carvão e do ferro, com a era da ferrovia como uma grande precursora. As produções, que eram totalmente manuais e caseiras, foram sendo substituídas por ambientes fabris centralizados, sendo intensificados por todo o século XIX (OZTEMEL; GURSEV, 2018).

A Segunda Revolução Industrial aconteceu a partir da década de 1870, se estendendo pela Europa e Estados Unidos da América, sendo caracterizada pela substituição do vapor pela energia química e elétrica e pela produção em massa. A demanda crescente fez com que se desenvolvessem, na época, tecnologias para aumentar a produtividade, como por exemplo as operações automatizadas na linha de montagem, tendo a indústria automobilística como destaque (PEREIRA; ROMERO, 2017).

Com os avanços exponenciais na tecnologia durante o século XX e a necessidade de aumentar a lucratividade e eficiência no ramo industrial, se desencadeia, na década de 1970, a Terceira Revolução Industrial, sendo também chamada de Revolução Digital, trazendo para o setor manufatureiro os avanços da eletrônica e robótica na automatização, bem como a tecnologia da informação (OZTEMEL; GURSEV, 2018).

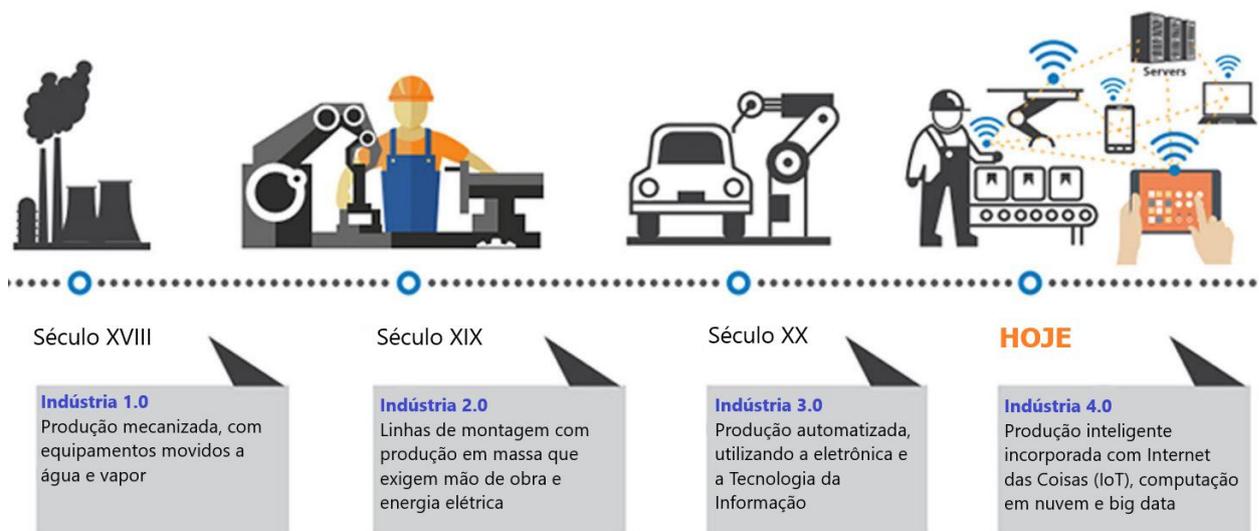
As três revoluções supracitadas têm a produtividade crescente como característica em comum. Elas impactaram fortemente nos processos industriais, aumentando a produtividade através das tecnologias empregadas em cada época.

Atualmente, com a crescente evolução industrial e tecnológica, vem acontecendo o que está sendo entendido como uma Quarta Revolução Industrial, sendo chamada de Indústria 4.0 (VIEIRA *et al.*, 2018).

Este termo foi utilizado pela primeira vez em um projeto de estratégias governamentais direcionadas à inovação em tecnologias alemãs, em 2011 na Feira de Hannover, Alemanha, com o intuito de garantir a competitividade no mercado utilizando tecnologias de ponta no ramo da manufatura. Em contrapartida, no mesmo ano, os Estados Unidos da América denominaram a nova revolução industrial como

Manufatura Avançada, tendo o mesmo propósito alemão de inovar a manufatura. Ambos os termos apontam para uma mesma visão da indústria moderna (IEDI, 2017).

A Indústria 4.0, ou I4.0, é caracterizada pelo aprimoramento das tecnologias da Terceira Revolução Industrial e da disseminação de inovações tecnológicas incorporadas no chão de fábrica, virtualizando a automação ao longo da cadeia de produção e permitindo a fusão do mundo físico e digital (IEDI, 2017). A Figura 1 ilustra o progresso industrial ao passar dos anos.



**Figura 1. As fases da revolução industrial.**  
Fonte: Adaptado de BCMCOM (2017).

Esta nova revolução industrial “transformará a fabricação, operação, *design* e serviço de produtos e sistemas de produção”, por meio da “conectividade e interação entre peças, máquinas e seres humanos”, elevando a eficiência dos sistemas de produção em 25% e acelerando a produtividade em 30% (RÜSSMANN *et al.*, 2015, p. 2).

Esses mesmos autores apontam nove avanços tecnológicos como os pilares da I4.0, indicados na Figura 2. Muitos destes nove avanços já são usados na manufatura tradicional, porém, com a implementação intensiva da manufatura avançada, haverá uma transformação na maneira de produzir mercadorias, alterando “relações tradicionais de produção entre fornecedores, produtores e clientes, bem como entre ser humano e máquina” (RÜSSMANN *et al.*, 2015, p. 4).



**Figura 2. Os nove pilares da Indústria 4.0.**  
**Fonte: Adaptado de Rüssmann et al. (2015).**

A melhoria na produtividade é uma característica chave da nova revolução, a qual eleva padrões de produção e consumo a níveis cada vez mais sustentáveis, protegendo o meio ambiente e oferecendo oportunidades para os países desenvolvidos e em desenvolvimento alcançarem um crescimento econômico em conjunto com um desenvolvimento sustentável, conforme a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (UNIDO, 2016).

A I4.0 criará fábricas inteligentes, utilizando-se de “tecnologias da informação e comunicação para digitalizar os processos industriais em direção a níveis inimagináveis de eficiência, qualidade e customização” (KUPFER, 2016). Máquinas e sistemas se comunicarão entre si por sistemas ciber-físicos (CPS, do inglês *Cyber-Physical Systems*) através da Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*), operando a produção de forma autônoma e auxiliando o ser humano, simultaneamente.

Assim como nas três revoluções industriais anteriores, as melhorias de eficiência trazidas pela I4.0 serão de grande escala e, naturalmente, com grandes impactos sobre os fenômenos do trabalho e do emprego. Devido aos níveis

crescentes de automação, a produção tenderá a ser mais rápida e precisa, substituindo grande parte dos trabalhadores por máquinas, expondo cada vez menos o ser humano a atividades perigosas e descartando a intervenção humana em trabalhos rotineiros ou repetitivos. Em contrapartida, estima-se a geração de empregos mais qualificados e mudanças intensas na competitividade das empresas (MDIC; MCTIC, 2016).

Nos países onde o índice de desigualdade social é elevado, há vários questionamentos sobre o desemprego que a I4.0 causará se aplicada repentinamente nas indústrias. Ainda não se sabe ao certo quantos cargos serão remanejados ou apenas deixarão de existir com o advento da nova indústria. De acordo com UNIDO (2016, p.4), “uma redução líquida global nos empregos pode ser especialmente desafiadora para os países em desenvolvimento, pois, ao contrário das economias desenvolvidas, milhões de jovens estão entrando no mercado de trabalho a cada ano”.

Recentemente, o Fórum Econômico Mundial considerou que alguns países emergentes, em estágios mais avançados, podem adentrar à I4.0, tendo um impacto de longo alcance para, possivelmente, atingir desenvolvimento industrial sustentável e inclusivo. Para não perder mais espaço no cenário mundial, a indústria brasileira deve tentar seguir o rumo dos países europeus e norte-americanos, onde a I4.0 já é realidade (WEF, 2016).

Ao contrário dos países desenvolvidos, no Brasil o avanço da I4.0 é mais delicado e está em processo de evolução. Em 2016, temas de inovação e tecnologia, cadeias produtivas, recursos humanos, regulação e infraestrutura foram discutidos por especialistas de várias instituições em *workshops* por todo o país, com objetivo de retratar os desafios e oportunidades da realidade brasileira no âmbito da manufatura avançada (MDIC; MCTIC, 2016).

Conforme indica WEF (2018, p. 19), o setor industrial brasileiro é o 9º maior do mundo, representando, atualmente, cerca de 10% do PIB nacional, valor três vezes menor ao que representava na década de 80. O Brasil está na 41ª posição em estrutura de produção<sup>1</sup> e na 47ª posição nos vetores de produção<sup>2</sup> da indústria

---

<sup>1</sup>Estrutura de produção, do inglês *Structure of Production*, indica a linha de base de produção atual para posicionar a capitalização e transformação dos sistemas de produção de países na Quarta Revolução Industrial.

<sup>2</sup>Vetores de produção, do inglês *Drivers of Production*, indicam os principais facilitadores para posicionar a capitalização e transformação dos sistemas de produção de países na Quarta Revolução Industrial.

internacional. Apesar dessa situação, o país possui potencial para melhorar sua situação na nova economia.

Um dos principais vetores de produção do país está nos recursos sustentáveis, que tem a prioridade de investidores estrangeiros, incentivando conexões globais e favorecendo conhecimentos e transferência de tecnologias. Mesmo tendo a 5ª maior população mundial, o nível de capacidade dos profissionais brasileiros ainda é um ponto fraco na questão da I4.0, que necessita de habilidades em áreas da engenharia, integração de sistemas, comunicação digital, técnicas de análise de dados e trabalho multidisciplinar, entre outras.

De todo modo, algumas ações referentes à intensificação da indústria estão entrando em prática no Brasil (MDIC; MCTIC, 2016), tais como: Câmara IoT, que tem por objetivo desenvolver e promover soluções de comunicação M2M e IoT; BNDES Funtec, que provê auxílio financeiro a projetos de pesquisa nas áreas de inovação e tecnologia; EMBRAPII, que coopera com a pesquisa científica e tecnológica a fim de estimular a inovação industrial nas empresas, aumentando a competitividade nacional e internacional; e a SIBRATEC, que aproxima empresas com instituições científicas e tecnológicas, buscando introduzir a inovação em micro e pequenas empresas.

Os benefícios da I4.0 alicerçam-se essencialmente na integração de tecnologias emergentes, algumas delas, supracitadas. Desse modo, o domínio de tais tecnologias é importante para garantir a competitividade e espaço no mercado, que está culminando em um novo padrão industrial. Com isso, há a necessidade de investigar o uso dessas tecnologias na indústria eletroeletrônica brasileira, de modo a prepará-la ou inseri-la no contexto competitivo da I4.0.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Caracterizar, a partir da literatura, a aplicação de tecnologias associadas à I4.0 no setor eletroeletrônico brasileiro.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a I4.0;
- Especificar tecnologias relacionadas à I4.0;
- Identificar, na literatura, casos de uso das tecnologias relacionadas à I4.0 no contexto do setor eletroeletrônico brasileiro;
- Descrever as aplicações correntes de tecnologias relacionadas à I4.0 no contexto do setor eletroeletrônico brasileiro.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A Indústria 4.0 vem sendo um dos principais assuntos entre pesquisadores ao redor do mundo nos últimos anos. A constante competição entre indústrias no mercado acarretou numa “corrida contra o tempo” para se entender e se adequar aos meios e tecnologias da manufatura avançada, em que países desenvolvidos estão investindo em P&D, para que suas indústrias estejam preparadas para a migração ao novo paradigma industrial.

Pelo fato da Indústria 4.0 já estar sendo desenvolvida e aplicada em países como Estados Unidos e Alemanha em pequena escala, se vê a necessidade de compreender esta nova revolução, que vem acompanhada de novas tecnologias e conceitos, para que países emergentes, como o Brasil, se aprofundem mais no assunto tanto no contexto acadêmico quanto, a partir disso, para a sensibilização do setor industrial.

As indústrias em países emergentes não se adequarão tão facilmente ao novo padrão industrial, pois já constituem suas próprias tecnologias e processos de manufatura, tornando difícil e inviável a substituição de toda a sua linha de produção, porém poderão evoluir toda a estrutura já existente para se moldar às características e tecnologias da I4.0, com o intuito de manter a competitividade no mercado.

Portanto este trabalho visa o aprofundamento no tema da I4.0, detalhando as principais tecnologias que compõem esse novo padrão industrial, bem como apontando e descrevendo aplicações de tais tecnologias no âmbito industrial

eletroeletrônico brasileiro. Dessa forma, pretende-se contribuir com a literatura, trazendo conceitos, características e tecnologias da I4.0 através de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL); com a prática industrial brasileira e de outros países emergentes, a partir da análise de casos brasileiros de migração para a I4.0; e também com o setor eletroeletrônico brasileiro, estabelecendo alguns marcos para a adoção das práticas e tecnologias da nova revolução industrial.

### 1.3 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

A monografia é organizada como se segue:

O Capítulo 2 aborda a caracterização da Indústria 4.0, seus princípios e tecnologias emergentes por meio de uma revisão de literatura feita a partir do portfólio teórico, construído através de uma RSL.

No Capítulo 3 a metodologia de pesquisa é descrita, apresentando as etapas de pesquisa, os procedimentos da RSL e análises de dados.

Os Capítulos 4 e 5 descrevem os resultados da pesquisa, apresentando as análises bibliométricas e análise de conteúdo do portfólio teórico no Capítulo 4, e o estudo multicase a partir do portfólio de casos no Capítulo 5.

Por fim, as considerações e conclusões são expostas no Capítulo 6, apresentando também sugestões de trabalhos futuros alinhados com a temática deste trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo é resultante de uma revisão sistemática de literatura (RSL) alinhada com os temas de pesquisa deste trabalho. Aborda conceitos e definições da Indústria 4.0, descrevendo também as principais tecnologias relacionadas.

