

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JULIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA BAURU - FEB**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**FERNANDO LIMA DA SILVA**

**IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS DESAFIOS DA ESTRATÉGIA INDÚSTRIA 4.0**  
**NA PERSPECTIVA DE FORNECEDORES BRASILEIROS DE TECNOLOGIA.**

Bauru  
2019

**FERNANDO LIMA DA SILVA**

**IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS DESAFIOS DA ESTRATÉGIA INDÚSTRIA 4.0  
NA PERSPECTIVA DE FORNECEDORES BRASILEIROS DE TECNOLOGIA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia de Bauru da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gestão de Operações e Sistemas

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gladys Dorotea Cacsire Barriga**

Bauru  
2019

S586i Silva, Fernando Lima da  
Identificação e análise dos desafios da estratégia indústria 4.0 na perspectiva de fornecedores brasileiros de tecnologia. / Fernando Lima da Silva. -- Bauru, 2019  
212 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, Bauru  
Orientadora: Gladys Dorotea Cacsire Barriga

1. Estratégia de produção. 2. Indústria de transformação. 3. Surveys. 4. Indústria 4.0. 5. Sistemas ciber-físicos. I. Título.

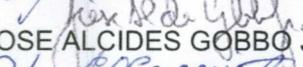
Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

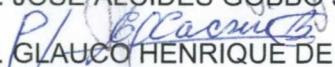
Essa ficha não pode ser modificada.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE FERNANDO LIMA DA SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 30 dias do mês de agosto do ano de 2019, às 14:00 horas, no(a) Anfiteatro da Diretoria Técnica de Informática da FEB, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. GLADYS DOROTEA CACSIRE BARRIGA - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. JOSE ALCIDES GOBBO JUNIOR do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. GLAUCO HENRIQUE DE SOUSA MENDES do(a) Departamentò de Engenharia de Produção / Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de FERNANDO LIMA DA SILVA, intitulada **IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS DESAFIOS DA ESTRATÉGIA INDÚSTRIA 4.0 QUE IMPACTAM NA ADOÇÃO DAS TECNOLOGIAS, DESEMPENHO DA INDÚSTRIA E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO BRASIL**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Profa. Dra. GLADYS DOROTEA CACSIRE BARRIGA

  
Prof. Dr. JOSE ALCIDES GOBBO JUNIOR

  
Prof. Dr. GLAUCO HENRIQUE DE SOUSA MENDES

PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A COMISSÃO EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DO ALUNO: **FERNANDO LIMA DA SILVA**

DE: "IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS DESAFIOS DA ESTRATÉGIA INDÚSTRIA 4.0 QUE IMPACTAM NA ADOÇÃO DAS TECNOLOGIAS, DESEMPENHO DA INDÚSTRIA E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO BRASIL"

PARA:

*Identificação e análise de desafios da estratégia indústria 4.0 na perspectiva de fornecedores brasileiros de tecnologia*

Bauru, 30 de agosto de 2019.

  
Prof. Dra. Gladys Dorotea Cacsire Barriga  
Orientadora

Aos meus pais que me mostraram o único caminho a se escolher, o da educação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Ataliba Lima da Silva e Dercy Martins Soutto da Silva, pelo total apoio durante todo o período de pesquisa e principalmente, por desde muito cedo ter me ensinado a importância dos estudos.

A minha irmã Gislaine Lima da Silva, por ter sido a primeira mestra de nossa família e foi motivo de muita inspiração.

Ao meu irmão e sócio Alessandro Juliano da Silva, por toda a sua compreensão no momento que eu precisei me ausentar de nossas atividades de trabalho.

A minha namorada Karina Gonçalves Machado por toda a sua compreensão quando eu estive ausente dedicado ao programa e quando mesmo que presente concentrava esforços em realizar as atividades de pesquisa.

Aos especialistas das empresas participantes por cederem o seu tempo contribuindo com a ciência nacional.

Aos professores do DEP por contribuírem na minha formação e aos funcionários da FEB, particularmente os do DEP e Seção de Pós-graduação.

Aos professores da banca Dr. José Alcides Gobbo Junior e o professor Dr. Glauco Henrique de Souza Mendes por fornecerem grandes contribuições para melhorias na pesquisa realizada.

Aos meus amigos que me acompanharam no esforço, apoiaram e torceram para que eu conseguisse chegar ao fim dessa etapa com sucesso.

Aos colegas de PPGEP que, por meio de intensa troca de experiências, apoiaram meu desenvolvimento pessoal e profissional.

A minha orientadora professora Dr. Gladys Dorotea Cacsire Barriga pelo apoio substancial no desenvolvimento desse trabalho.

“A coisa mais importante é não parar de questionar. Curiosidade tem sua própria razão de existir.”

Albert Einstein

## RESUMO

A indústria de transformação brasileira sofreu uma retração devido à crise econômica vivida recentemente pelo país, alcançando em 2015 uma taxa de crescimento negativa bastante expressiva. Mesmo com resultados positivos nos últimos dois anos, o setor apresenta uma recuperação lenta. A solução proposta para melhorar o desempenho industrial, e colaborar com o processo de desenvolvimento do país, que vem sendo adotado entre as principais estratégias no mundo, é a estratégia de adoção das tecnologias e princípios da Indústria 4.0 (I4.0), conhecida também como a quarta revolução industrial. Entretanto, para a implantação dessas tecnologias, a indústria deverá enfrentar uma série de desafios. Nesse sentido, esse trabalho tem o objetivo de identificar e analisar os desafios de adoção das tecnologias da I4.0 na indústria de transformação brasileira, através de uma pesquisa com os fornecedores de tecnologia da Indústria 4.0. Desenvolveu-se uma pesquisa empírica, por meio de um *survey*, considerando uma amostra de 34 fornecedores de tecnologias para a indústria. O questionário foi desenvolvido com base em uma revisão sistemática da literatura e envolveram perguntas abertas e perguntas de múltiplas escolhas com o uso da escala *likert*. A literatura apresenta como resultado uma tendência em estudos sobre os desafios técnicos em desenvolvimento de sistemas para tecnologia CPS (Sistemas Ciber-Físicos). No entanto, para o resultado da pesquisa empírica, as respostas abertas apresentam questões técnicas como a falta de infraestrutura de tecnologias de informação e comunicação além de segurança como os principais desafios brasileiros por meio de métodos estatísticos, uma análise das medidas descritivas foi realizada identificando segurança e integridade de dados como sendo o desafio mais importante. Através de uma técnica de agrupamento multivariada, foram identificados quatro grupos de respondentes que atribuíram questões de segurança e qualificação como sendo os mais importantes. Os desafios devem ser superados para o Brasil obter uma indústria competitiva. Conseguir adotar as tecnologias pode melhorar o desempenho industrial e consequente desenvolvimento econômico. Para isso os desafios mais importantes do país foram identificados, bem como as soluções encontradas na literatura que estão apresentadas nesse trabalho. Angariar investimentos externos e encontrar tecnologias já desenvolvidas pode ser o primeiro passo para adoção da I4.0.

Palavras-chave: Estratégia de Produção; Indústria de transformação; Surveys; Indústria 4.0; Sistemas ciber-físicos.