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 surgiu nos últimos anos para retratar a digitalização e a interoperabilidade no setor industrial global (PEREIRA; ROMERO, 2017). O termo Indústria 4.0 (I4.0) é relacionado à Quarta Revolução Industrial, e foi utilizado pela primeira vez na Feira de Hannover em 2011, na Alemanha, a partir das iniciativas dos setores governamentais, acadêmicos e privados, para denominar uma iniciativa do governo alemão que visa o fortalecimento do poder competitivo do país na área da manufatura, através da implantação de fábricas inteligentes (KANG *et al.*, 2016).

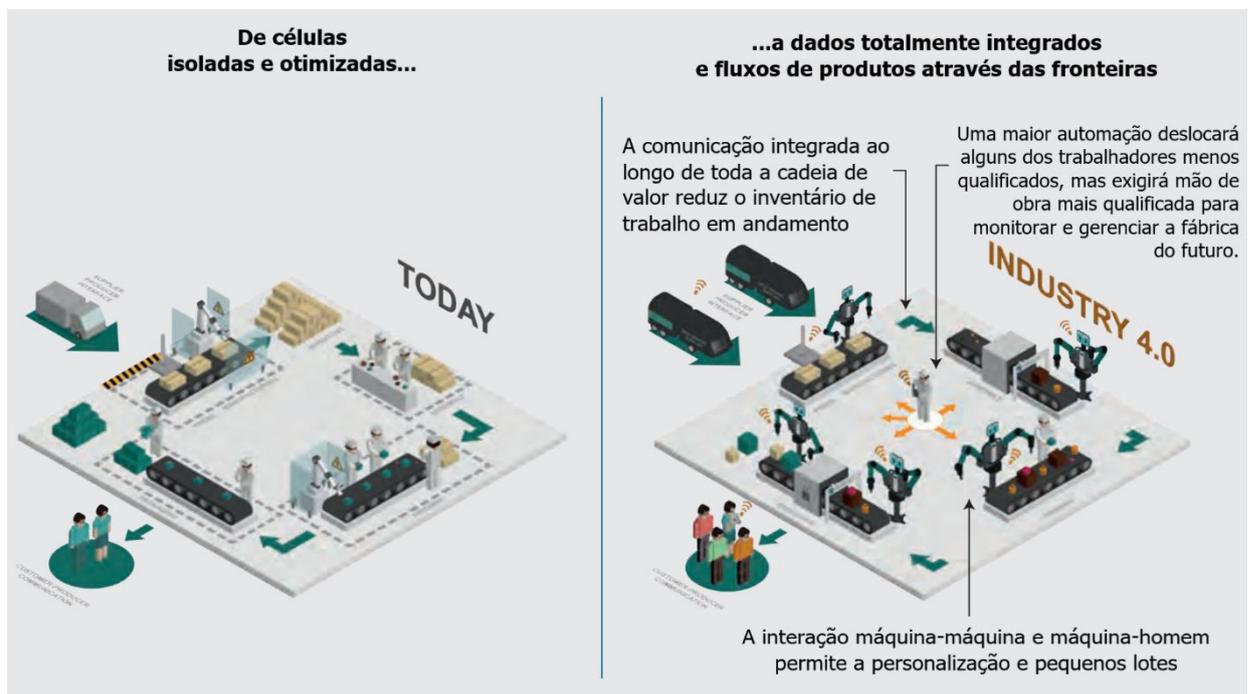
MDIC e MCTIC (2016) indicam que este novo paradigma industrial terá como uma de suas bases a produção customizada, atendendo alterações diversificadas em todos os estágios de fabricação dos produtos. De acordo com Kagermann *et al.* (2013), o relatório final da Feira de Hannover de 2011 especificou que a Indústria 4.0 criará novos valores que jamais foram vistos, construindo novos modelos de negócios e resolvendo vários problemas sociais ligando coisas de dentro pra fora nas fábricas.

No mesmo ano de 2011, os Estados Unidos da América lançaram o plano Manufatura Avançada – do inglês *Advanced Manufacturing*, tendo a mesma finalidade do plano industrial alemão. Em 2015, países como China e Japão também implantaram seus planos estratégicos governamentais para adentrar na atual competitividade industrial mundial, denominados *Made in China 2025* e *Industrial Value Chain Initiative*, respectivamente (MDIC; MCTIC, 2016; OZTEMEL; GURSEV, 2018).

Nesta nova transformação industrial, máquinas, sensores e sistemas de TI se interconectam ao longo do chão de fábrica das indústrias (RÜSSMANN *et al.*,

2015). Todos esses sistemas interagem através de protocolos baseados na internet, fazendo leituras e análises de dados em tempo real, se adaptando a mudanças e prognosticando falhas, convertendo indústrias convencionais em fábricas inteligentes, conforme indica Schlick (2014, *apud* OZTEMEL; GURSEV, 2018).

Radziwon *et al.* (2014), conforme citado por Pereira e Romero (2017, p. 1208), definem as fábricas inteligentes como “dispositivos independentes e autônomos que podem se comunicar em tempo real e cooperar com outros dispositivos inteligentes em um ambiente também inteligente, tomando decisões e realizando ações baseadas nas informações obtidas”. Essa comunicação de sistemas permite maior segurança nas indústrias, acarretando em mínima intervenção humana nos processos, fazendo com que trabalhadores sejam requisitados apenas quando realmente forem necessários (OZTEMEL; GURSEV, 2018). A Figura 3 ilustra a indústria dos dias de hoje e o que ela pode ser futuramente com a implantação da I4.0.



**Figura 3. Representação da manufatura tradicional comparada à Indústria 4.0.**  
 Fonte: Adaptado de Rüssmann *et al.* (2015).

Pereira e Romero (2017) conceituam a I4.0 como a integração entre o mundo físico e digital. Através da criação de sistemas e redes inteligentes, a I4.0 proporcionará uma maior conectividade, alcançando padrões de alta qualidade na manufatura, conforme indicam Kagermann *et al.* (2013). IEDI (2017) caracteriza a I4.0 a partir da propagação de inovações tecnológicas ao longo de toda a cadeia de

produção, juntamente com a evolução das tecnologias já existentes nas indústrias convencionais.

A atual exigência dos clientes pela diversificação está obrigando as indústrias convencionais a elevarem a flexibilidade e conectividade dos seus processos de produção, para atingirem um nível industrial de personalização de produtos de ótima qualidade e com preços condizentes com as concorrências no mercado. A Indústria 4.0 age como facilitadora para descomplexificar problemas, resolvendo estes e outros desafios que podem surgir nas organizações, através da implantação de sistemas inteligentes interligados por toda a fábrica (GENOVESE *et al.*, 2014).

Fatorachian e Kazemi (2018) apresentam alguns benefícios que a I4.0 pode proporcionar na manufatura:

a) Atendimento às demandas individuais dos clientes. Permite alterações requisitadas pelo cliente, proporcionando mudanças de última hora nos processos de produção, aumentando a flexibilidade das indústrias.

b) Fabricação e engenharia flexíveis e ágeis. A criação de processos ágeis de produção e engenharia possibilita o atendimento rápido e efetivo de diversas demandas, elevando a cooperação entre processos e permitindo uma tomada de decisões mais inteligente e responsável.

c) Aprimoramento no compartilhamento de informação e tomada de decisões. A troca de informações na I4.0 atua diretamente no desempenho dos processos de produção. As rápidas mudanças ocasionadas pela demanda específica dos clientes promovem uma tomada de decisão mais ágil e correta a partir do compartilhamento de informações em tempo real.

d) Integração e colaboração otimizadas. A conectividade entre máquinas e dispositivos presente na I4.0 permite integrar as operações fabris com sistemas e ferramentas de decisão. Uma otimização na integração de operações melhora o compartilhamento de informações em tempo real e aumenta a eficiência das máquinas e dispositivos através do controle e monitoramento por meio remoto, proporcionando uma maior vantagem competitiva no mercado.

e) Melhor produtividade de recursos. O gerenciamento de recursos e energia é importante para otimizar o uso de energia por meio da automação de ferramentas de controle ambiental, economizando custos operacionais. Os benefícios obtidos a partir desse gerenciamento provêm de inovações tecnológicas como Internet

das Coisas (IoT) e *Big Data*, em que, a partir destas, pode-se criar ferramentas de gerenciamento de desempenho e sistemas de medição de custo efetivo.

f) Customização em massa. A customização em massa, ou produção individualizada, visa a produção personalizada de produtos em massa através de processos de produção flexíveis, trazendo aos clientes produtos com preços acessíveis, de alta qualidade e alta personalização, garantindo grandes melhorias de eficiência e produtividade na fabricação.

Os benefícios supracitados se tornam um atrativo para empresas e indústrias que almejam atingir o “nível 4.0” visando maior eficiência e economia nos seus processos produtivos, buscando obter vantagens competitivas no mercado.

### 2.1.1 Princípios da Indústria 4.0

Hermann, Pentek e Otto (2016) e Hermann *et al.* (2015, *apud* IEDI, 2017) apontam os princípios básicos para uma implantação eficaz da Indústria 4.0, abordados na sequência.

#### 2.1.1.1 Interconexão

A interconexão – também citada na literatura como interoperabilidade – é relacionada com a troca e compartilhamento de informações entre sistemas de uma organização inteligente (MITTAL *et al.*, 2019). Tem como característica o intercâmbio de dados e acesso a sistemas por meio de uma rede industrial.

Segundo Schuh *et al.* (2013, *apud* HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016), há três tipos de conexões em uma fábrica inteligente, sendo: homem–homem, máquina–homem e máquina–máquina. Estas colaborações consistem, respectivamente, em relações diretas de administração, relações entre ordens, comandos e configurações e relações de comunicação nas linhas automatizadas de fábricas.

Tais conexões se dão através da Internet das Coisas (IoT), interconectando pessoas, máquinas, equipamentos e dispositivos, melhorando a troca e o processamento de informações e, com o crescente avanço da comunicação sem fio *wireless*, otimizando o acesso remoto à rede IoT (GIUSTO *et al.*, 2010).

### 2.1.1.2 Virtualização

A partir da interconexão de pessoas e dispositivos, os sistemas organizacionais são capazes de criar um modelo virtual do ambiente real através de dados de dispositivos e sensores pertencentes ao mundo físico, fazendo uma cópia do mundo físico no ambiente digital (MITTAL *et al.*, 2019).

Esta virtualização, chamada também de transparência informacional, está ligada diretamente ao monitoramento de processos e à tomada de decisões dos sistemas produtivos, que utiliza informações provenientes dos ambientes físicos e virtuais (KAGERMANN, 2015, *apud* HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

### 2.1.1.3 Decisões Descentralizadas

Na medida que a produção vai ficando cada vez mais automatizada e individualizada, a dificuldade em manter um sistema de controle centralizado é cada vez maior. Portanto, com a implantação da I4.0, a descentralização se torna uma solução para descomplexificar tais problemas (IEDI, 2017).

Assim como a virtualização, as decisões descentralizadas se baseiam na interconexão de pessoas e dispositivos, em que máquinas e dispositivos inteligentes podem monitorar e executar seus trabalhos com maior autonomia, sendo capazes de tomar decisões por conta própria permitidas pelos sistemas ciber-físicos (CPS), trazendo como benefício uma produção eficiente e sincronizada. Em situações especiais, como no caso de conflito de metas, as decisões passam a ser delegadas a um nível superior (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016; MITTAL *et al.*, 2019; ZHONG *et al.*, 2017).

Brettel *et al.* (2014), conforme citado por Xu e Duan (2018), apontam que a estrutura de operação da Indústria 4.0 se baseia na produção descentralizada, desde a compra de matérias-primas à fabricação, montagem e manejo do produto final ao consumidor, ao longo da cadeia de produção, através dos CPS.

#### 2.1.1.4 Assistência Técnica

Através da interconexão e descentralização, máquinas e robôs executarão cargos operacionais básicos e repetitivos que antes eram ocupados por pessoas, garantindo maior segurança e eficiência na produção. Ademais, poderão atuar no suporte físico de outras tarefas envolvendo homem e máquina, interagindo robôs e trabalhadores capacitados para este tipo de serviço colaborativo, de maneira a conduzir tarefas em um ritmo seguro e aceitável para o manejo das funções entre ambos (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Por outro lado, esses mesmos autores apontam também as assistências dadas ao homem pelas máquinas através da exposição de dados e informações, sendo essenciais para garantir que o trabalhador tome decisões corretas e resolva problemas emergenciais em curto prazo. Em outras palavras, os cargos que antes eram inseguros e menos qualificados serão substituídos por cargos mais qualificados, sendo ocupados por pessoas mais capacitadas para serviços de monitoramento e gerenciamento das fábricas inteligentes, e os trabalhadores que tomam decisões terão assistência dos sistemas fabris praticamente em tempo integral.

#### 2.1.1.5 Capacidade de Resposta em Tempo Real

A capacidade de resposta em tempo real tem a competência de coletar, analisar e fornecer os dados necessários para atender decisões instantaneamente. Os dados provenientes dos sistemas inteligentes são extraídos e analisados, com o intuito de ter respostas em tempo real para poder certificar que o sistema seja competente caso necessite de uma reação instantânea, por motivo de alteração de demanda ou mesmo por problemas operacionais (IEDI, 2017; MITTAL *et al.*, 2019).

#### 2.1.1.6 Modularidade

Na I4.0 a produção possuirá vários módulos, os quais poderão se adequar e se ajustar de acordo com as necessidades do cliente, permitindo assim uma grande flexibilidade nos sistemas de manufatura. Estes sistemas modulares podem ser introduzidos em organizações industriais convencionais, fornecendo suas funções

pela rede industrial através de protocolos padrões de comunicação (IEDI, 2017; MITTAL *et al.*, 2019).

Considerando esses princípios, pode-se dizer que a demanda por profissionais mais capacitados será cada vez maior, aumentando a qualidade social de trabalho bem como reduzindo a emissão de resíduos ao ambiente, agregando também lucratividade e otimização no uso de recursos.

### 2.1.2 Sistemas Ciber-Físicos (CPS)

Bagheri *et al.* (2015, p. 1622) definem os Sistemas Ciber-Físicos (CPS) como um “conjunto de sistemas nos quais sistemas naturais e feitos pelo homem (espaço físico) são fortemente integrados aos sistemas de computação, comunicação e controle (espaço cibernético)”, tendo a descentralização e os processos de produção autônomos como principais colaboradores.

Para Monostori (2014), conforme citado por Navickas, Kuznetsova e Gruzauskas (2017, p. 3), os CPS são “sistemas de colaboração de entidades computacionais que estão em intensa conexão com o mundo físico e seus processos contínuos, fornecendo e utilizando, ao mesmo tempo, serviços de acesso a dados e processamento de dados disponíveis na internet”.

Os CPS são sistemas chave para a criação de fábricas inteligentes, que incluem a constante troca de informação entre máquinas e dispositivos permitindo o controle autônomo, envolvendo sistemas, máquinas, produtos, clientes, estoques e serviços terceirizados (JUNG *et al.*, 2016, *apud* FATORACHIAN; KAZEMI, 2018).

Os CPS integram o mundo físico com o mundo virtual, permitindo otimização de desempenho e melhor eficiência. Desta maneira, grandes estoques são reduzidos, cabendo aos CPS a decisão sobre as necessidades de produção, desde a organização de compra de matérias-primas até o manejo do produto final. Os produtos inteligentes poderão ser rastreados em qualquer etapa da fabricação de maneira independente, possibilitando quaisquer mudanças ou ajustes repentinos ao longo da rede de produção, como a personalização individual de produto, através da troca de informações em tempo real. Com a análise de dados gerados pela comunicação máquina-máquina (M2M), falhas, interrupções na linha, desperdícios e falta de

suprimentos se tornarão menos susceptíveis, gerando mais lucro para as empresas (IEDI, 2017; JIANG *et al.*, 2018).

Lee, Bagheri e Kao (2015) apresentam uma arquitetura para os CPS baseada em uma integração vertical de cinco camadas que orientam o funcionamento dos sistemas, chamada de Arquitetura 5C, conforme ilustra a Figura 4.



**Figura 4. Arquitetura 5C para Sistemas Ciber-Físicos.**  
**Fonte: Adaptado de Lee, Bagheri e Kao (2015).**

As camadas da Arquitetura 5C estão estruturadas em (CEMERNEK; GURSCH; KERN, 2017; JIANG *et al.*, 2018):

- **Conexão inteligente.** Sensores são conectados nas máquinas para gerar grandes volumes de dados que serão posteriormente coletados.
- **Conversão de Dados-para-Informação.** Os dados obtidos dos sensores da camada anterior são coletados e transformados em informação para ser usada.
- **Cibernética.** A informação convertida através dos dados é concentrada para ser usada na análise e avaliação de *status* das máquinas, auxiliando na identificação de um possível mau funcionamento.
- **Cognição.** Os resultados das análises são utilizados para ajudar as pessoas nas tomadas de decisões.
- **Configuração.** Através das análises da camada anterior, é entregue um *feedback* em *loop* do modelo digital aos sistemas físicos para elaborar um sistema de controle autônomo e supervisor.

Esta arquitetura se baseia principalmente no uso de tecnologias como IoT e computação em nuvem, que auxiliam na comunicação, compartilhamento e

gerenciamento de dados e informações entre máquina-máquina e máquina-homem (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018).

Oztemel e Gursev (2018, p. 15) apontam, de um modo geral, as funções que os CPS podem ter ou executar:

- Monitoramento de processos;
- Aplicabilidade em diferentes domínios, contribuindo para gerar um sistema de grande escala;
- Integrar diferentes disciplinas em diferentes domínios;
- Atuar com segurança efetiva;
- Interação substancial do usuário;
- Monitoramento de desempenho;
- Configuração, desdobramento e descomissionamento em tempo real;
- Auto comportamento e tomada de decisão.

Portanto, os CPS agem como componente essencial para a implementação da I4.0, monitorando o mundo físico por meio de sensores, permitindo o fornecimento e uso de processamento de dados pelo meio digital, ampliando cada vez mais a interconexão entre dispositivos e pessoas (JIANG *et al.*, 2018; PEREIRA; ROMERO, 2017).

## 2.2 TECNOLOGIAS-CHAVE ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0

Há nove tecnologias emergentes que estão em maior evidência na transformação dos processos de produção, sendo consideradas como os pilares da Indústria 4.0, conforme já indicado na Figura 2. Estas tecnologias serão abordadas na sequência.

### 2.2.1 Internet Industrial das Coisas (IIoT)

A integração entre os mundos físico e virtual é realizada a partir da Internet das Coisas (IIoT), que conecta todo o chão de fábrica com o mesmo protocolo de

internet, fazendo com que um servidor único seja distribuído por todos os dispositivos automatizados no ambiente fabril (JIANG *et al.*, 2018).

Shariatzadeh *et al.* (2016) definem a IoT através da conexão entre qualquer objeto físico, sistemas e pessoas por meio da internet, criando um ambiente adequado nos conceitos das fábricas inteligentes. Por outro lado, Haller, Karnouskos e Schroth (2008, p. 2) apontam uma definição da IoT como “um mundo onde os objetos físicos são perfeitamente integrados à rede de informações, em que tais objetos podem se tornar participantes ativos dos processos de negócios”, disponibilizando serviços para interação com objetos inteligentes pela internet.

A Internet das Coisas é também conhecida na literatura por Internet Industrial das Coisas (IIoT), representando a aplicação da IoT nas indústrias. Tal tecnologia incorpora softwares, sensores, objetos físicos, dispositivos, máquinas e demais “coisas” presentes nas indústrias, permitindo a comunicação, a coleta e a troca de dados através de sensores inteligentes. Ademais, a IIoT possibilita a cooperação entre operadores e CPS em tempo real, interconectando objetos e realizando ações através da internet (BOYES *et al.*, 2018; KANG *et al.*, 2016; PEREIRA; ROMERO, 2017; SISINNI *et al.*, 2018).

Segundo Boyes *et al.* (2018, p. 4), a IIoT age diretamente no aprimoramento dos valores da produção, tais como: “melhoria de produto ou prestação de serviços; aumento de produtividade; redução de custo de mão-de-obra; redução de consumo de energia e redução de ciclo de produção sob encomenda.”

Este pilar da I4.0 proporciona novos modelos de negócio, elevando os níveis de automação e integração, tendo a internet como tecnologia central de dispositivos inteligentes (FATORACHIAN; KAZEMI, 2018). À vista disso, estima-se que o número de dispositivos conectados por esta tecnologia seja de 26 bilhões em 2020, com faturamento mundial de até \$8,9 trilhões (BROUSELL; MOAD; TATE, 2014).

### 2.2.2 *Big Data Analytics*

Através do avanço da tecnologia IoT, a interconexão entre sistemas acaba gerando uma quantidade enorme de dados provenientes de fontes diferentes, fazendo com que as ferramentas convencionais de análise de dados não sejam capazes de

manusear a grande quantia de informação criada. O *Big Data Analytics*, ou simplesmente *Big Data*, consiste na coleta, processamento e análise destes grandes volumes de dados, sejam eles armazenados ou coletados em tempo real (MANYIKA, 2011; MITTAL *et al.*, 2019).

Este termo, segundo TechAmerica Foundation (2012), representa o conjunto de tecnologias envolvidas para armazenar, distribuir, gerenciar e analisar um vasto número de dados variáveis e complexos, obtidos por dispositivos e sensores inteligentes. A análise dos dados previne problemas que possam ocorrer nas indústrias, atuando também na descoberta de ameaças em diversos estágios da produção, permitindo que tais erros e problemas não se repitam futuramente nas linhas de produção (BAGHERI *et al.*, 2015).

De acordo com Xu e Duan (2018), há três características do *Big Data* que são mais utilizadas, conhecidas como “3Vs”:

- i. Volume – relacionado com a capacidade de geração de dados. Quanto mais dados estiverem disponíveis para processamento, melhores e mais confiáveis serão as análises preditivas;
- ii. Velocidade – relacionada com a agilidade na geração dos dados. O *Big Data* necessita que a velocidade de processamento de dados seja maior do que a velocidade de geração de dados, para permitir que não se percam muitos dados no processo de análise, contribuindo para uma análise mais confiável;
- iii. Variedade – relacionada com a diversidade de dados gerados. Facilita a detecção de padrões através de dados analisados por diferentes pontos de vista.

Estas três características exigem procedimentos e mecanismos de *Big Data* qualificados para enfrentar um alto volume de dados, processando-os com agilidade e rigidez no controle de dados heterogêneos.

De acordo com uma estimativa realizada por especialistas, acredita-se que em 2020, a nível mundial, os gastos em *Big Data* sejam superiores a \$200 bilhões (OZTEMEL; GURSEV, 2018).

### 2.2.3 Computação em Nuvem

Os grandes dados gerados a partir da IoT e *Big Data* são manipulados pela tecnologia da computação em nuvem, armazenando informações rapidamente em um banco de dados de alta capacidade. Os dados armazenados podem ser acessados em qualquer lugar por todos os sistemas que estão conectados na mesma nuvem pela internet (FATORACHIAN; KAZEMI, 2018; MITTAL *et al.*, 2019).

Este pilar da I4.0 permite que clientes e trabalhadores tenham acesso aos dados ao mesmo tempo, agregando valor à produção. A nuvem trabalha em sintonia com a análise de *Big Data*, pois proporciona a comunicação entre máquinas, dispositivos e produtos remotamente, possibilitando analisar o constante fluxo de dados em tempo real (LI *et al.*, 2016; OZTEMEL; GURSEV, 2018).

Por ser uma tecnologia inteiramente baseada em serviços de armazenamento online, a computação em nuvem acaba se tornando um atrativo para organizações de pequeno e médio porte devido ao seu custo de implementação inicial, dispensando investimentos em *softwares* e infraestruturas e permitindo um investimento maior de acordo com a demanda (SAXENA; PUSHKAR, 2016; ZHANG; CHENG; BOUTABA, 2010).

### 2.2.4 Cibersegurança

Na medida em que a conexão entre dispositivos e a nuvem se expande através da IoT, os rendimentos financeiros e interesses políticos também crescem, agravando a quantidade de ataques cibernéticos nas indústrias com patamar 4.0, fazendo com que se intensifique a necessidade de segurança cibernética (LU *et al.*, 2014).

Huxtable e Schaefer (2016) definem o conceito de cibersegurança através da proteção de dados de TI por meio de procedimentos que proporcionam segurança digital contra roubos ou danos de dados e informações. Esta tecnologia é essencial para as novas tendências da manufatura, visto que a I4.0 é fundamentada na digitalização e nos serviços baseados em dados, garantindo privacidade e segurança em todos os processos de produção (MITTAL *et al.*, 2019).

Os ataques virtuais têm como alvo os pontos fracos dos sistemas de TI, denominados vulnerabilidades. Estas vulnerabilidades são comumente relacionadas com dispositivos virtuais que possuem conexão com os sistemas da nuvem (FLATT *et al.*, 2016; JANSEN; JESCHKE, 2018).

Benias e Markopoulos (2017) identificam alguns dos motivos nos quais os dispositivos da I4.0 sofrem ataques:

- Máquinas, dispositivos e equipamentos operam por várias semanas sem realizar atualizações essenciais de segurança;
- Mau funcionamento de controladores utilizados nas redes industriais, os quais foram projetados em tempos que os ataques virtuais não eram relevantes;
- Vários trajetos existentes nas redes industriais fazem com que as ameaças entrem mais facilmente pelos sistemas de cibersegurança presentes nas organizações;
- A implementação das redes industriais geralmente abrange toda a organização, fazendo com que os ataques virtuais sejam mais propícios, pois as plantas não possuem sistemas de segurança cibernética isolados fisicamente ou virtualmente.

Na tentativa de corrigir as lacunas da segurança digital, as organizações necessitam executar processos de avaliação de vulnerabilidades, visando a identificação e correção das vulnerabilidades presentes nos sistemas industriais (REN *et al.*, 2017).

### 2.2.5 Manufatura aditiva

A manufatura aditiva converte um desenho computacional 3D em um objeto real através da impressão camada por camada. Esta tecnologia, também citada na literatura como impressão 3D, surgiu na década de 1980 apenas para prototipagem de componentes. No entanto, com os avanços nas áreas de materiais e tecnologia, vem sendo utilizada atualmente na fabricação de produtos inteiros, personalizados de acordo com as exigências de cada cliente (ABOWD *et al.*, 2002; CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012).

Tal tecnologia possui uma vasta aplicabilidade, sendo muito utilizada na produção de componentes individuais, fazendo com que a confecção do produto seja rápida e sem perdas.

Na I4.0, a manufatura aditiva tem papel importante na produção de lotes reduzidos de produtos personalizáveis, podendo fabricar facilmente projetos mais complexos, possuindo a vantagem de trabalhar com estoques reduzidos, barateando a produção e diminuindo o tempo de espera de um produto (RÜSSMANN *et al.*, 2015).

Para mais detalhes desta tecnologia recomenda-se a leitura do trabalho de Gardan (2016), que aborda os diferentes procedimentos e métodos de fabricação de produtos em impressão 3D.

#### 2.2.6 Realidade Aumentada

A realidade aumentada (RA) aprimora a visualização do ambiente físico industrial, relacionando em tempo real espaços físicos com realidade virtual. A tecnologia da realidade aumentada era utilizada para diversão e jogos até certo tempo, porém, com os avanços tecnológicos, atingiu-se um grau de maturidade para sua utilização em ambientes fabris, permitindo que seu usuário visualize e monitore os processos de produção, gerando funcionalidades inteligentes de fabricação (OZTEMEL; GURSEV, 2018).

As indústrias poderão utilizar sistemas baseados em RA para melhorar os processos produtivos, fornecendo dados específicos aos trabalhadores, como no envio de instruções de reparação de componentes e peças, no qual o trabalhador analisa tais instruções virtualmente ao mesmo tempo em que observa o conjunto real a ser reparado. Por outro lado, a RA também pode entregar informações instantâneas aos funcionários para aprimorar suas tomadas de decisões nas fábricas inteligentes. A prevenção de erros pode ser monitorada em diversos pontos da linha de produção, possibilitando correções e ajustes ao longo do chão de fábrica (OZTEMEL; GURSEV, 2018; RÜSSMANN *et al.*, 2015).