## ABSTRACT

The Brazilian manufacturing industry suffered a retraction due to the economic crisis recently experienced by the country, reaching in 2015 a very significant negative growth rate. Even with positive results in the last two years, the sector has shown a slow recovery. The proposed solution to improve industrial performance and to collaborate with the country's development process, which has been adopted among the main strategies in the world, is the strategy of adoption of technologies and principles of Industry 4.0 (I4.0), also known as the fourth industrial revolution. However, for the deployment of these technologies, the industry will face a number of challenges. In this sense, this paper aims to identify and analyze the challenges of adopting I4.0 technologies in the Brazilian manufacturing industry, through a survey with technology suppliers of Industry 4.0. An empirical research was developed through a survey, considering a sample of 34 technology providers for the industry. The questionnaire was developed based on a systematic literature review and evolved open-ended and multiple-choice questions using the likert scale. The literature presents as a result a trend in studies on the technical challenges in systems development for CPS (Cyber-Physical Systems) technology. However, for the result of the empirical research, open answers present technical questions such as lack of information and communication technology infrastructure and security as the main Brazilian challenges through statistical methods, an analysis of descriptive measures was performed identifying security and data integrity as the most important challenge. Through a multivariate grouping technique, four groups of respondents were identified that attributed safety and qualification questions as being the most important. The challenges must be overcome for Brazil to obtain a competitive industry. Being able to adopt technologies can improve industrial performance and consequent economic development. For this the most important challenges of the country were identified, as well as the solutions found in the literature that are presented in this work. Raising foreign investment and finding already developed technologies may be the first step towards adopting I4.0.

**Keywords** – Operations Strategy, Manufacturing; Survey; Industry 4.0; Cyber-Physical systems.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração entre os capítulos da dissertação .....	24
Figura 2 - Taxa de investimento percentual do PIB (BRICS) .....	26
Figura 3 - Taxa de crescimento percentual do PIB brasileiro.....	27
Figura 4 - Taxa de Crescimento percentual do PIB brasileiro trimestre contra trimestre.....	28
Figura 5 - Projeções futura do crescimento da PIB brasileiro.....	28
Figura 6 - Investimento em TIC percentual do PIB.....	30
Figura 7 - Participação da indústria de transformação no PIB, maiores indústrias, Brasil e mundo .....	32
Figura 8 – Composição da indústria geral e industrial de transformação PIB (%).....	32
Figura 9 - Revoluções industriais conforme o desenvolvimento tecnológico .....	35
Figura 10 - Três dimensões da automação relativa à volume e variedade de produção .....	43
Figura 11 - Preocupações em torno da Segurança de Dados .....	52
Figura 12 - Qualidade dos dados em redes indústrias sem fio.....	56
Figura 13 - A arquitetura de um sistema de computação antes e depois da virtualização, onde VMM (virtual machine monitor) dá suporte para o monitor de máquina virtual .....	61
Figura 14 - Display montado na cabeça com sistema de videowall à esquerda, e simulações físicas avançadas em diversas aplicações à direita. ....	64
Figura 15 - Visualização do usuário em operação de pegar e montar .....	65
Figura 16 – Volume de publicações internacionais evolução anual .....	87
Figura 17 - Principais publicações por países de origem aderentes à pesquisa .....	88
Figura 18 - Principais publicações por periódicos aderentes à pesquisa .....	88
Figura 19 - Principais publicações por linhas de pesquisas classificadas na base “Scopus”.....	89
Figura 20 - Volume de publicações nacionais evolução anual .....	110
Figura 21 - Modelo conceitual simplificado da pesquisa .....	115
Figura 22 - Estrutura conceitual da pesquisa.....	117
Figura 23 – Composição da indústria brasileira de acordo com o PIB.....	118
Figura 24 - Composição percentual das fontes de contato dos respondentes .....	119
Figura 25 - Matriz de julgamentos dos n avaliadores à luz dos k itens do questionário.....	127
Figura 26 - Estapas de análise de agrupamento.....	128
Figura 27 - Distribuição percentual entre a função exercida nas empresas da amostra coletada.....	130
Figura 28 - Distribuição percentual entre os fatores habilitadores da Indústria 4.0.....	131
Figura 29 - Distribuição percentual entre a fase do ciclo de vida da Indústria 4.0.....	132
Figura 30 - Distribuição percentual entre o fator decisivo na adoção da Indústria 4.0.....	132
Figura 31 - Pareto de frequência de respostas da graduação dos respondentes .....	133
Figura 32 - Pareto da frequência de respostas do tempo de trabalho dos respondentes. ....	134
Figura 33 - Distribuição percentual entre número de funcionários na empresa dos respondentes .....	135
Figura 34 - Pareto de frequência de respostas das tecnologias de fornecimento .....	135
Figura 35 - Pareto de frequência de respostas do segmento de fornecimento .....	136
Figura 36 - Dendograma para os 34 fornecedores de I4.0 no Brasil .....	144
Figura 37 - Dendograma com formação de 4 clusters .....	144

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Taxonomias de tecnologias de manufatura avançada.....	47
Quadro 2 - Aplicações de IA nas várias camadas da fabrica inteligente .....	69
Quadro 3 - Processos de manufatura aditiva por categoria do estado físico do material.....	71
Quadro 4 - Princípios associados às tecnologias da Indústria 4.0 .....	73
Quadro 5 - Classificação dos dados da pesquisa .....	91
Quadro 6 - Relação de autores e desafios .....	102
Quadro 7 – Principais contribuições dos artigos .....	108
Quadro 8 - Tipo de publicação nacional apresentando desafios da Indústria 4.0 .....	110
Quadro 9 – Desafios moderadores para avaliação do nível de conhecimento dos respondentes.....	124

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados econômicos comparativos com o Brasil .....	29
Tabela 2 - Nível de Mecanização .....	39
Tabela 3 - Nível de Sistematização .....	40
Tabela 4 - Nível de Interconexão .....	40
Tabela 5 - Variáveis de Níveis de Automação em atividades de produção .....	45
Tabela 6 – Classificação do método de pesquisa na amostra .....	89
Tabela 7 – Classificação dos autores mais produtivos .....	90
Tabela 8 - As dimensões relativas aos desafios da Indústria 4.0 da literatura internacional .....	92
Tabela 9 - A classificação dos desafios na dimensão técnica .....	93
Tabela 10 - As tecnologias na demanda por sistemas na dimensão técnica .....	95
Tabela 11 - Os desafios mais frequentes da I4.0 na literatura internacional .....	96
Tabela 12 - Classificação e frequência dos métodos utilizados nos artigos do recorte .....	107
Tabela 13 - Classificação do método de pesquisa na amostra da literatura nacional.....	109
Tabela 14 - As dimensões relativas aos desafios da Indústria 4.0 da literatura nacional.....	111
Tabela 15 - A classificação dos desafios em todas as dimensões.....	112
Tabela 16 - As tecnologias todas as dimensões.....	112
Tabela 17 - Os desafios mais frequentes da Indústria 4.0 presentes na literatura nacional .....	113
Tabela 18 - Participação em feiras internacionais realizadas no Brasil .....	119
Tabela 19 – Total da população e amostra de fornecedores contactados. ....	120
Tabela 20 – Desafios apresentados no questionário quantitativo para medição de sua importância .....	123
Tabela 21 – Desafios tecnológicos observados empiramente e encontrados na literatura internacional.....	137
Tabela 22 – Desafios tecnológicos observados empiramente e não encontrados na literatura internacional .....	138
Tabela 23 - Desafios brasileiros observados empiramente e encontrados na literatura internacional .....	139
Tabela 24 – Desafios brasileiros observados empiramente e não encontrados na literatura internacional.....	139
Tabela 25- Análise estatística das medidas descritivas .....	141
Tabela 26 - Desafios mais importantes pela análise estatística .....	142
Tabela 27 - Desafios mais importantes por grupos pela técnica multivariada.....	145
Tabela 28 – Desafios por ordem de importância do grupo 1 .....	145
Tabela 29 – Desafios por ordem de importância do grupo 2 .....	146
Tabela 30 – Desafios por ordem de importância do grupo 3 .....	146
Tabela 31 – Desafios por ordem de importância do grupo 4.....	147
Tabela 32 - Função consultores comerciais percentual por grupo.....	147
Tabela 33 - Conhecimento e qualificação percentual por grupo .....	148
Tabela 34 - Início do desenvolvimento da Indústria 4.0, percentual por grupo.....	149
Tabela 35 - Fator decisivo para adoção da Indústria 4.0 .....	149
Tabela 36 - Desafios de maior importância no agrupamento por variáveis de controle.....	150
Tabela 37 - Desafios tecnológicos apontados pelos fornecedores, comparativo com a literatura .....	152
Tabela 38 – Desafios brasileiros apontados pelos fornecedores, comparativo com a literatura.....	154
Tabela 39 – Comparação dos desafios mais importantes da análise mista com literatura e observação empírica .....	155
Tabela 40 – Desafios brasileiros mais importantes nas análises entre os dez desafios mais frequentes.....	156
Tabela 41 – Desafios tecnológicos e sua respectiva tecnologia .....	159
Tabela 42 – Desafios brasileiro a respectiva tecnologia dos respondentes.....	160
Tabela 43 – Soluções encontrada na literatura internacional para os principais desafios brasileiros .....	162

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA .....	18
1.2 OBJETIVO DA PESQUISA .....	19
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
1.4 JUSTIFICATIVA .....	20
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	23
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>25</b>
2.1 REFERENCIAL TEÓRICO BÁSICO.....	25
2.1.1 CENÁRIO ECONÔMICO BRASILEIRO.....	25
2.1.1.1 IMPACTOS DA CRISE NA ECONOMIA .....	25
2.1.1.2 IMPACTOS ECONÔMICOS NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO.....	31
2.1.2 REVOLUÇÕES INDÚSTRIAS.....	33
2.1.3 TECNOLOGIAS DA TERCEIRA REVOLUÇÃO INDÚSTRIAL.....	36
2.1.3.1 TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA PRODUÇÃO.....	36
2.1.3.2 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL.....	37
2.1.3.3 TECNOLOGIAS DE MANUFATURA AVANÇADA .....	46
2.1.4 TECNOLOGIAS DA QUARTA REVOLUÇÃO INDÚSTRIAL .....	49
2.1.4.1 IIoT – INTERNET INDUSTRIAL DAS COISAS.....	49
2.1.4.2 CPPSS – SISTEMAS DE PRODUÇÃO CIBER-FÍSICOS .....	50
2.1.4.3 CYBER SECURITY.....	51
2.1.4.4 REDES DE COMUNICAÇÃO DA INDÚSTRIAL 4.0 .....	53
2.1.4.5 REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO .....	55
2.1.4.6 COMPUTAÇÃO EM NUVEM.....	56
2.1.4.7 <i>BIG DATA</i> E ANÁLISES.....	58
2.1.4.8 VIRTUALIZAÇÃO.....	60
2.1.4.9 REALIDADE VIRTUAL .....	62
2.1.4.10 REALIDADE AUMENTADA.....	65
2.1.4.11 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	68
2.1.4.12 MANUFATURA ADITIVA – MA .....	70
2.1.5 PRINCÍPIOS DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS INDÚSTRIA 4.0. ....	72
2.1.5.1 INTEGRAÇÃO VERTICAL .....	72

2.1.5.2	INTEGRAÇÃO HORIZONTAL .....	74
2.1.5.3	INTEROPERABILIDADE .....	76
2.1.5.4	MODULARIDADE .....	76
2.1.5.5	ORIENTÇÃO A SERVIÇO .....	77
2.1.5.6	VIRTUALIZAÇÃO.....	77
2.1.5.7	DECENTRALIZAÇÃO.....	78
2.1.5.8	<i>SMART PRODUCT</i> .....	79
2.1.5.9	<i>SMART FACTORY</i> .....	80
2.1.5.10	RESPONSABILIDADE SOCIAL.....	81
2.1.5.11	<i>ECODESIGN</i> .....	82
2.1.5.12	TRANSMISSÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS EM TEMPO REAL .....	82
2.1.5.13	SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO .....	83
2.1.6	FATORES HABILITADORES DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS INDÚSTRIA 4.0.....	83
2.1.7	IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0.....	84
2.2	REVISÃO DE LITERATURA .....	86
2.2.1	ESTADO DA ARTE .....	86
2.2.1.1	REVISÃO SISTEMÁTICA (LITERATURA INTERNACIONAL).....	87
2.2.1.2	VARIÁVEIS DE ÀNALISE (LITERATURA INTERNACIONAL) .....	90
2.2.1.3	DESAFIOS GERAIS DA INDÚSTRIA 4.0 (LITERATURA INTERNACIONAL) .....	95
2.2.1.4	DESAFIOS TÉCNICOS EM DEMANDA POR SISTEMAS DE CPSS .....	101
2.2.1.5	REVISÃO SISTEMÁTICA (LITERATURA NACIONAL) .....	108
2.2.1.6	DESAFIOS GERAIS DA INDÚSTRIA 4.0 (LITERATURA NACIONAL) .....	112
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA .....</b>	<b>114</b>
3.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA .....	114
3.2	MÉTODO DE PESQUISA .....	116
3.3	ESTRUTURA CONCEITUAL.....	116
3.4	CARACTERIZAÇÃO E PLANEJAMENTO DA POPULAÇÃO .....	118
3.5	CONDUÇÃO DO TESTE PILOTO .....	121
3.6	COLETA DE DADOS.....	122
3.7	VALIDAÇÃO DA AMOSTRA .....	124
3.8	ANÁLISE DE DADOS.....	127
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>130</b>
4.1	PESQUISA SURVEY COM FORNECEDORES DE TECNOLOGIA .....	130