Este pilar da I4.0 utiliza locais já existentes para sobrepor informações virtuais, elevando os padrões da manufatura através da inserção de sons, gráficos, imagens em 3D e *feedback* de toque ao mundo real (OZTEMEL; GURSEV, 2018). Ferrari (2017) aponta possíveis aplicações de RA nas indústrias:

- Operação – instalação, montagem, troca de componentes;
- Manutenção e assistência remota – reduz o tempo de execução das manutenções preventivas, corretivas e preditivas, diminuindo erros cometidos pelos trabalhadores;
- Treinamento – o treinamento auxiliado pela RA pode capacitar até mesmo trabalhadores sem muita experiência;
- Controle de qualidade – a RA auxilia na verificação dos produtos em conformidade com os padrões de qualidade;
- Gerenciamento de segurança – a RA disponibiliza ferramentas capazes de gerenciar riscos e segurança dos operadores;
- *Design* e visualização – a RA fornece ferramentas para aprimorar o *design* e melhorar protótipos;
- Logística – procedimentos com a RA podem melhorar a eficiência da logística nas indústrias.

Esses autores apontam uma grande variedade nas possíveis aplicações da RA na I4.0, envolvendo quase todos os tipos de operações de chão de fábrica, garantindo melhorias de desempenho de até 50%, fazendo com que os trabalhadores realizem suas atividades mais rapidamente, sendo menos propensos a erros, diminuindo, assim, o custo de mão-de-obra.

### 2.2.7 Simulação

A simulação é uma tecnologia utilizada para prever comportamentos de um sistema real, utilizando modelos físicos ou matemáticos para criar e projetar sistemas reais ou ilusórios. Este pilar agrega às indústrias uma redução de custos juntamente com a qualidade elevada de produtos (RODIČ, 2017).

Atualmente a simulação vem sendo utilizada no segmento de produtos, processos e materiais envolvendo a tecnologia 3D. Futuramente, o uso da simulação crescerá exponencialmente, utilizando dados em tempo real na missão de retratar o mundo físico em um modelo digital, incluindo máquinas, seres humanos e produtos (RODIČ, 2017; RÜSSMANN *et al.*, 2015). Esta tecnologia, de acordo com Jahangirian (2010), é a segunda mais utilizada no gerenciamento de processos e operações das indústrias, atuando também no setor de negócios.

Nos processos de produção da I4.0, a aplicação da simulação atuará na redução de falhas, tornando a tomada de decisões mais ágil e fácil, fazendo com que o tempo de inatividade de máquinas e dispositivos seja reduzido (RÜSSMANN *et al.*, 2015).

Uma das visões da I4.0 se baseia na criação de um *Digital Twin* (gêmeo digital) de setores das indústrias, fazendo com que todos os processos presentes na planta fabril sejam retratados em modelo digital para realizar testes virtuais de diversas configurações de procedimentos, permitindo melhorias ou alterações nos processos já utilizados, ou simplesmente incluindo novos processos (CEMERNEK; GURSCH; KERN, 2017). Para criar um *Digital Twin* das plantas industriais, necessita-se de uma vasta quantia de dados para análises e gerenciamento, utilizando para isto ferramentas de *Big Data*.

O *Digital Twin* e a simulação se relacionam através de modelagens realizadas pela simulação, fazendo com que os dados reais sejam combinados com os modelos virtuais. Com isso, pode-se realizar previsões de manutenção e produtividade baseadas nos dados reais em contraste com os virtuais (RODIČ, 2017).

#### 2.2.8 Robôs Autônomos

Após a Terceira Revolução Industrial, a implantação de robôs no chão de fábrica aumentou exponencialmente, simplesmente pelo fato destas máquinas realizarem atividades que não podem ser resolvidas tão facilmente pelo homem. De acordo com um levantamento realizado pelo Fórum Econômico Mundial, estimou-se um aumento de 2,4 milhões de robôs utilizados em ambientes fabris em 2018 (OZTEMEL; GURSEV, 2018).

Com a I4.0, os robôs se tornarão mais flexíveis e autônomos, interagindo entre si, cooperando e aprendendo com humanos, custando menos e realizando as tarefas designadas com inteligência, maestria e segurança. Através disso, incorporarão novas capacidades, automatizando a linha de produção por conta própria e dispensando supervisão, coordenando ações e tarefas que são inseguras ou desagradáveis para os operários (OZTEMEL; GURSEV, 2018; RÜSSMANN *et al.*, 2015; VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018).

Mediante os novos avanços na robótica, os seres humanos terão papel fundamental no suporte de robôs através da assistência técnica, necessitando de capacitação neste tipo de trabalho colaborativo para manter padrões de segurança e garantir resultados satisfatórios. A interação dos robôs autônomos com seres humanos nestas ocasiões é mais suave, possuindo natureza intuitiva para com o trabalhador, promovendo maior segurança na relação máquina-homem (AWAIS; HENRICH, 2013; HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Thoben, Wiesner e Wuest (2017) apontam que a colaboração entre trabalhadores humanos e robôs inteligentes é um ponto chave da I4.0. Nas indústrias tradicionais, o ser humano fica geralmente limitado a adentrar no espaço de trabalho dos robôs em operação para garantir a devida segurança. Com robôs colaborativos, chamados de *Cobots*, o espaço de trabalho das máquinas robóticas é todo repensado para o homem poder trabalhar em conjunto com os robôs no mesmo espaço, sem correr riscos de acidentes de trabalho, fazendo com que homem e máquina estejam divididos no mesmo ambiente de trabalho com toda a segurança necessária.

### 2.2.9 Sistemas de Integração Horizontal e Vertical

Atualmente grande parte dos sistemas de TI estão pouco ou quase nada integrados. Atividades industriais possuem apenas uma conexão mínima com o chão de fábrica, fazendo com que empresas não estejam diretamente ligadas a seus processos, clientes e fornecedores. Entretanto, através da implantação da I4.0, as indústrias se associarão com os recursos e funções variadas devido a integração de dados e dispositivos (CPS) com o chão de fábrica, proporcionando uma cadeia de valores realmente automatizada (PEREIRA; ROMERO, 2017; RÜSSMANN *et al.*, 2015). Na I4.0, a conexão automatizada entre dispositivos e processos fabris é relacionada à integração, classificada em horizontal e vertical.

A integração horizontal digitaliza toda a linha de processos industriais, realizando a troca de dados e intercâmbio de informações em toda a cadeia de valor com clientes e fornecedores, integrando diversos sistemas, recursos e processos dentro das fábricas como também entre outras fábricas, entregando ótimos serviços aos clientes. Por outro lado, a integração vertical relaciona a integração de tais elementos presentes nas fábricas em diferentes níveis hierárquicos internos de

produção, desde o chão de fábrica até os executivos e diretores (I-SCOOP, 2017; PEREIRA; ROMERO, 2017).

Segundo Kagermann *et al.* (2013, p. 5), “os sistemas de fabricação inteligente são conectados em rede verticalmente aos processos de negócios das fábricas, e conectados horizontalmente a outras redes de valor que podem ser gerenciadas em tempo real”. Este gerenciamento é realizado a partir do instante em que uma encomenda de produto é efetuada, percorrendo até o seu despacho.

À vista disso, a conexão horizontal e vertical entre os sistemas proporcionará às indústrias uma elevada produtividade e maior economia nos custos de produção, a partir de análises e monitoramento cada vez melhores (I-SCOOP, 2017).

### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Este capítulo descreve a metodologia da pesquisa, que assume finalidade exploratória e abordagem predominantemente qualitativa (GIL, 2008).

O procedimento adotado é a pesquisa bibliográfica, desenvolvida na forma de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) (GOHR *et al.*, 2013), seguida por um estudo multicase (MIGUEL, 2007).

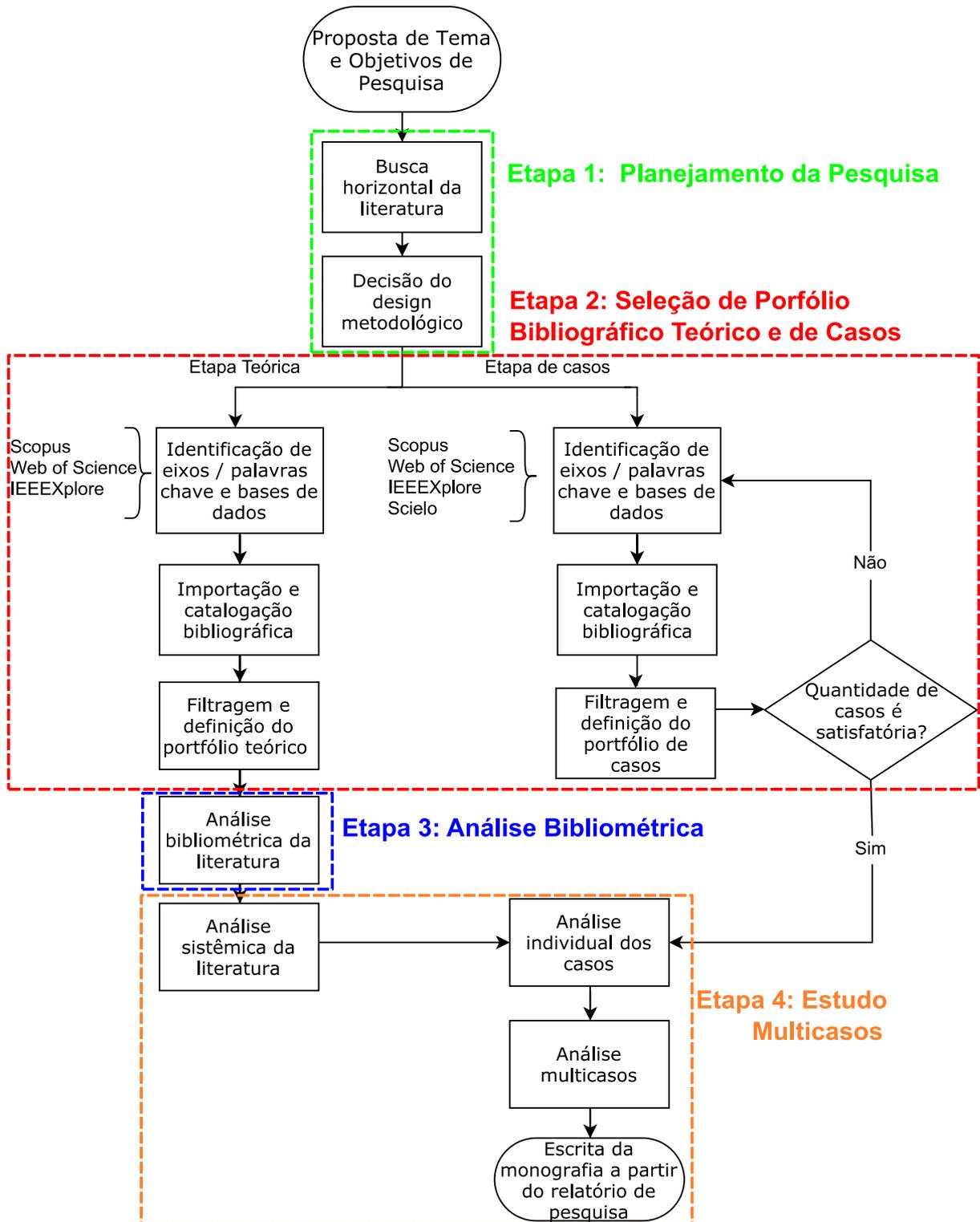
#### 3.1 ETAPAS DA PESQUISA

Na realização de uma pesquisa, deve-se previamente estabelecer um planejamento apontando as etapas importantes para obtenção dos resultados almejados.

A pesquisa bibliográfica consistiu na análise de artigos científicos publicados em periódicos indexados ou conferências, relatórios organizacionais e acervo legal ou regulatório nacional.

Uma RSL foi realizada para a seleção das bibliografias, passando pela seleção de portfólio e realização das análises bibliométrica e de conteúdo, enfocando as tecnologias no âmbito da Indústria 4.0.

A Figura 5 apresenta um fluxograma que ilustra as etapas de pesquisa.



**Figura 5. Fluxograma de pesquisa.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

As etapas da pesquisa apresentadas na Figura 5 foram necessárias para atingir os objetivos especificados na seção 1.1.2, sendo expostas detalhadamente na sequência.

### 3.1.1 Etapa 1: Planejamento da Pesquisa

A primeira etapa do trabalho consistiu em uma busca genérica, de abordagem exploratória, com o objetivo de levantar informações e questionamentos para um melhor alinhamento de ideias, como também para delimitar a pesquisa. Nesta busca, documentos alinhados ao tema da pesquisa, como artigos, monografias, *sites* da internet, revistas, jornais e relatórios, foram utilizados para a realização da RSL.

### 3.1.2 Etapa 2: Seleção de Portfólio Bibliográfico Teórico e de Casos

A definição de um portfólio bibliográfico é importante para as etapas seguintes da pesquisa. Nesta etapa da pesquisa, os seguintes passos foram realizados:

a) *Escolha das bases de busca*. Para iniciar o procedimento de pesquisa, primeiro se fez a definição das bases de busca para compor os dados da pesquisa, sendo escolhidas as bases *Scopus*, *Web of Science* e *IEEEExplore*, por conterem um vasto acervo de documentos e serem as principais no ramo do conhecimento científico.

b) *Eixos de pesquisa e palavras-chave*. Depois de definir as bases de busca, o passo seguinte foi selecionar os eixos e palavras-chave para limitar as áreas relevantes à pesquisa. Os eixos de pesquisa e as palavras-chave selecionados estão expostos no Quadro 1. Como estratégia de pesquisa para um melhor aproveitamento das buscas, as associações das palavras-chave com os eixos de pesquisa foram feitas aplicando operadores *booleanos* como *AND* e *OR*.