4.1.1	ANALISE QUALITATIVA .....	130
4.1.1.1	VARIÁVEIS DE CONTROLE.....	130
4.1.1.2	VARIÁVEIS GERAIS.....	133
4.1.1.3	DESAFIOS DE CONHECIMENTO EMPÍRICO .....	137
4.1.2	ANALISE QUANTITATIVA .....	140
4.1.2.1	RESULTADO DA VALIDAÇÃO DA AMOSTRA .....	140
4.1.2.2	ANÁLISE DAS MEDIDAS DESCRITIVAS.....	141
4.1.2.3	ANÁLISE MULTIVARIDA – ANÁLISE DE AGRUPAMENTO GERAL .....	143
4.1.2.4	ANÁLISE MULTIVARIDA – ANÁLISE DE AGRUPAMENTO DIRIGIDO .....	147
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÕES .....</b>	<b>152</b>
5.1	DESAFIOS BASEADOS NA LITERATURA .....	152
5.2	DESAFIOS NÃO ENCONTRADOS NA LITERATURA.....	159
5.3	SOLUÇÕES PROPOSTA NA LITERATURA.....	161
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>165</b>
6.1	OBJETIVOS PROPOSTOS E PRINCIPAIS RESULTADOS .....	165
6.2	CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS .....	166
6.3	CONTRIBUIÇÕES GERENCIAIS .....	168
6.4	LIMITAÇÕES.....	169
6.5	TRABALHOS FUTUROS .....	170
	<b>REREFERÊNCIAS .....</b>	<b>172</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>199</b>
	<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>210</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Inicialmente liderado pela Alemanha com a publicação de (KAGERMANN, et al. 2013), referente às recomendações para um mundo com novas tecnologias, a estratégia batizada de Indústria 4.0 é também um sinônimo de quarta revolução industrial. No entanto, o seu surgimento, de acordo com Kang et al., (2016), foi inicialmente na feira de Hannover, “Hannover Messe” em 2011. Depois disso, Estados Unidos em sua esfera político e econômica (Holdren, et al. 2012), apresentaram um plano de estratégia nacional na mesma finalidade, dos padrões e tendências da chamada “Manufatura Avançada” questões gerais para promoção e avanço, oportunidades e desafios da IoT (*Internet of Things* – Internet das Coisas) (NTIA, 2017). No trabalho de Kang et al. (2016), os autores abordam que as pesquisas norte americanas, focam nas principais tecnologias chaves incluindo, IoT, *big data* e análise de dados, CPS (*Cyber-Physical System* - Sistemas Ciber-Físicos), integração de sistemas, manufatura sustentável, e manufatura aditiva, para responder agressivamente ao ambiente da quarta revolução industrial. Na China desde 2015 foi lançado seu programa estratégico que foi chamado de “*Made in China 2025*”, no Reino Unido o “IoTUK” é um programa fruto de iniciativas públicas iniciadas em 2014, porém a indústria não é tratada como uma prioridade, e segundo (BNDS, 2017) na Coreia do Sul o projeto prioritário na indústria foi batizado de “*Innovation In Manufacturing Industry 3.0*”, que visa desenvolver fábricas inteligentes, big data e manufatura aditiva. No Brasil, em 2014 por meio de um decreto o governo instituiu a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina e Internet das Coisas (Câmara IoT) caracterizando o órgão como multisetorial. Em 2016, através do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDS), uma chamada pública deu início ao estudo chamado de “Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil”, que resultou em 2018, um modelo de governança para estruturação do Brasil em um Plano Nacional de IoT, apresentando 16 iniciativas para o governo implementar e desenvolver no país. Também em 2016, o CESAR (Centro de Estudos e Sistemas Avançados do Recife) foi credenciado pela EMBRAPPII (Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial) que tem diversas linhas de atuação e iniciativas em pesquisas tecnológicas, para ser uma unidade de atuação em projetos na área de IoT.

Porém é importante saber quais são os desafios para que essas estratégias sejam realizadas, Kagermann et al. (2013), destaca que a indústria 4.0 terá como desafios o mercado de trabalho para as mulheres e os mais velhos, já que vários fatores, são determinantes para a manutenção sem prejuízos, da plena e eficiente atividade dos menos favorecidos. Segundo o estudo do autor, uma pesquisa realizada com 278 empresas alemãs, os três maiores desafios apontado pelos empresários são: a padronização da tecnologia, a organização do trabalho e a disponibilidade de produtos e serviços. As pesquisas no Brasil mostram, conforme (CNI, 2016) que os desafios nacionais se assemelham com o contexto alemão, ou seja, para a padronização da tecnologia, a governança da internet no país segue deliberações de fóruns internacionais, para os recursos humanos, os profissionais com formações distintas das atuais e com equipes multidisciplinares com elevado nível de conhecimento técnico são necessários, e para a adoção das novas tecnologias, a viabilidade é feita através da identificação de políticas de desenvolvimento. Segundo o (BNDS, 2017), para se desenvolver um ecossistema em IoT no Brasil, é necessário identificar os desafios de países com similaridade, como a Índia e a Rússia, para entender como eles estão se desenvolvendo em meio a desafios como, grande extensão territorial, disparidade de renda, diversidade cultural, menor eficiência do governo e estrutura regulatória em estágio inicial. O estudo ainda revela, a partir de uma pesquisa realizada pela IDC (*International Data Corporation*) com 44 membros entre pesquisadores, indústria e governo, que na comunidade europeia entre as principais barreiras para adoção da IoT estão: questões de segurança, a falta de padronização e interoperabilidade de redes, mudança de processos, necessidade de comprovação do retorno do investimento. Desafios na literatura são tratados em Li et al. (2017), como as redes sem fio industriais, que tem um alto número de conexões móveis e muitos requisitos particulares para o ambiente industrial, os maiores desafios técnicos em termos de restrições são: necessidade de desenvolver topologia dinâmica para não sobrecarregar a frequência atualmente utilizada, interferências e perda de sinal em função dos requisitos atuais dos dispositivos, limitações de energia em função da necessidade de baterias, necessidade de gerir as informações dos dispositivos e as dificuldades da variação de localização dos mesmos, as barreiras físicas e colisões de um ambiente industrial.

A quarta revolução industrial está definindo um novo padrão para o mundo globalizado, que deve se preparar para os desafios de adoção em seus diversos contextos, seja na visão de um país que busca melhor desempenho econômico, porém enfrenta seus desafios

legais, políticos e estratégicos, seja na visão das empresas que buscam o desenvolvimento e melhores resultados em termos de competitividade, mas enfrentam desafios organizacionais e técnicos.

Nessa década a adoção da Indústria 4.0 é um dos fatos de maior relevância na busca de mecanismos que tragam melhores resultados globais e maiores competitividades para as empresas e indústrias. Nesse sentido a busca dos caminhos que permitam a plena adoção dessa estratégia, conhecendo seus desafios de adoção, se faz necessário.

### 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Com a quarta revolução, muitas oportunidades para a adoção de novas tecnologias de produção emergiram, além de essas tecnologias estarem em pleno desenvolvimento, seus princípios de aplicações se tornaram importantes em conjunto com as tecnologias, na adoção da estratégia bem-sucedida. Porém, literatura da estratégia Indústria 4.0, retrata a existência de discussões em torno dos benefícios, soluções e principalmente dos desafios de implantação de novas tecnologias, que podem ser restrições ao melhor desempenho operacional nas organizações. Na Alemanha, a Indústria 4.0 pretende introduzir tecnologias IIoT na criação de valor industrial, a fim de manter sua posição como uma nação industrial líder no mundo. Como resultado, os fabricantes industriais enfrentarão não apenas potenciais econômicos, ecológicos e sociais, mas também desafios (MÜLLER e VOIGT, 2018). Nesse sentido, Kiel et al. (2017) aborda que seus efeitos e implicações reais ainda são incertos, já que pesquisadores, políticos, consultores e profissionais fazem declarações contraditórias sobre seus possíveis benefícios e riscos. Embora, sob uma perspectiva do tripé da sustentabilidade, deva ser econômica, social e ambientalmente benéfica cada uma dessas dimensões de sustentabilidade apresenta os respectivos desafios e riscos.

Desde que a Internet das Coisas (IoT) e o Big Data têm apresentado um potencial de transformação imensurável, as empresas de manufatura estão em uma corrida para implementar soluções baseadas em IoT para inovar, melhorar a produtividade, reduzir custos, e melhorar sua participação no mercado. Conforme as empresas tentam adotar a Indústria 4.0, um dos principais desafios que enfrentam é apresentar uma “abordagem integrada” conforme o trabalho de Illa e Padhi (2018). A maioria das empresas e fábricas não está ciente dos desafios que podem enfrentar quando desejam implementar o plano de fundo da Indústria 4.0. No entanto, foi assumido que ainda existe um mal-entendido na Indústria 4.0 sobre esse

tópico, especialmente sobre o que envolve a Indústria 4.0 e seu significado e visão (MOHAMED, 2018). Xu et al. (2018), abordou que neste momento, a falta de ferramentas poderosas ainda representa um grande obstáculo para explorar todo o potencial da Indústria 4.0. Em particular, métodos formais e métodos sistêmicos são cruciais para a realização da Indústria 4.0, que apresenta desafios únicos. Nesse cenário de complexidade mesmo para países como Alemanha, países em desenvolvimento como o caso do Brasil, tem o difícil papel de superar desafios dessa transição e implantar novas tecnologias em um ambiente desfavorável economicamente.

Assim o presente estudo deseja responder a seguinte questão: quais são os desafios observados empiricamente por fornecedores de tecnologias da Indústria 4.0 no Brasil, que atrasam a adoção de novas tecnologias e princípios de estratégias como a Indústria 4.0 na indústria de transformação brasileira?

## 1.2 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo geral dessa pesquisa é identificar e analisar os desafios de adoção das novas tecnologias da Indústria 4.0 na indústria de transformação do Brasil na visão empírica dos fornecedores de tecnologias.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Elaboração de uma revisão sistemática com os principais desafios a partir da literatura internacional.
- 2) Elaboração e validação do questionário com base nos desafios encontrados na revisão sistemática, para a pesquisa *survey* com os fornecedores de tecnologia da Indústria 4.0 no setor da indústria de transformação.
- 3) Análise dos desafios da indústria 4.0 a partir dos dados coletados do *survey*.
- 4) Comparação dos resultados encontrados no *survey* com os resultados encontrados na revisão sistemática da literatura internacional.
- 5) Identificação de novos desafios no conhecimento acadêmico a partir da visão empírica dos respondentes.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

A indústria 4.0 em todo o seu contexto como, as tecnologias, os princípios, fatores habilitadores, impactos, benefícios bem com os desafios, está entre os principais temas tratados nessa década. Entre 2011 e 2013 iniciaram as publicações de artigos por pesquisadores do mundo inteiro, visando entender o problema, desenvolver soluções, e de modo geral discutir o tema. Porém é perceptível de maneira geral, a falta de pesquisas quantitativas e *surveys*, que abordam os desafios de adoção da Indústria 4.0 na indústria de transformação. Além disso, dos trabalhos internacionais encontrados nessa pesquisa, quase metade foram publicados parcialmente ou integralmente por autores da Alemanha, o país que concebeu a estratégia da quarta revolução Indústria 4.0. Assim, para justificar essa pesquisa, é possível apresentar duas perspectivas:

- Trabalhos com método quantitativo/survey mais relevantes na base *scopus*.

Entre as publicações alemãs, o artigo mais relevante é o de Müller J.M et al. (2018), na qual é apresentado os resultados de um estudo quantitativo que avaliam a estratégia alemã Indústria 4.0 e estratégia chinesa *Made in China 2025* do ponto de vista das pequenas e médias empresas, examinando questões como o efeito das oportunidades e dos desafios relacionados a sua implementação. Os autores ainda concluem que a abordagem é razoável, já que o artigo tenta derivar diferenças em relação a características variáveis da empresa que podem ser avaliadas propositadamente pela aplicação de um desenho de pesquisa quantitativa. Porém é importante destacar ainda, que a publicação é restrita em uma pesquisa em pequenas e médias empresas.

Um estudo quantitativo também bastante relevante alemão, com o objetivo de examinar os efeitos relacionados aos benefícios e os desafios da Indústria 4.0 na implantação, revela que os desafios relativos à competitividade e à viabilidade futura têm um efeito negativo na tendência para a implementação da Indústria 4.0. Segundo os autores Muller e Voigt (2018), essa abordagem é razoável, já que este artigo tenta derivar diferenças em relação às diversas características da empresa que podem ser avaliadas propositadamente pela aplicação de um desenho de pesquisa quantitativa. No entanto, as empresas pesquisadas foram todas de origem alemã.

Já no Brasil, os estudos mais relevantes na abordagem dos desafios Nakaya (2017), apresenta uma tese de doutorado com um survey no Brasil, preliminar aos seus estudos de

casos, para testar as hipóteses de impactos hipotéticos levantados através da revisão bibliográfica. Porém o perfil de respondentes utilizados em sua pesquisa foram os fornecedores de tecnologias, provedores de infraestrutura e usuários industriais. As análises quantitativas apontaram entre os resultados, desafios relativos à capacidade de investimentos e questões relacionadas a novos modelos de negócio. O autor ainda afirma que:

“o questionário *survey* respondido por e-mail revelou que o cenário da indústria brasileira ainda é de pouco entendimento e pouco engajamento prático dos usuários industriais à plataforma I40”.

Com a indústria nacional em decadência, tanto em números de produção, pela sua própria eficiência e pelo grau de sua competitividade em relação ao mercado mundial, a solução é a adoção de tecnologias digitais e os princípios baseados na quarta revolução industrial, seguindo a tendência mundial.

Além do mais, estudos qualitativos e empíricos não foram encontrados, quando observado apenas a principal tecnologia da Indústria 4.0, os sistemas CPSs (Sistemas Ciber-Físicos), sendo uma lacuna da pesquisa. O que sugere uma baixa maturidade ainda do conceito na prática e nas indústrias em operação.

Esse estudo vai observar o comportamento do mercado de cadeia de fornecimento de tecnologias em suas principais características: desafios enfrentados, tamanho das empresas, tecnologias fornecidas, princípios fornecidos e conhecimento em tecnologias da Indústria 4.0, a fim de contribuir com a literatura e com os profissionais que demandam estudos da indústria nacional.

- Trabalhos com maiores amplitudes na abordagem sobre os desafios

Na compreensão dos estudos realizados sobre desafios da Indústria 4.0, foram observados trabalhos com o de Xu et al. (2018), que apresenta os desafios de maneira bastante ampla em uma revisão bibliográfica, no entanto, o autor realiza uma abordagem das tecnologias e seus respectivos desafios da Indústria 4.0, nesse sentido, somente a dimensão técnica das tecnologias é abordada nesse trabalho.

As principais definições, os desafios, os benefícios, e os princípios resume a abordagem apresentada por Mohamed (2018), podendo considerar um trabalho de grande abrangência no contexto da Indústria 4.0, porém, o autor apresenta os desafios em uma visão de alguns

poucos autores em sua revisão sistemática, não abrangendo, por exemplo, questões sobre a tecnologia computação em nuvem.

Lenz et al. (2018), também apresenta muitos desafios, porém seu trabalho é restrito ao desenvolvimento da aquisição de dados de equipamentos de usinagem e os desafios são relacionados especificamente à tecnologia Big Data. Illa (2018) apresenta um excelente trabalho sobre a transição das empresas utilizando IoT, Big Data, e Análise em Nuvem, porém o autor deixa de fora outras tecnologias importantes como CPSs, Inteligência Artificial, Manufatura Aditiva.

Roy (2016) apresenta muitos desafios relacionados ao contexto da Indústria 4.0 que demandam sistemas, tecnologias padronização, entre outros, porém, seu trabalho se limita a identificar os desafios de um importante princípio, ou seja, a manutenção inteligente. Segundo o autor, que sugere a manutenção contínua identificada como um papel da Indústria 4.0 no que se refere às tecnologias como IoT e Ciber Segurança, a tecnologia de manutenção precisa se adaptar ao dinâmico e ágil ambiente de produção baseado na Indústria 4.0.