<b>Eixos de Pesquisa e Palavras-Chave</b>	
<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>
<i>Industry 4.0</i>	<i>Cyberphysical System</i>
<i>Factory 4.0</i>	<i>Big Data Analytics</i>
<i>Company 4.0</i>	<i>Augmented Reality</i>
<i>Enterprise 4.0</i>	<i>Additive Manufacturing</i>
<i>Advanced Manufacturing</i>	<i>Cloud</i>
	<i>Cybersecurity</i>
	<i>Industrial Internet of Things</i>
	<i>Horizontal / Vertical System Integration</i>
	<i>Simulation</i>
	<i>Autonomous Robots</i>

**Quadro 1 – Eixos e Palavras-chave empregados na pesquisa.**  
**Fonte: Autoria Própria**

c) *Coleta de dados para compor o portfólio da pesquisa.* Estabelecidas as definições dos passos a) e b), parte-se para a seleção dos artigos para compor o portfólio teórico, introduzindo as associações de palavras-chaves nas bases de busca escolhidas, aplicando um filtro para retornar artigos apenas no período de 2011 a 2019. Os artigos selecionados foram importados para um programa de gerenciamento e catalogação bibliográfica, para melhor manipulação e seleção dos artigos.

d) *Exclusão de duplicados e filtragem de acordo com os objetivos da pesquisa.* Após a importação dos dados pelas bases definidas, se obteve um número total de 14941 artigos, conforme descreve a Tabela 1.

**Tabela 1 – Total de referências obtidas através da busca nas bases de dados.**

<b>Base de Dados</b>	<b>Total de Referências</b>
SCOPUS	7772
Web Of Science	4187
IEEEXplore	2982

**Fonte: Autoria Própria.**

A partir disso, fez-se os processos de filtragem, cujos critérios seguem parâmetros baseados nos objetivos da pesquisa, começando pela eliminação de referências duplicadas. Em seguida, todos os títulos foram lidos, bem como os

resumos dos artigos. Então, se fez uma leitura preliminar de cada artigo, restando 21 referências. O processo de aplicação de filtros para delimitar o conteúdo da pesquisa está exposto na Tabela 2.

**Tabela 2** – Total de referências após o processo de aplicação de filtros.

<b>Processos de filtragem</b>	<b>Total</b>
Geral	14941
Sem duplicados	9934
Após leitura de títulos	1494
Após leitura de resumos	118
Após leitura preliminar	21

Fonte: **Autoria Própria.**

e) *Processo de repescagem e definição do portfólio teórico final.* Após o processo de leitura preliminar, fez-se um levantamento para verificar a relevância dos autores contidos nas 21 referências. Portanto, se alguma referência de tais autores ficasse de fora no processo de leitura de resumos, a mesma entraria para uma lista de repescagem.

Para avaliar qual referência da lista de repescagem poderia ser reintegrada ao portfólio, se fez a leitura na íntegra de cada uma que entrou para a lista, para certificar o alinhamento do conteúdo com as ideias e objetivos estabelecidos. Com isso, 2 referências foram resgatadas, tendo um total de 23 referências. Estas 23 foram lidas integralmente para avaliar se estavam seguindo o critério da pesquisa, na qual resultou em 18 referências no total, definindo o portfólio teórico final.

f) *Seleção do portfólio da etapa de casos.* Na seleção de artigos para compor o portfólio de casos, fez-se uma nova pesquisa com a mesma metodologia expressa nos itens de a) a d), adicionando dois novos eixos de pesquisa: Setor Eletroeletrônico e Brasil. Também fora adicionado a base de busca brasileira SciELO, para garantir uma melhor aderência na pesquisa de casos brasileiros. O eixo *Simulation* foi retirado nesta etapa de busca por não agregar diretamente no processo da coleta de dados, o qual possui uma gama de aplicação muito ampla em comparação aos objetivos da pesquisa.

Portanto, a consulta às bases com os eixos e palavras-chave resultou em 2094 referências, evidenciadas na Tabela 3.

**Tabela 3** – Total de referências das bases de dados na etapa de casos.

<b>Base de Dados</b>	<b>Total de Referências</b>
SCOPUS	367
Web Of Science	147
IEEEExplore	1564
SciELO	16

Fonte: **Autoria Própria.**

Aplicando as etapas de filtragem expostas na Tabela 4, se obteve 13 artigos, os quais foram lidos integralmente.

**Tabela 4** – Total de referências após aplicar os processos de filtro na etapa de casos.

<b>Processos de filtragem</b>	<b>Total</b>
Geral	2094
Sem duplicados	1820
Após leitura de títulos	142
Após leitura de resumos	13

Fonte: **Autoria Própria.**

Após a leitura completa, dentre os 13 artigos, 5 atendiam aos requisitos da pesquisa da etapa de seleção dos casos: pertencer ao setor eletroeletrônico brasileiro e utilizar tecnologias referentes à Indústria 4.0. Estes 5 artigos foram selecionados para compor o portfólio de casos, tornando possível o desenvolvimento do estudo multicaseos.

### 3.1.3 Etapa 3: Análise Bibliométrica do Portfólio Teórico

Esta etapa visa investigar a composição do conhecimento científico relacionado com o tema em questão, através de um conjunto de métodos para avaliar a relevância do conteúdo da pesquisa utilizando-se de técnicas de análise quantitativa por meio de indicadores, verificando o alinhamento com os objetivos da pesquisa (LEITE FILHO, 2008; VILELA, 2012).

A análise bibliométrica realizada neste trabalho indicou quantitativamente, através de gráficos e tabelas, os dados do portfólio teórico relatado anteriormente no

processo de seleção. Os indicadores utilizados para esta análise foram por meio de relevância de veículo de publicação, reconhecimento científico, relevância de autores e incidência de palavras-chave, cujos resultados estão expostos no Capítulo 4.

#### 3.1.4 Etapa 4: Estudo Multicasos

A etapa do estudo multicasos decorre de uma pesquisa qualitativa, focando na ampliação de conhecimento do tema I4.0 no setor eletroeletrônico brasileiro. A escolha pelo estudo de casos múltiplos visa a comparação entre os casos, investigando semelhanças, distinções e correlações entre eles, corroborando com a pesquisa e seus métodos aqui empregados (MIGUEL, 2007).

Para a seleção dos casos, utilizou-se como preceito de escolha os elementos abordados no Capítulo 2 deste trabalho: os benefícios da I4.0, seus princípios de implantação e suas respectivas tecnologias consideradas como pilares. Tais elementos são resgatados na análise de conteúdo, sendo utilizados como critério de análise dos respectivos casos.

Na análise dos casos, os 5 casos selecionados, descritos como A, B, C, D e E, possuem aplicações de tecnologias 4.0 em diferentes categorias de atuação do setor eletroeletrônico brasileiro, permitindo analisar o andamento da nova revolução nas diversas áreas deste setor no Brasil.

## 4 RESULTADOS DA SELEÇÃO DO PORTFÓLIO TEÓRICO E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

O presente capítulo apresenta os resultados de seleção de portfólio teórico e análise bibliométrica obtidos através das etapas expostas no capítulo anterior.

### 4.1 RESULTADOS DA SELEÇÃO DO PORTFÓLIO TEÓRICO

Conforme já indicado, obteve-se um número final de 18 referências após a aplicação dos filtros. Estas referências, apresentadas no Quadro 2, constituem o portfólio teórico, no qual serão utilizadas posteriormente para a realização da análise bibliométrica.

<b>Portfólio Final</b>	
<b>A1</b>	BOYES, Hugh <i>et al.</i> The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. <i>Computers in Industry</i> , v. 101, p. 1-12, 2018.
<b>A2</b>	CEMERNEK, David; GURSCH, Heimo; KERN, Roman. Big data as a promoter of industry 4.0: Lessons of the semiconductor industry. In: 2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). IEEE, 2017. p. 239-244.
<b>A3</b>	FATORACHIAN, Hajar; KAZEMI, Hadi. A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. <i>Production Planning &amp; Control</i> , v. 29, n. 8, p. 633-644, 2018.
<b>A4</b>	HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: 2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS). IEEE, 2016. p. 3928-3937.
<b>A5</b>	JIANG, Changbin <i>et al.</i> Cyber physics system: a review. <i>Library Hi Tech</i> , 2018. <a href="https://doi.org/10.1108/LHT-11-2017-0256">https://doi.org/10.1108/LHT-11-2017-0256</a> .
<b>A6</b>	KANG, Hyoung Seok <i>et al.</i> Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. <i>International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology</i> , v. 3, n. 1, p. 111-128, 2016.
<b>A7</b>	LEZZI, Marianna; LAZOI, Mariangela; CORALLO, Angelo. Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework. <i>Computers in Industry</i> , v. 103, p. 97-110, 2018.
<b>A8</b>	MITTAL, Sameer <i>et al.</i> Smart manufacturing: characteristics, technologies and enabling factors. <i>Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture</i> , p. 1342-1361, 2017.
<b>A9</b>	NAVICKAS, V.; KUZNETSOVA, S. A.; GRUZAUSKAS, V. Cyber-physical systems expression in industry 4.0 context. <i>Financial and credit activity: problems of theory and practice</i> , v. 2, n. 23, p. 188-197, 2017.

- A10** OZTEMEL, Ercan; GURSEV, Samet. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, p. 1-56, 2018.
- A11** PEREIRA, A. C.; ROMERO, Fernando. A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, v. 13, p. 1206-1214, 2017.
- A12** RODIČ, Blaž. Industry 4.0 and the new simulation modelling paradigm. *Organizacija*, v. 50, n. 3, p. 193-207, 2017.
- A13** SISINNI, Emiliano *et al.* Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 14, n. 11, p. 4724-4734, 2018.
- A14** THOBEN, Klaus-Dieter; WIESNER, Stefan; WUEST, Thorsten. “Industrie 4.0” and smart manufacturing-a review of research issues and application examples. *International Journal of Automation Technology*, v. 11, n. 1, p. 4-16, 2017.
- A15** VAIDYA, Saurabh; AMBAD, Prashant; BHOSLE, Santosh. Industry 4.0—a glimpse. *Procedia Manufacturing*, v. 20, p. 233-238, 2018.
- A16** VIEIRA, A. A. C. *et al.* SETTING AN INDUSTRY 4.0 RESEARCH AND DEVELOPMENT AGENDA FOR SIMULATION-A LITERATURE REVIEW. *International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)*, v. 17, n. 3, 2018.
- A17** XU, Li Da; DUAN, Lian. Big data for cyber physical systems in industry 4.0: a survey. *Enterprise Information Systems*, v. 13, n. 2, p. 148-169, 2019.
- A18** ZHONG, Ray Y. *et al.* Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017.

---

**Quadro 2 – Portfólio final de conteúdo teórico.**

**Fonte: Autoria Própria.**

## 4.2 RESULTADOS DA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Aqui estão apresentados os resultados da análise quantitativa dos artigos presentes no portfólio teórico, para avaliar a importância destes na área do conhecimento científico. Portanto, fez-se o levantamento de relevância por veículo de publicação, reconhecimento científico por meio de citações e relevância dos autores dos documentos pertencentes ao portfólio teórico. Também fora feito um levantamento de incidências das palavras-chave dos artigos, para concretizar o alinhamento da pesquisa ao longo de suas etapas.

Há uma grande diversidade entre os veículos de publicação contidos no portfólio, em que, dos 18 documentos pertencentes ao portfólio, 4 foram publicados por dois veículos de publicação, sendo 2 documentos pela *Procedia Manufacturing* e 2 documentos pelo periódico *Computers in Industry*. Com isso, nota-se que o tema em questão envolve interesse de pesquisa em diversos veículos de publicação.

A Tabela 5 apresenta os artigos do portfólio teórico com maior reconhecimento científico através do levantamento do número de citações de cada artigo. Neste processo foi utilizada a ferramenta *Google Scholar* para verificar quantas citações possuía cada artigo até a consulta datada em 14 de abril de 2019. Este levantamento serve para visualizar, em um contexto geral, o nível de reconhecimento de cada artigo, em que, quanto maior for o número de citações, mais relevante é o artigo.

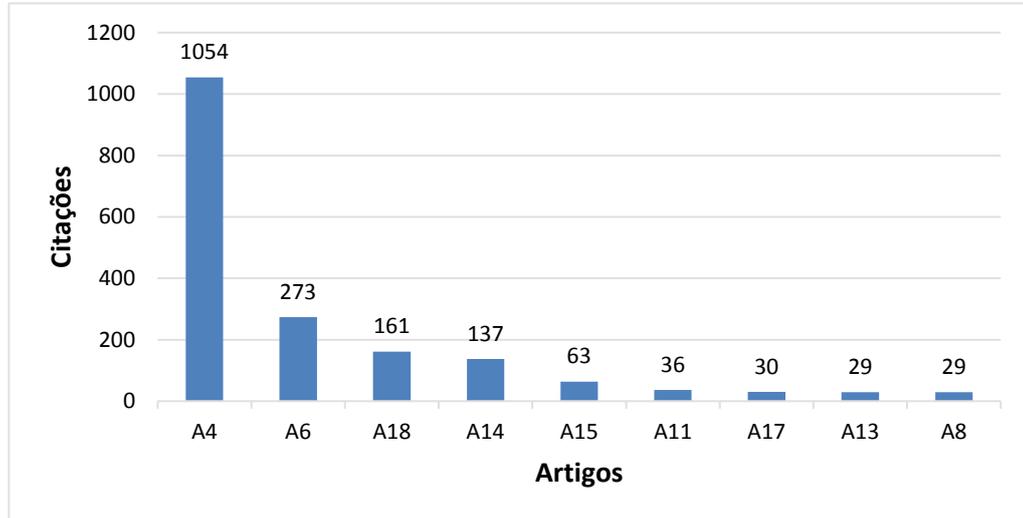
Como há no portfólio teórico artigos muito recentes e/ou de acesso restrito, vale ressaltar que no momento o processo de relevância de citações pode não ser muito adequado em pesquisas futuras deste tema, visto que tais assuntos são datados a partir de 2011, tomando grande proporção nos últimos 4 anos.