Além de estruturar seu estudo com o método estudos de múltiplos casos e em apenas empresas alemãs, Kiel et al. (2017), restringiu-se a uma pesquisa realizada com quarenta e seis empresas de três áreas específicas: automotiva; máquinas e equipamentos; e engenharia elétrica. Além disso, o autor afirma que objetivo do seu estudo:

“é fornecer uma compreensão melhor, mais integrada, sistemática e abrangente dos benefícios econômicos, sociais e ambientais mais prevalentes, bem como os desafios produzidos pela IIoT”.

Com um estudo de grande relevância na literatura internacional, Luthra e Mangla (2018), realizaram um *survey* na Índia com 96 respondentes do setor industrial, em que baixo entendimento nas implicações da Indústria 4.0 e pobre pesquisa e desenvolvimento para a adoção da Indústria 4.0 estão entre os desafios. Além de categorizar em 4 dimensões os desafios, os autores ainda abordam a necessidade de uma definição clara ao próprio entendimento do que é Indústria 4.0 na adoção prática. No entanto, o seu estudo é restrito à Índia, ou seja, um país em desenvolvimento.

Conforme visto, os autores internacionais que focam seus estudos nos desafios da Indústria 4.0, tendem a realizar estudos, ou focados em um segmento, ou são realizados

apenas em um contexto econômico como em países desenvolvidos, ou não apresentam desafios amplos em termos de tecnologias, dimensões e princípios.

Identificar os desafios da literatura de forma ampla se faz necessário primeiramente para que, uma vez identificados os desafios nacionais a partir de observações empíricas dos respondentes fornecedores de tecnologias, esses desafios possam ser melhores categorizados e principalmente comparados à literatura, e segundo possa ser incluído na literatura atual, um trabalho de referência com uma ampla abordagem dos desafios mais atualizados da Indústria 4.0.

### 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação está distribuída em seis capítulos, sendo esse o primeiro capítulo introdutório que, contextualiza a estratégia mundial na busca por competitividade industrial com auxílio de novas tecnologias, bem como a problemática econômica demandando entender quais desafios deverão ser superados para o alcance dessa nova estratégia tecnológica, apresentando os principais objetivos de pesquisa, descrevendo a delimitação do projeto e introduzindo a estruturação da dissertação.

O Capítulo 2 aborda o referencial teórico básico, apresentando a fundamentação da estratégia de produção com base para escolhas de decisões baseadas em tecnologia, alinhamento estratégico e estratégia indústria 4.0 e seus componentes. Também a revisão sistemática e os principais desafios da indústria 4.0 são apresentados juntamente com os desafios em tendência de estudo.

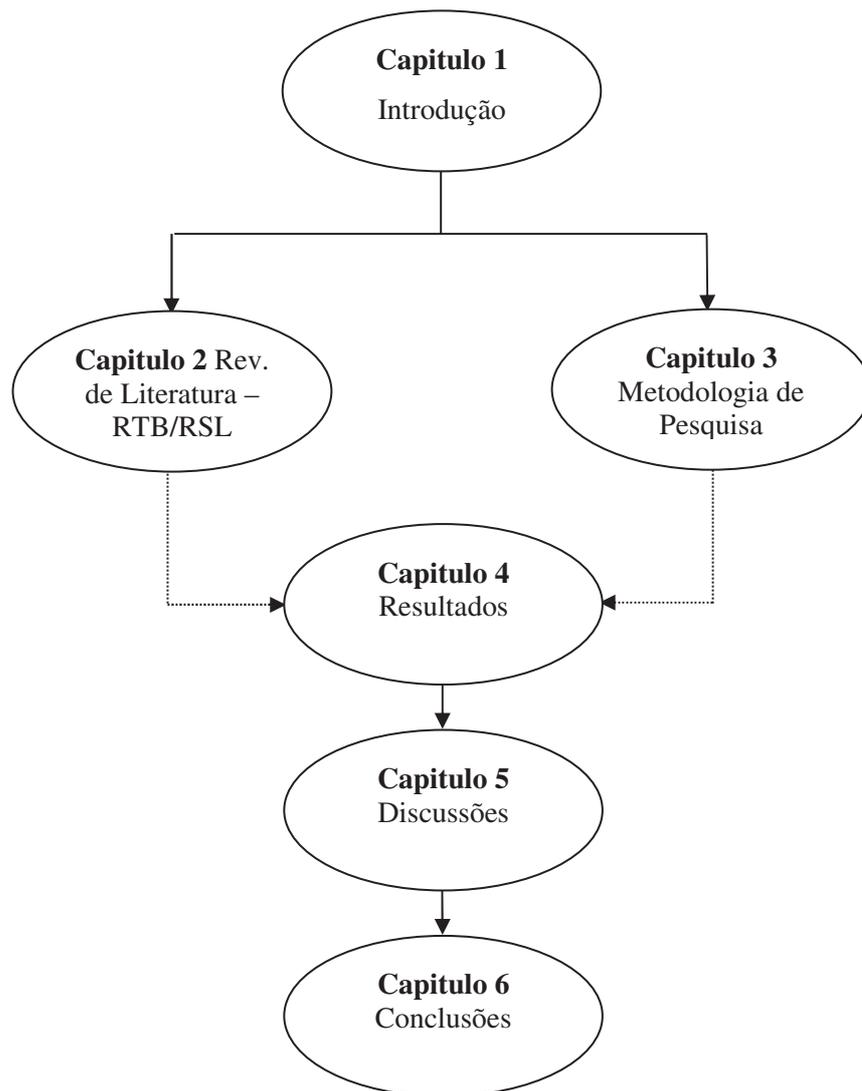
O Capítulo 3 trata a metodologia de pesquisa detalhando todo o contexto da abordagem, da definição do conceito e do planejamento até a execução da coleta de dados nas empresas contatadas e encerramento com relatório de análise e resultados da pesquisa.

O Capítulo 4 apresenta os resultados dados coletados com as empresas de fornecimento de tecnologias, as análises envolvidas nos dados coletados e o relatório desenvolvido para formação das conclusões.

O Capítulo 5 é destinado às discussões principais em torno dos resultados de pesquisa encontrados, principalmente no que se refere às comparações entre os resultados encontrados na literatura e os resultados empíricos encontrados.

Por fim, no Capítulo 6, é feita a conclusão do trabalho com os principais resultados, descrito a necessidade para trabalhos futuros e as respectivas limitações dessa pesquisa. Na Figura 1 abaixo está ilustrada a organização da dissertação.

Figura 1 - Ilustração entre os capítulos da dissertação



Fonte: Elaborado pelo Autor.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo tem o objetivo de abordar a fundamentação teórica desta pesquisa. Os subtítulos abaixo identificam os principais conceitos baseados em referências clássicas e atuais, das estratégias de produção e da Indústria 4.0, desafios gerais e as barreiras brasileiras na implantação das tecnologias da quarta revolução.

### 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO BÁSICO

#### 2.1.1 CENÁRIO ECONÔMICO BRASILEIRO

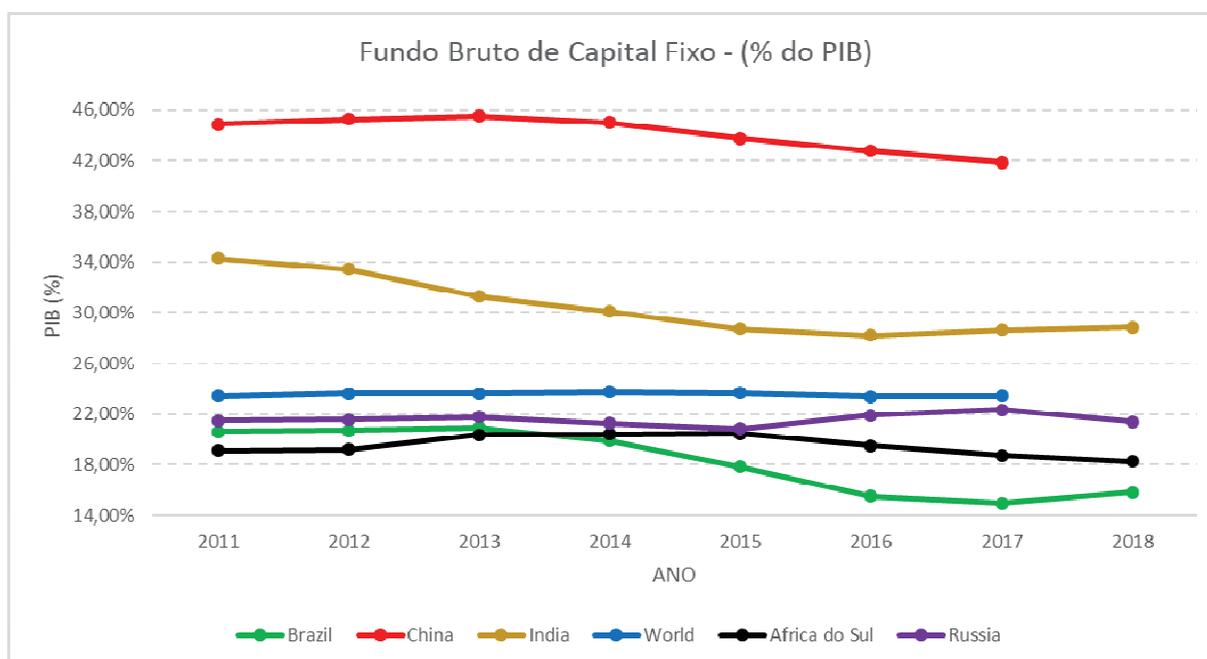
##### 2.1.1.1 IMPACTOS DA CRISE NA ECONOMIA

Podemos comparar dois momentos econômicos de grande impacto na sociedade brasileira nos últimos anos:

- Crise financeira nacional

O país tem vivenciado por uma crise econômica que deu início a partir do primeiro trimestre de 2015 e tecnicamente a crise se concretizou no segundo trimestre daquele ano, e que chegou a apresentar uma retração em todos os setores da economia no ano seguinte em 2016, principalmente com uma profunda redução da atividade industrial, o setor que mais registrou perdas, e consequente redução nos investimentos do país. Segundo os dados do (IBGE, 2019), o pico da crise ocorreu em 2015, quando indicadores como o da produção industrial registrou um recuo percentual de 8,30%, algo parecido nos últimos 15 anos só havia ocorrido na crise mundial de 2008 quando o índice registrou um recuo de -7,10% em 2009, e a taxa de crescimento do investimento no país, alcançou 13,95% em 2015 em relação ao ano anterior. Nos últimos o volume de investimentos baseado na proporção do PIB (Produto Interno Bruto), vem apresentando uma desaceleração permanente o que para países ditos como emergentes como é o caso do Brasil, representa o comprometimento de toda a economia com impactos em todos os setores: serviços, indústria e agropecuária (WBG, 2019). Na Figura 2 abaixo, é possível observar a taxa de investimento do bloco dos países emergentes conhecidos como BRICS em comparação com a média mundial até 2016.

Figura 2 - Taxa de investimento percentual do PIB (BRICS).



Fonte: Autor com dados de WBG (2019) e IBGE (2019)

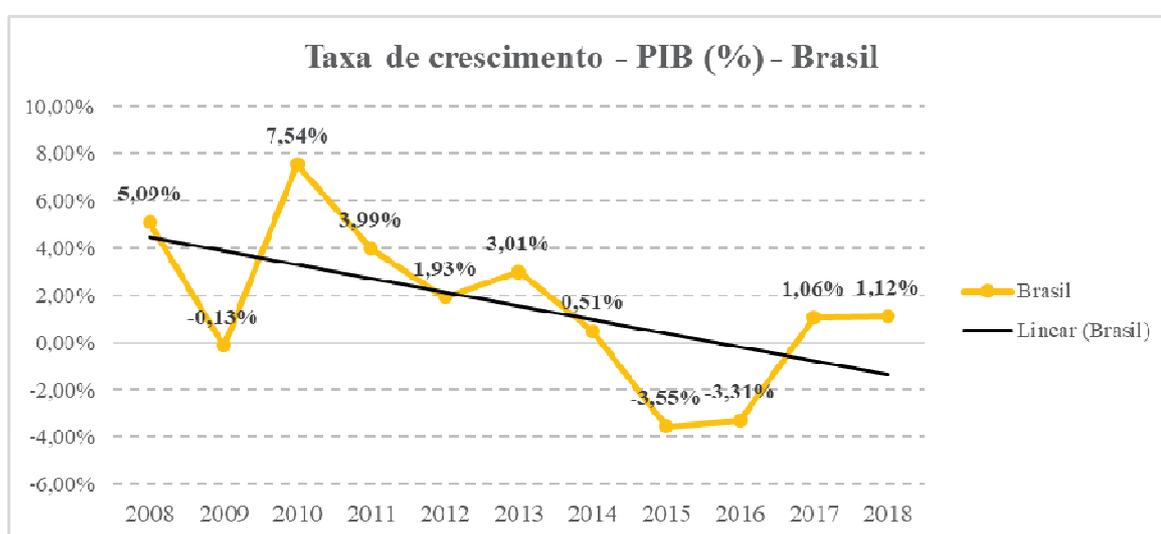
Os impactos foram sentidos em todos os setores da economia, o PIB brasileiro registrou nos dois piores anos da crise, 2015 e 2016, uma taxa de crescimento negativa de 3,5% e 3,31% respectivamente, já o agronegócio colaborou em 2016 com uma taxa negativa de crescimento de 5,22%, a indústria em geral registrou uma taxa negativa de 5,76% e 4,60% em 2015 e 2016 respectivamente e por fim, o setor de serviços que registrou 2,734% e 2,257% negativos em 2015 e 2016 respectivamente.

A taxa de crescimento industrial relacionados aos bens e serviços da indústria também foram sentidos, houve taxas negativas de crescimento da indústria da construção civil e da indústria de transformação, que são responsáveis por quase 80% da composição do PIB industrial. Ambos subsetores colaboraram diretamente em resultados como visto a partir de dados do (WBG, 2019) e do (IBGE, 2019), em que a taxa de crescimento do PIB industrial apresentou quatro anos seguidos de retração, com a maior queda em 2015 alcançando -5,76% em relação ao ano anterior, com a indústria de transformação, apresentando a maior taxa de crescimento negativa de 8,48% em 2015 e a construção civil a maior taxa de crescimento negativa de 9,99% em 2016.

### - Pós-crise financeira nacional

Apesar de o pior já ter passado na economia brasileira, os anos subsequentes à crise ainda demonstram uma fragilidade em sua recuperação, já que com perdas consideráveis registradas em 2015 e 2016, o que se esperava é que os primeiros anos após o mau desempenho econômico registrassem crescimentos que sinalizasse uma retomada concreta em função do potencial do país, porém como é possível ver na Figura 3 abaixo, não ocorreu.