**Tabela 5** – Artigos do portfólio teórico classificados pela quantidade de citações.

<b>Artigo</b>	<b>Veículo de Publicação</b>	<b>Citações</b>
A4	<i>2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences</i>	1054
A6	<i>International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology</i>	273
A18	<i>Engineering</i>	161
A14	<i>International Journal of Automation Technology</i>	137
A15	<i>Procedia Manufacturing</i>	63
A11	<i>Procedia Manufacturing</i>	36
A17	<i>Enterprise Information Systems</i>	30
A13	<i>IEEE Transactions on Industrial Informatics</i>	29
A8	<i>Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture</i>	29
A12	<i>Organizacija</i>	20
A1	<i>Computers in Industry</i>	18
A3	<i>Production Planning &amp; Control</i>	12
A10	<i>Journal of Intelligent Manufacturing</i>	9
A2	<i>2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics</i>	4
A9	<i>Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice</i>	3
A7	<i>Computers in Industry</i>	1
A16	<i>International Journal of Simulation Modelling</i>	1
A5	<i>Library Hi Tech</i>	0

Fonte: Autoria Própria.

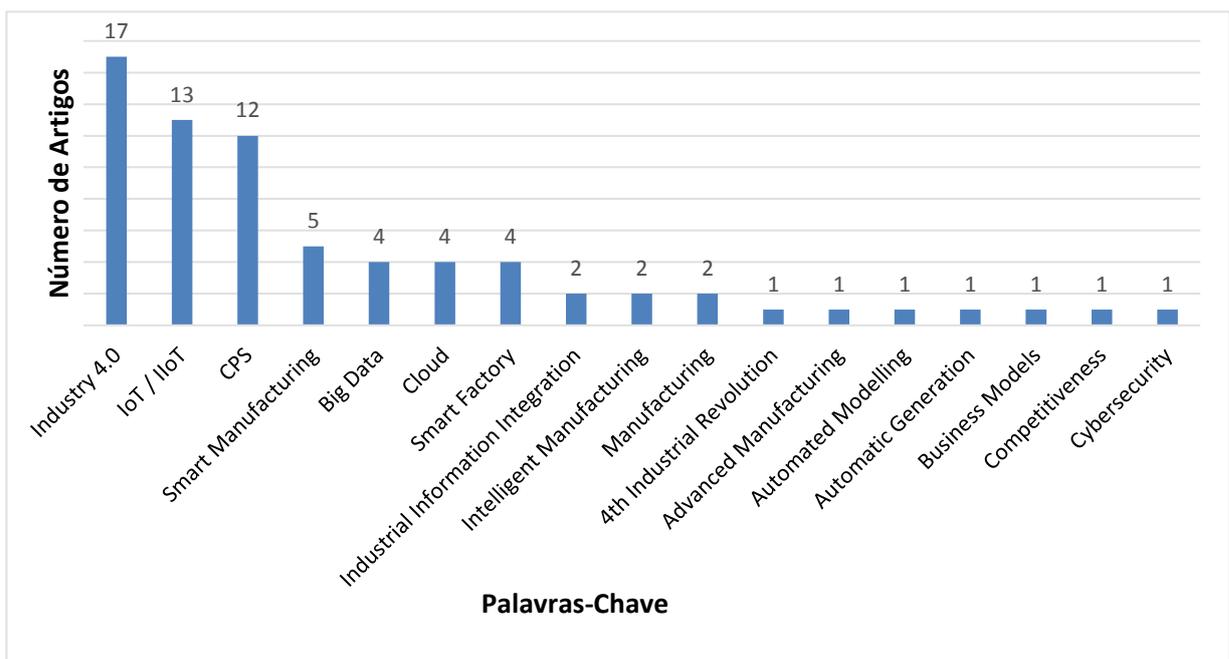
Para uma melhor análise da variação de citações, foi elaborado um gráfico de comparação entre as citações mais relevantes com representatividade de 96,4%, como apresenta a Figura 6.



**Figura 6. Artigos com representatividade de 96,4% das citações.**  
 Fonte: Autoria Própria.

O levantamento da colaboração entre autores do portfólio foi feito, porém apenas 1 autor dentre os 62 existentes possui mais de um artigo dentre os demais do portfólio, não sendo viável a documentação desta análise em formato de gráficos.

Por fim, para dar credibilidade aos processos iniciais da pesquisa realizada, um levantamento da incidência das palavras-chave dos artigos do portfólio foi realizado, garantindo o alinhamento da pesquisa, conforme indica a Figura 7.



**Figura 7. Incidência das palavras-chave nos documentos do portfólio teórico.**  
 Fonte: Autoria própria.

### 4.3 ANÁLISE DE CONTEÚDO

A análise de conteúdo aqui apresentada descreve os conteúdos provenientes dos documentos do portfólio teórico utilizados para a elaboração do Capítulo 2 deste trabalho. Esta análise auxilia na reinterpretação do que já fora abordado, oferecendo ao leitor uma compreensão mais acessível dos conteúdos em um nível superior se comparado com uma simples leitura (MORAES, 1999).

De acordo com Olabuenaga e Ispizua (1989), a análise de conteúdo é um método que envolve leitura e interpretação de documentos, em que estes são devidamente analisados para expandir o conhecimento sobre determinados aspectos.

Portanto, para facilitar a compreensão, as informações dos documentos do portfólio teórico foram reunidas em dois quadros para melhor visualização e comparação dos dados informativos de cada elemento, como pode ser visto no Quadro 3 e Quadro 4. Estes quadros são utilizados posteriormente para comparar os casos de estudo, confrontando informações obtidas na prática com as informações provenientes da literatura.

<b>Dimensão</b>	<b>Elemento</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ref. Artigos</b>
<b>Princípios</b>	Interconexão	Conexão entre sistemas industriais, permitindo troca e processamento de informações	A3, A4, A8, A13
	Virtualização / Transparência Informacional	Criação de um modelo virtual da situação real a partir de dados, permitindo monitoramento e tomada de decisão em sistemas	A4, A8
	Decisões Descentralizadas	Capacidade dos sistemas tomarem decisões sozinhos através da interconexão, executando trabalhos com mais autonomia	A4, A8
	Assistência Técnica	Assistência ao homem em diversas tarefas pelos sistemas	A4, A10
	Capacidade de Resposta em Tempo Real	Agilidade dos sistemas em coletar e conceder decisões instantaneamente	A8
	Modularidade	Alta flexibilidade na alteração repentina de tarefas da linha de produção	A8
<b>Benefícios</b>	Demanda Personalizada / Customização em Massa	Capacidade de realizar alterações específicas em qualquer etapa da produção	A3, A8, A10, A11, A14, A15
	Flexibilidade Produtiva	Agilidade em atender diversas demandas customizadas, permitindo uma tomada de decisões mais inteligente e responsável	A3, A8, A10, A13, A14, A15, A18
	Informação Compartilhada / Integração das Operações	Aumento na eficiência através de integrações entre sistemas	A3, A4, A8, A10, A15, A18
	Produtividade de Recursos Melhorada	Gerenciamento de recursos e energia mais automatizado	A3, A8, A10, A11, A14, A15, A17

**Quadro 3 – Análise de conteúdo do portfólio teórico sobre os princípios e benefícios da I4.0.**

Fonte: Autoria Própria.

Dimensão	Elemento	Descrição	Ref. Artigos
Tecnologias	Sistemas Ciber-Físicos	Conjunto de sistemas capaz de integrar o mundo físico com o virtual, monitorando dispositivos e máquinas	A1, A2, A3, A4, A5, A8, A10, A11, A14, A15, A17, A18
	IloT	Tecnologia capaz de conectar todos os dispositivos e máquinas através do mesmo protocolo de internet	A1, A3, A4, A5, A8, A10, A11, A13, A14, A15, A18
	<i>Big Data Analytics</i>	Conjunto de tecnologias capaz de armazenar, distribuir, gerenciar e analisar grandes volumes de dados	A2, A3, A8, A10, A14, A15, A17, A18
	Computação em Nuvem	Armazena os dados provenientes do <i>Big Data</i> em um servidor na internet	A3, A8, A10, A15, A17, A18
	Cibersegurança	Garante segurança digital nas organizações contra ataques virtuais	A7
	Manufatura Aditiva	Tecnologia que permite criar qualquer objeto através de impressões 3D	A8, A15
	Realidade Aumentada	Visualização do ambiente real juntamente com dados e opções virtuais através de dispositivos	A10, A15
	Simulação	Prevê comportamentos desejados e não desejados de sistemas reais através da projeção em ambiente virtual	A10, A12, A15, A16
	Robôs Autônomos	Robôs que interagem entre si, aprendendo com humanos e também uns com os outros	A10, A14, A15
	Sistemas de Integração Horizontal e Vertical	Sistemas que integram toda a linha de chão de fábrica em nível horizontal, integrando elementos verticalmente em nível hierárquico	A11, A15

Quadro 4 – Análise de conteúdo do portfólio teórico sobre tecnologias da I4.0.

Fonte: Autoria Própria.

Através do Quadro 3 pode-se notar que os benefícios da I4.0 são bastante abordados em documentos para retratar o patamar “4.0” ao leitor, juntamente com as definições e características dessa nova revolução.

Por outro lado, ao observar o Quadro 4, nota-se que as tecnologias mais citadas nos artigos são os CPS, IIoT, *Big Data* e Computação em Nuvem, pelo fato de serem praticamente essenciais para a implantação da I4.0 nos ambientes fabris, atuando diretamente na interconexão entre dispositivos e pessoas.

## 5 A INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR ELETROELETRÔNICO BRASILEIRO

O setor eletroeletrônico no Brasil é distribuído em diversas áreas industriais, como informática, automação industrial, componentes eletrônicos, telecomunicações, geração e distribuição de energia, entre outras. É um dos setores mais importantes para o crescimento do país, visto que suas produções – equipamentos, máquinas e dispositivos, por exemplo – são utilizadas nas operações de outros setores da economia brasileira (DE SOUSA JABBOUR; JABBOUR, 2012).

O setor eletroeletrônico está essencialmente relacionado com a I4.0, pois tal setor implementará mudanças nas empresas para se atingir o novo paradigma industrial por meio dos pilares tecnológicos, cujas tecnologias são provenientes do setor eletroeletrônico.

Este capítulo apresenta um estudo multicasos a partir da literatura, identificando casos de uso das tecnologias relacionadas à I4.0 no setor eletroeletrônico brasileiro, descrevendo-os.

Portanto, foram selecionados 5 casos para compor o portfólio de casos, como já fora descrito no Capítulo 3. Tais casos foram selecionados por satisfazer os critérios de busca: pertencer ao setor eletroeletrônico brasileiro e utilizar tecnologias associadas à I4.0.

### 5.1 ANÁLISE INDIVIDUAL DOS CASOS

Os casos selecionados são abordados individualmente na sequência, retratando suas características, o que usam de I4.0, seus resultados e perspectivas.

#### 5.1.1 Caso A – Monitoramento em uma empresa de fabricação de máquinas

A empresa em estudo é uma grande fabricante de máquinas e soluções relacionadas a *software*, e produz transformadores e reatores de potência de até 800kV, sendo localizada na região sul do Brasil. Um sistema de monitoramento foi

implementado em caráter experimental na planta de fabricação de transformadores para monitorar os tempos de produção em um processo de reaperto de reatores.

Em uma certa etapa de fabricação, a parte ativa dos reatores – núcleo de aço com enrolamentos conectados – passa por um processo de secagem com calor e vácuo. Este processo acarreta em mudanças dimensionais em determinados componentes isolantes, tornando-se necessário o reaperto da parte ativa para ajustar e prender os encaixes. Tal reaperto deve ser feito o mais rápido possível para não absorver umidade do ambiente, e se for excedido o limite de tempo de exposição, novos processos de secagem deverão ser realizados.

Nesta etapa de reaperto, dois a oito operadores trabalham simultaneamente em uma operação manual que pode levar de 4 a 16 horas. Portanto, monitorar o tempo de espera da operação de reaperto acaba se tornando importante não só para conferir se o tempo de exposição está dentro dos limites técnicos, mas também para diminuir as perdas do processo, aumentando a eficiência e reduzindo o tempo do ciclo produtivo. A falta de planejamento na operação de reaperto pode acarretar em horas gastas em atividades improdutivas.

O sistema de monitoramento de objetos utilizado neste caso foi desenvolvido para auxiliar na coleta de dados referente às operações dos sistemas de produção através de tecnologia RFID<sup>3</sup> baseada na Internet das Coisas (IoT), dispositivos sem fio, banco de dados localizado em servidor e uma interface de usuário, permitindo operações com atualizações e fornecendo informações e mobilidade em tempo real, ajudando os usuários nas tomadas de decisões e na redução de desperdícios.

Para isso, dois pontos de leitura foram utilizados para monitorar o tempo de valor agregado no produto, analisando as horas produtivas e improdutivas. As etiquetas RFID foram relacionadas aos operadores e seus tempos foram observados.

Portanto, foram 25 horas e 17 minutos de produtividade no reaperto de dois reatores, e 7 horas e 43 minutos de improdutividade, correspondendo a 23,4% do tempo gasto em reaperto. Desse tempo total de improdutividade, 60% foram gastos em almoços, 33% em descansos e lanches, 6% por falta de materiais ou ferramentas e 1% na reparação do aspirador utilizado durante a perfuração de isolamentos.

---

<sup>3</sup> RFID é uma tecnologia de identificação automática através da emissão de rádio frequência, permitindo identificar e acessar informações contidas em etiquetas RFID.

Para melhorar o processo de reaperto, uma solução momentânea seria remanejar os horários de almoço, como também planejar uma logística de materiais e ferramentas através de *checklists*, diminuindo consideravelmente o tempo de procura dos mesmos.

Estudos futuros no uso de etiquetas ativas e antenas de maior alcance de captura com banda ultralarga (UWB) podem oferecer novas experiências de aplicações deste sistema de monitoramento, visto que a limitação do leitor RFID é a sua faixa de leitura.

### 5.1.2 Caso B – Sistema de manutenção e operação em uma usina hidrelétrica

Este caso apresenta o Sistema Integrado de Manutenção Preditiva e Operação – SIMPO – implantado na Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes, Amapá, em agosto de 2016 pela Eletronorte.

O SIMPO é uma ferramenta computacional capaz de gerar diagnósticos de falhas em tempo real, dando suporte aos operadores da área de manutenção e operação nas tomadas de decisões da usina para garantir um fornecimento de energia elétrica seguro e de alta qualidade. Este sistema está patenteado pela Eletronorte, feito a partir de tecnologias e conceitos da Indústria 4.0, como computação em nuvem, IoT, CPS e manutenção preditiva.

Através do modo de operação *online*, a equipe de manutenção recebe sugestões de diagnósticos de falhas e defeitos, permitindo uma tomada de decisão mais segura pelos operadores que possuem uma ferramenta computacional para tomadas de decisões em tempo real, e cada decisão tomada por um operador é publicada para todos os clientes das interfaces gráficas conectadas. O SIMPO foi implantado em um servidor virtual na cidade de Brasília, acessando remotamente a rede de comunicação de Coaracy Nunes, obtendo as informações de operação e as etiquetas de instrumentação, armazenando-as na base de dados do sistema.

O sistema SIMPO tem uma alta taxa de sucesso nas tomadas de decisões, com aproximadamente 90% de acerto. Permite treinamento e reciclagem da equipe técnica envolvida nas atividades de manutenção e operação da usina, aumentando consideravelmente a qualidade da tomada de decisão. Como tal sistema é totalmente

reconfigurável, pode-se monitorar qualquer equipamento que disponibilize dados para medição, como temperatura, pressão, tensão, potência, etc.

Atualmente, a Eletronorte está implementando este sistema em outras unidades geradoras, como no caso do Parque Eólico no Rio Grande do Norte, que terá um novo sistema SIMPO para atuar na manutenção, operação, supervisão e monitoramento remoto desta usina eólica.

### 5.1.3 Caso C – Monitoramento de segurança de barragem em uma usina hidrelétrica

Um sistema piloto de monitoramento de estruturas de barragens foi desenvolvido e instalado na Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta (também chamada de Usina Hidrelétrica Porto Primavera). Localizada em São Paulo, é considerada uma usina de grande porte possuindo 14 unidades geradoras e pertence à CESP – Companhia Energética de São Paulo, com 1.540 MW de potência instalada.

A barragem de Porto Primavera possui 10,4 km de extensão e aproximadamente 2.500 instrumentos de auscultação civil<sup>4</sup> que monitoram a estabilidade estrutural dos elementos, mostrando sinais de deterioração através dos anos de operação; e avaliam a deformação da estrutura ocasionada pelas tensões mecânicas resultantes de variações climáticas e hidrológicas.

Ao adaptar transdutores nos variados tipos de instrumentação civil, pode-se digitalizar as medições através de dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs) para torná-las disponíveis nas redes de comunicação de dados, criando assim um sistema computacional distribuído com um vasto número de IEDs espalhados geograficamente por toda a região das barragens de terra e de concreto.

Portanto um sistema digital foi adaptado na usina de Porto Primavera para atender as necessidades de monitoramento de aproximadamente 2.500 instrumentos de auscultação civil utilizando a IoT e suas extensões, como o protocolo de comunicação XMPP para intercâmbio de mensagens entre IEDs e seus respectivos transdutores.

---

<sup>4</sup> Instrumentos de auscultação civil são equipamentos instalados nas estruturas de barragens que permitem rastrear as forças mecânicas que resultam em efeitos estruturais, como deslocamentos, elevações, etc.

O protocolo de comunicação XMPP atua na troca de dados instantânea em sistemas de mensagens utilizando uma arquitetura cliente-servidor em redes de sensores inteligentes. Possui fatores importantes que o tornam extremamente viável: segurança, no qual qualquer servidor XMPP pode ser isolado de uma rede pública; baixo custo de implementação; descentralizado, permitindo que qualquer indivíduo ou organização execute e controle seu próprio servidor XMPP; extensível, pode-se criar outras funcionalidades através de novas camadas; flexível, atuando em serviços de mensagem instantânea, gerenciamento de rede, organização de conteúdo, monitoramento remoto do sistema, entre outros; e diversidade, em que diversas empresas e projetos *open source* utilizam XMPP em seus serviços, permitindo a comunicação em tempo real.

O sistema instalado em Porto Primavera possui uma arquitetura de *software* composta por um servidor XMPP e diversos clientes XMPP instalados nos IEDs próximos aos sensores. O servidor XMPP fica responsável por gerenciar o protocolo, identificar o cliente e transmitir dados, e o cliente XMPP processa os dados coletados dos sensores. O protocolo XMPP possibilita a comunicação horizontal, em que clientes interrogam e coletam dados de outros clientes, armazenando os dados em um banco de dados, além de permitir interoperabilidade com protocolos herdados, atender requisitos de segurança e suportar comunicações em tempo real.

Em um teste inicial, sensores foram instalados e conectados a IEDs em diferentes pontos para monitorar o deslocamento dos blocos estruturais da barragem e permitir a comunicação de um cliente XMPP com os IEDs em consultas periódicas, convertendo sinais elétricos em dados de engenharia, armazenando-os em um banco de dados que pode ser visualizado pela CESP em sua rede privada.

Desenvolvimentos futuros deste sistema de monitoramento podem estar na troca de mensagens que contenham informações de localização do sensor, auxiliando no árduo monitoramento da barragem, que possui uma vasta área geográfica; e no envio de comandos aos IEDs, permitindo configurações de escala e unidades de medida, bem como na calibração remota dos sensores, entre outros diversos comandos.

#### 5.1.4 Caso D – Medição sem fio do consumo de energia elétrica em uma linha de fabricação industrial avançada

O sistema deste caso foi desenvolvido pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), juntamente com a Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ) e empresas parceiras, criado para realizar medições sem fio de energia elétrica em uma linha de fabricação industrial 4.0 educacional utilizando realidade aumentada, com a finalidade de apresentar soluções práticas para a indústria 4.0 no Brasil. Este sistema foi exibido na Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos (FEIMEC), considerada uma das maiores feiras da América Latina no setor industrial. Atualmente, esta linha de fabricação industrial avançada está disponível no laboratório de ensino da Escola SENAI Armando de Arruda Pereira de São Caetano do Sul, São Paulo.

A linha de fabricação foi projetada para produzir um kit de escritório personalizável, composto por uma lâmpada de mesa, um suporte de caneta, um suporte de celular e um suporte de clips, em que o cliente pode escolher três destes produtos, sendo a lâmpada um item obrigatório, podendo personalizá-la com o nome do cliente e da empresa. Esta linha de fabricação é dividida em seis módulos independentes que permitem alterações ao longo dos processos de fabricação.

O primeiro módulo consiste na demanda do produto pelo cliente, em que o próprio cliente personaliza o seu produto em uma interface homem-máquina, gerando a ordem de produção para os outros módulos, podendo rastrear a produção do seu pedido em tempo real. O segundo módulo faz a usinagem, personalizando as peças, realizando um controle de qualidade e gravando etiquetas de identificação RFID. No terceiro módulo os robôs personalizam a lâmpada de acordo com a demanda do cliente através de uma máquina de gravação a laser. O quarto módulo realiza a montagem do kit, utilizando ferramentas de impressão 3D e prensa pneumática. O quinto módulo realiza a embalagem dos produtos, fazendo a leitura das etiquetas RFID para identificação das peças, monitorando a linha através de rastreamento. O último módulo realiza a entrega, no qual um robô colaborativo pega e personaliza as caixas do quinto módulo, alocando-as em um *buffer* e entregando o produto diretamente nas mãos do cliente.

Esta linha de produção desenvolvida possui diversas tecnologias no contexto da I4.0, sendo: *Digital Twin*, comissionamento virtual, modularidade, integração entre CLPs e computadores industriais, rastreabilidade RFID, manufatura aditiva, robô colaborativo, integração entre máquinas e protocolos industriais diferentes, computação em nuvem e RA.

A medição e monitoramento de energia elétrica é realizada através do dispositivo *Schneider Power Tag*, um sensor de energia *wireless* conectado no disjuntor geral de cada módulo da linha de produção, modelo tripolar de 63A. Este dispositivo possui um protocolo privado de comunicação que fornece ao usuário informações de leitura, como tensão, corrente, potência, consumo de energia, fator de potência e desequilíbrio de fases, e envia alarmes de sobretensão e sobrecorrente, apresentando todos os dados em uma página incorporada no próprio *hardware* para realização de monitoramento *online*.

O dispositivo *Power Tag* também permite o monitoramento através de RA por meio da IoT, utilizando *QR Code*<sup>5</sup> nos ambientes de monitoramento fornecido pela própria *Schneider*. A leitura do *QR Code* pode ser realizada por uma câmera de tablet ou *smartphone*, que utiliza o código como referência para posicionar animações virtuais nas imagens reais, realizando leituras do consumo de energia de maneira virtual e em tempo real.

Possíveis estudos podem ser realizados na relação dos pontos de animação virtual, pois algumas imagens geradas pelo sistema de RA apresentaram erro de posicionamento devido à variação de ângulo de visão e iluminação dos ambientes. Este sistema é uma tendência no mercado de automação para os próximos anos, pois permite que o usuário antecipe possíveis problemas, economize energia e reduza custos através da coleta de dados pelo medidor de energia sem fio, utilizando apenas tablets ou *smartphones*.

#### 5.1.5 Caso E – Sistema de análise de dados para o setor elétrico brasileiro

No Brasil há atualmente 93 concessionárias de energia que estão em operação no sistema elétrico brasileiro fornecendo energia elétrica a consumidores. A

---

<sup>5</sup> **QR Code** é um código de barras em duas dimensões de resposta rápida que pode ser lido por *smartphones*, sendo muito utilizado em tecnologias de RA.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) é o órgão que regula as concessões de energia, garantindo ao consumidor um valor justo na cobrança do uso de energia e disponibilizando energia contínua e com qualidade.

Para poder monitorar mais facilmente os dados provenientes das 93 concessionárias, a ANEEL propôs um sistema de integração de dados denominado SIASE, que recebe, armazena, processa e analisa estes dados. Este sistema é baseado na web e utiliza conceitos *Big Data*, e pode receber mais de 80 milhões de registros/mês, possuindo dois módulos principais: preço da eletricidade e análise de dados. No tocante à regulação de preço da eletricidade, o sistema permite que a ANEEL defina regras de negócios de maneira dinâmica que influenciem diretamente nos preços de energia, podendo atualizá-los facilmente. No que se refere à análise de dados, fornece informações sobre o consumo de energia aos diferentes *stakeholders* e cidadãos comuns, gerando diferentes tipos de análises sobre o setor elétrico brasileiro.

Para validar a arquitetura proposta, foram simuladas condições reais de dados em uma concessionária com quase 8,8 milhões de unidades consumidoras, registrando 134 campos de informações de clientes para regulação de preços e análise de dados.

O módulo de análise de dados permite realizar uma ampla análise, podendo detectar fraudes no sistema para entender os motivos reais de aumento de preço nos últimos anos. Este modelo de análise de dados irá criar muitas oportunidades na área de exploração de dados em um futuro próximo, para melhor entender o mercado e suas dinâmicas.

## 5.2 ANÁLISE MULTICASOS

Os casos apresentados possuem aplicações de tecnologias da I4.0 em categorias distintas, nas áreas de fabricação de máquinas, operação e monitoramento de usinas, educação e regulação. Para realizar a análise multicasos neste contexto, os Quadros 3 e 4 da seção 4.3 de análise de conteúdo são rearranjados para confrontar os casos, resultando no Quadro 5 e Quadro 6, construídos a partir das informações disponíveis nos documentos de cada caso.

Dimensão	Elemento	Caso A	Caso B	Caso C	Caso D	Caso E
<b>Princípios</b>	Interconexão					
	Virtualização / Transparência Informacional					
	Decisões Descentralizadas				-	-
	Assistência Técnica				-	-
	Capacidade de Resposta em Tempo Real					-
	Modularidade			-		-
<b>Benefícios</b>	Demanda Personalizada / Customização em Massa	-	-			
	Flexibilidade Produtiva					-
	Informação Compartilhada / Integração das Operações					
	Produtividade de Recursos Melhorada		-			

Quadro 5 – Análise multicaseos envolvendo os princípios e benefícios da I4.0.

Fonte: Autoria Própria.

Dimensão	Elemento	Caso A	Caso B	Caso C	Caso D	Caso E
<b>Tecnologias</b>	Sistemas Ciber-Físicos	-		-	-	-
	IIoT	RFID		Protoc. XMPP	RFID	
	<i>Big Data Analytics</i>		-			
	Computação em Nuvem					
	Cibersegurança	-	-			-
	Manufatura Aditiva	-	-			
	Realidade Aumentada	-	-	-	QR Code	
	Simulação	-	-	-	Digital Twin	-
	Robôs Autônomos	-	-		Cobots	
	Sistemas de Integração Horizontal e Vertical				-	
	OUTROS	-	Manutenção Preditiva	-	-	-

Quadro 6 – Análise multicaseos envolvendo as tecnologias da I4.0.

Fonte: Autoria Própria

Os espaços de cor branca no Quadro 5 e Quadro 6 significam que não há informações sólidas sobre o uso ou não dos elementos nos casos. Quando é especificado que não há uso algum de determinado elemento, o preenchimento dos espaços é na cor vermelha. Já os espaços em cinza indicam que há pouco/algum tipo de utilização de elementos. Nos espaços em verde o uso dos elementos nos casos é moderado/expressivo. Tais legendas auxiliam na discriminação do estudo multicasos, apontando o que cada caso utiliza ou não em sua organização.

Analisando o Quadro 5, pode-se notar o elemento Interconexão presente em todos os casos, bem como os demais elementos aplicados em quase todos, corroborando com a caracterização da Indústria 4.0, que relaciona tais elementos diretamente com suas características de implantação. O elemento Demanda Personalizada / Customização em Massa é uma exceção neste sentido, pois dentre os 5 casos abordados, apenas o Caso D indica sua aplicação, o qual apresenta uma linha de produção completa, desde o início de fabricação até a expedição.

Ao observar o Quadro 6 fica evidente o uso da tecnologia IIoT em todos os casos, assim como o *Big Data* e Computação em Nuvem, pois estas tecnologias, de acordo com a abordagem dada no Capítulo 2, são essenciais para a comunicação, coleta de dados e armazenamento entre dispositivos, máquinas e pessoas, sendo o ponto principal deste novo conceito de manufatura. O elemento Sistemas Ciber-Físicos não é citado diretamente entre os casos, porém, através das definições apresentadas na seção 2.1.2, pode-se afirmar, indiretamente, que os dispositivos/maquinários utilizados nos casos são sistemas ciber-físicos, pois podem se comunicar, realizar trocas de dados e interagir entre si, unindo o ambiente físico ao ambiente virtual através da Internet das Coisas.

Outro destaque importante está no Caso D, conforme já fora supracitado, que emprega diversas tecnologias e apresenta vários benefícios de I4.0 em uma linha de produção utilizada para realizar medições de consumo de energia elétrica remotamente, podendo analisar na prática o real uso de tais elementos em um ambiente fabril, sendo este o único caso de estudo que envolve I4.0 em uma linha de produção.

Portanto, através deste estudo multicasos pode-se melhor compreender “como” e “em que” os benefícios, princípios e tecnologias da I4.0 são utilizados nas mais diversas categorias de aplicação. Cada área abordada neste estudo apresenta suas próprias aplicações e singularidades, enaltecendo a importância e versatilidade da I4.0 no futuro para garantir a competitividade de indústrias e organizações.

## 6 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo caracterizar a Indústria 4.0, bem como seus conceitos, princípios e tecnologias-chave, buscando evidenciar, à luz da literatura, casos de uso de tecnologias 4.0 no setor eletroeletrônico brasileiro através de um estudo multicase.

A pesquisa realizada para definir o portfólio bibliográfico teórico é de grande valia para o meio acadêmico, pois apresenta, através das análises bibliométrica e de conteúdo, informações quantitativas relacionadas a periódicos relevantes, reconhecimento científico dos artigos e incidência de palavras-chave; e informações qualitativas sobre as tecnologias, princípios e benefícios da I4.0. Estas informações foram importantes para posteriormente realizar a pesquisa da etapa de casos e definir o segundo portfólio do trabalho, buscando casos de estudo que envolvem os elementos abordados na análise de conteúdo.

Os casos utilizados para análise foram selecionados com base em duas premissas: pertencer ao setor eletroeletrônico brasileiro e utilizar tecnologias associadas à I4.0. Portanto 5 casos de categorias diferentes foram selecionados, relacionados com as áreas de fabricação de máquinas, operação e monitoramento de usinas hidrelétricas, educação e regulação do setor elétrico. Os casos foram desenvolvidos tanto por empresas privadas como órgãos públicos, concluindo que o interesse pelo tema desta pesquisa é de ambos os setores do país, privado e público.

Os objetivos específicos apresentados na seção 1.1.2 são retomados para apresentar os aspectos conclusivos do trabalho:

- Na seção 2.1 materializa-se a caracterização da Indústria 4.0 com os principais elementos, caracterizando-se principalmente pela integração entre os mundos físico e digital, retratando a interoperabilidade no setor industrial. Foram abordados os princípios de implantação e os benefícios que este novo paradigma industrial proporciona na manufatura.
- As tecnologias associadas à I4.0 são abordadas na seção 2.2, apontando suas principais definições e características com relação à I4.0, consideradas como os pilares para uma implantação eficaz da I4.0 nas organizações.

- Foram identificados 5 casos reais de empresas e órgãos públicos brasileiros que utilizam tecnologias 4.0 no setor eletroeletrônico, em que, a partir destes, pôde-se realizar um estudo multicaseos.
- Através dos casos identificados realizou-se o estudo multicaseos, que consistiu na coleta de informações que retratam as características de cada caso, o que cada um utilizou de conceito 4.0, os seus resultados a partir de tal uso e suas perspectivas sobre os resultados. Tais informações foram organizadas em quadros para uma melhor compreensão e análise dos casos estudados.

Algumas limitações de pesquisa foram encontradas ao longo do desenvolvimento do trabalho. Pelo fato do tema em questão ser muito recente, algumas abordagens não apresentavam uma teoria sólida sobre os assuntos estudados. Em virtude disso, foram encontrados poucos casos para análise, sendo alguns destes pouco detalhados em relação ao desenvolvimento do uso das tecnologias e como foram utilizadas realmente.

Acredita-se que este trabalho incentive novas pesquisas neste segmento, pois é um tema que está tomando grandes proporções no âmbito industrial global. Como sugestão, pesquisas futuras poderão investigar casos de uso relacionados com a I4.0 na região sudoeste do Paraná para retratar a situação atual das empresas e organizações desta região sobre o que e como utilizam de I4.0, apresentando sugestões e ideias de implantação de tecnologias e conceitos 4.0 para as empresas e organizações do sudoeste paranaense que almejam alcançar este nível de manufatura em suas organizações.

## REFERÊNCIAS

- ABOWD, G. D. et al. Context-aware computing [Guest Editors' Intro.]. **IEEE Pervasive Computing**, v. 1, n. 3, p. 22–23, 2002.
- AWAIS, M.; HENRICH, D. **Human-robot interaction in an unknown human intention scenario**. 2013 11th International Conference on Frontiers of Information Technology. **Anais...**2013
- BAGHERI, B. et al. Cyber-physical systems architecture for self-aware machines in industry 4.0 environment. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, n. 3, p. 1622–1627, 2015.
- BCMCOM. **Industry 4.0 technologies for new trends and developments for industry delivering quality**. Disponível em: <[http://www.bcmcom.com/solutions\\_application\\_industry40.htm](http://www.bcmcom.com/solutions_application_industry40.htm)>. Acesso em: 15 maio. 2019.
- BENIAS, N.; MARKOPOULOS, A. P. **A review on the readiness level and cyber-security challenges in Industry 4.0**. 2017 South Eastern European Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM). **Anais...**2017
- BOYES, H. et al. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. **Computers in Industry**, v. 101, p. 1–12, out. 2018.
- BROUSELL, D. R.; MOAD, J. R.; TATE, P. The next industrial revolution: how the internet of things and embedded, connected, intelligent devices will transform manufacturing. **Frost & Sullivan, A Manufacturing Leadership White Paper**, 2014.
- CAMPBELL, I.; BOURELL, D.; GIBSON, I. Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age. **Rapid prototyping journal**, v. 18, n. 4, p. 255–258, 2012.
- CEMERNEK, D.; GURSCH, H.; KERN, R. **Big Data as a Promoter of Industry 4.0: Lessons of the Semiconductor Industry**. 2017 IEEE 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL INFORMATICS (INDIN). **Anais...**: IEEE International Conference on Industrial Informatics INDIN.345 E 47TH ST, NEW YORK, NY 10017 USA: IEEE, 2017
- DE SOUSA JABBOUR, A. B. L.; JABBOUR, C. J. C. Lançando luzes sobre a gestão de operações do setor eletroeletrônico brasileiro. **Revista de Administração Pública-RAP**, v. 46, n. 3, p. 817–840, 2012.
- FATORACHIAN, H.; KAZEMI, H. A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. **Production Planning and Control**, v. 29, n. 8, p. 633–644, 2018.
- FERRARI, M. **Smart manufacturing using AR in the era of Industry 4.0**. Disponível em: <<http://www.inglobetechnologies.com/smart-manufacturing-ar-industry-4-0/>>. Acesso em: 25 ago. 2019.

FLATT, H. et al. **Analysis of the Cyber-Security of industry 4.0 technologies based on RAMI 4.0 and identification of requirements**. 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). **Anais...2016**

GARDAN, J. Additive manufacturing technologies: State of the art and trends. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 10, p. 3118–3132, 2016.

GENOVESE, A. et al. Exploring the challenges in implementing supplier environmental performance measurement models: a case study. **Production Planning & Control**, v. 25, n. 13–14, p. 1198–1211, 2014.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIUSTO, D. et al. **The internet of things: 20th Tyrrhenian workshop on digital communications**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2010.

GOHR, C. F. et al. Um método para a revisão sistemática da literatura em pesquisas de engenharia de produção. **XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, n. ii, p. 1–18, 2013.

HALLER, S.; KARNOUSKOS, S.; SCHROTH, C. **The internet of things in an enterprise context**. Future Internet Symposium. **Anais...2008**

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios**. 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). **Anais...IEEE**, jan. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7427673/>>

HUXTABLE, J.; SCHAEFER, D. On Servitization of the Manufacturing Industry in the UK. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 46–51, 2016.

I-SCOOP. **Industry 4.0: the fourth industrial revolution – guide to Industrie 4.0**. Disponível em: <<https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>>. Acesso em: 28 ago. 2019.

IEDI - INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades para o Brasil**. 797. ed. São Paulo: Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, 2017.

JAHANGIRIAN, M. et al. Simulation in manufacturing and business: A review. **European Journal of Operational Research**, v. 203, n. 1, p. 1–13, 2010.

JANSEN, C.; JESCHKE, S. Mitigating risks of digitalization through managed industrial security services. **AI & SOCIETY**, v. 33, n. 2, p. 163–173, 2018.

JIANG, C. et al. Cyber physics system: a review. **Library Hi Tech**, p. LHT-11-2017-0256, 29 nov. 2018.

KAGERMANN, H. et al. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group**. [s.l.] Forschungsunion, 2013.

KANG, H. S. et al. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 3, n. 1, p. 111–128, 23 jan. 2016.

KUPFER, D. **Indústria 4.0 Brasil**. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/opiniao/4661797/industria-40-brasil>>. Acesso em: 9 set. 2018.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H.-A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing letters**, v. 3, p. 18–23, 2015.

LEITE FILHO, G. A. Padrões de produtividade de autores em periódicos e congressos na área de contabilidade no Brasil: um estudo bibliométrico. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 12, n. 2, p. 533–554, 2008.

LI, F. et al. How smart cities transform operations models: a new research agenda for operations management in the digital economy. **Production Planning & Control**, v. 27, n. 6, p. 514–528, 2016.

LU, X. et al. **Privacy information security classification study in internet of things**. 2014 International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things. **Anais...2014**

MANYIKA, J. Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. [http://www.mckinsey.com/Insights/MGI/Research/Technology\\_and\\_Innovation/Big\\_data\\_The\\_next\\_frontier\\_for\\_innovation](http://www.mckinsey.com/Insights/MGI/Research/Technology_and_Innovation/Big_data_The_next_frontier_for_innovation), 2011.

MDIC - MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS; MCTIC - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Perspectivas de Especialistas Brasileiros sobre a Manufatura Avançada no Brasil: um relato de workshops realizado em sete capitais brasileiras em contraste com as experiências internacionais. Brasília, p. 68, 2016.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007.

MITTAL, S. et al. Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 233, n. 5, p. 1342–1361, 26 abr. 2019.

MORAES, R. Análise de conteúdo. **Revista Educação, Porto Alegre**, v. 22, n. 37, p. 7–32, 1999.

NAVICKAS, V.; KUZNETSOVA, S. A.; GRUZAUSKAS, V. CYBER-PHYSICAL SYSTEMS EXPRESSION IN INDUSTRY 4.0 CONTEXT. **FINANCIAL AND CREDIT ACTIVITY-PROBLEMS OF THEORY AND PRACTICE**, v. 2, n. 23, p. 188–197, 2017.

OLABUENAGA, J. R.; ISPIZUA, M. A. La descodificación de la vida cotidiana. Métodos de investigación cualitativa. **Bilbao: Universidad de Deusto**, 1989.

OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, 24 jul. 2018.

PEREIRA, A. C.; ROMERO, F. A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. **Procedia Manufacturing**, Procedia Manufacturing. v. 13, p. 1206–1214, 2017.

REN, A. et al. **Cyber security in smart manufacturing: Survey and challenges**. (C. E. Nembhard H.B. Coperich K., Ed.)67th Annual Conference and Expo of the Institute of Industrial Engineers 2017. **Anais**...Institute of Industrial Engineers, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85031005698&partnerID=40&md5=a94b1d17ec0257e68aee3498dd2c0435>>

RODIČ, B. Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm. **Organizacija**, v. 50, n. 3, p. 193–207, 1 ago. 2017.

RÜSSMANN, M. et al. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. **The Boston Consulting Group**, p. 20, 2015.

SAXENA, V. K.; PUSHKAR, S. **Cloud computing challenges and implementations**. 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT). **Anais**...2016

SHARIATZADEH, N. et al. Integration of digital factory with smart factory based on Internet of Things. **Procedia CIRP**, v. 50, p. 512–517, 2016.

SISINNI, E. et al. Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 14, n. 11, p. 4724–4734, nov. 2018.

TECHAMERICA FOUNDATION'S FEDERAL BIG DATA COMMISSION. Demystifying Big Data: a practical guide to transforming the business of government. **Washington, DC**, 2012.

THOBEN, K.-D.; WIESNER, S.; WUEST, T. “Industrie 4.0” and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. **International Journal of Automation Technology**, v. 11, n. 1, p. 4–16, 5 jan. 2017.

UNIDO. Opportunities and Challenges of the New Industrial Revolution for Developing Countries and Economies in Transition. **Department of Trade, Investment and Innovation**, p. 20, 2016.

VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 – A Glimpse. **Procedia Manufacturing**, v. 20, p. 233–238, 2018.

VIEIRA, A. A. C. et al. Setting an Industry 4.0 Research and Development Agenda for Simulation – a Literature Review. **International Journal of Simulation Modelling**, v. 17, n. 3, p. 377–390, 15 set. 2018.

VILELA, L. O. Aplicação do PROKNOW-C para seleção de um portfólio bibliográfico e análise bibliométrica sobre avaliação de desempenho da gestão do conhecimento. **Revista Gestão Industrial**, v. 8, n. 1, p. 1–17, 2012.

WEF. **The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution**. Suíça: World Economic Forum, 2016.

WEF. **Readiness for the Future of Production Report 2018**. Suíça: World Economic Forum, 2018.

XU, L. DA; DUAN, L. Big data for cyber physical systems in industry 4.0: a survey. **Enterprise Information Systems**, v. 13, n. 2, p. 148–169, 7 fev. 2018.

ZHANG, Q.; CHENG, L.; BOUTABA, R. Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. **Journal of internet services and applications**, v. 1, n. 1, p. 7–18, 2010.

ZHONG, R. Y. et al. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616–630, out. 2017.