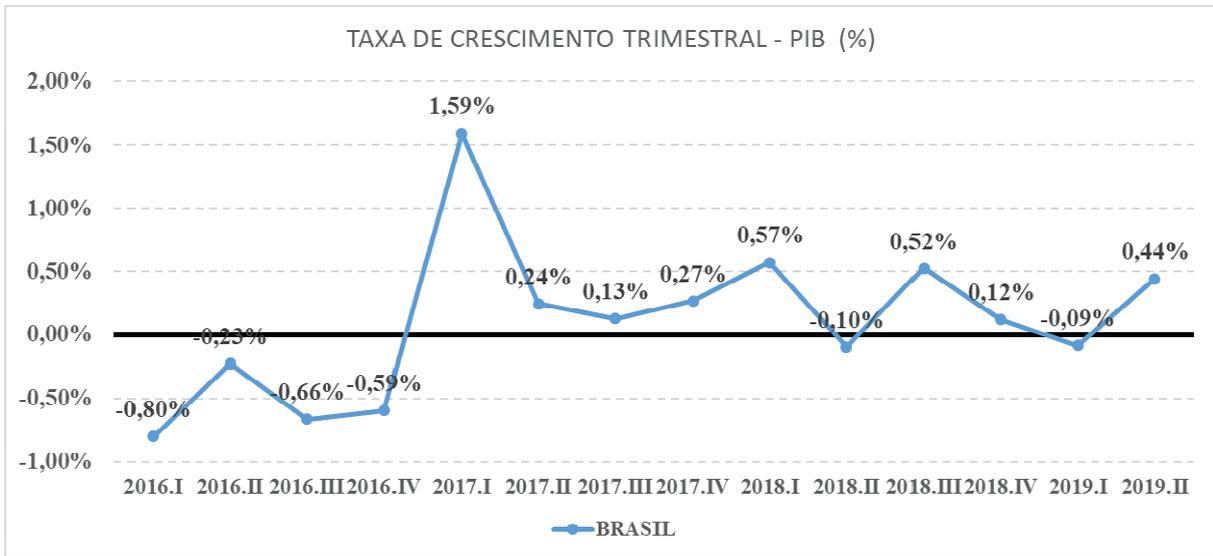
Figura 3 - Taxa de crescimento percentual do PIB brasileiro



Fonte: Autor com dados do IBGE (2019)

Além disso, o que vem pela frente não é uma boa notícia, quando é observada a evolução da taxa de crescimento do PIB percentual, na comparação do trimestre contra trimestre, o ano de 2019 inicia com resultados negativos para o primeiro trimestre, caso se mantenha índices negativos, o país retornaria a uma recessão técnica, ou seja, nem mal deixou uma crise em 2017, já retornaria a outra em 2019 conforme Figura 4.

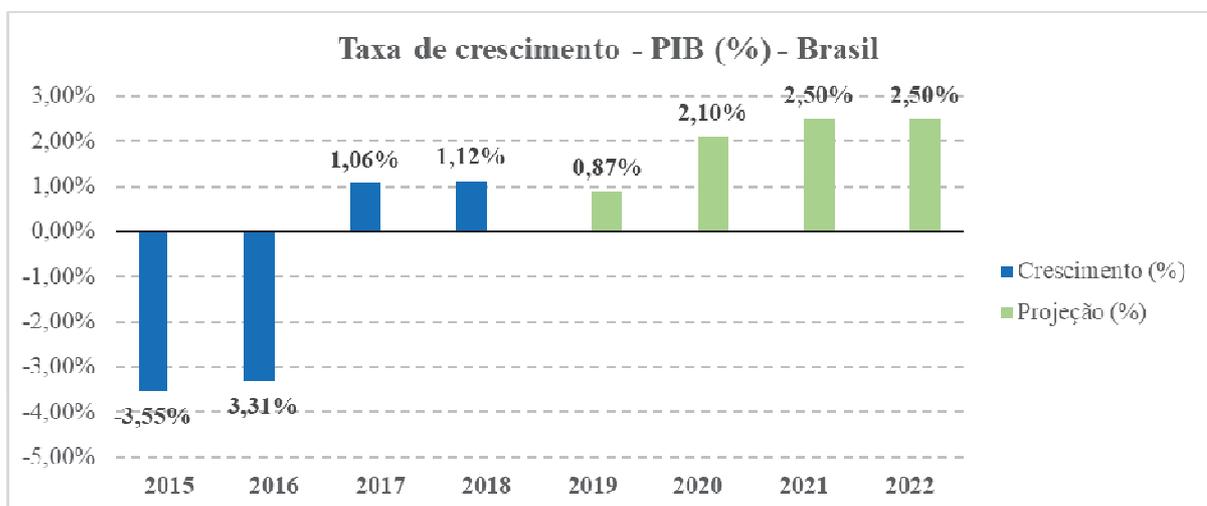
Figura 4 - Taxa de Crescimento percentual do PIB brasileiro trimestre contra trimestre



Fonte: Autor com dados do IBGE (2019)

Segundo o BCB (2019) as estimativas de crescimento da economia para 2019 por 20 semanas consecutivas foram reduzidas, para o percentual de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB). No entanto a estimativa em 02/09/2019 foi elevada de 0,82% para 0,87% se mantendo estável nesse valor até 12/09/2019. Para 2020, a projeção foi de 2,10%, assim como para 2021 e 2022 a projeção se mantem em 2,50% como podemos observar na Figura 5.

Figura 5 - Projeções futura do crescimento da PIB brasileiro



Fonte: Autor com dados BCB (2019)

Além do mais, para que o Brasil volte a ter uma economia estável e conquiste melhores resultados e desenvolvimento, melhores condições sociais e criação de empregos com aumento de renda serão necessários aprendizados com países desenvolvidos como a Alemanha e o Japão que possuem bastante força em sua indústria, e são capazes de se manter economicamente em plenitude, o que pode ser atribuído por manter, mesmo com um alto nível desenvolvimento, uma taxa de investimentos percentual do PIB, acima da média, ou seja, comparando os últimos 15 anos, por exemplo, as taxas são maiores do que a do Brasil, em 1,4% para Alemanha e em 5,1% para Japão.

Economicamente esses países relacionados são muito mais eficientes, visto que o seu PIB per capita demonstra tal superioridade e que mesmo compondo populações menores especificamente o caso da Alemanha e do Japão são capazes de gerar grandes riquezas, equivalentes à de países com populações e economias maiores, porém não tão eficientes como é o caso da China e da Índia, abaixo na Tabela 1, é possível ver uma comparação econômicas entre esses países, Brasil e os EUA.

**Tabela 1** - Dados econômicos comparativos com o Brasil

Dados Econômicos - (WBG)			
País	PIB - (Us\$ Bilhões)	PIB (per capita) - (Us\$)	População (Milhões) - 2016
United States	Us\$ 19.390,604	Us\$ 59.531,661	325,70
China	Us\$ 12.237,700	Us\$ 8.826,994	1379,00
Japan	Us\$ 4.872,136	Us\$ 38.428,097	127,00
Germany	Us\$ 3.677,439	Us\$ 44.469,909	82,67
Brazil	Us\$ 2.055,505	Us\$ 9.821,407	207,70
India	Us\$ 2.597,491	Us\$ 1.939,612	1324,00

Fonte: Autor com dados do WBG (2016).

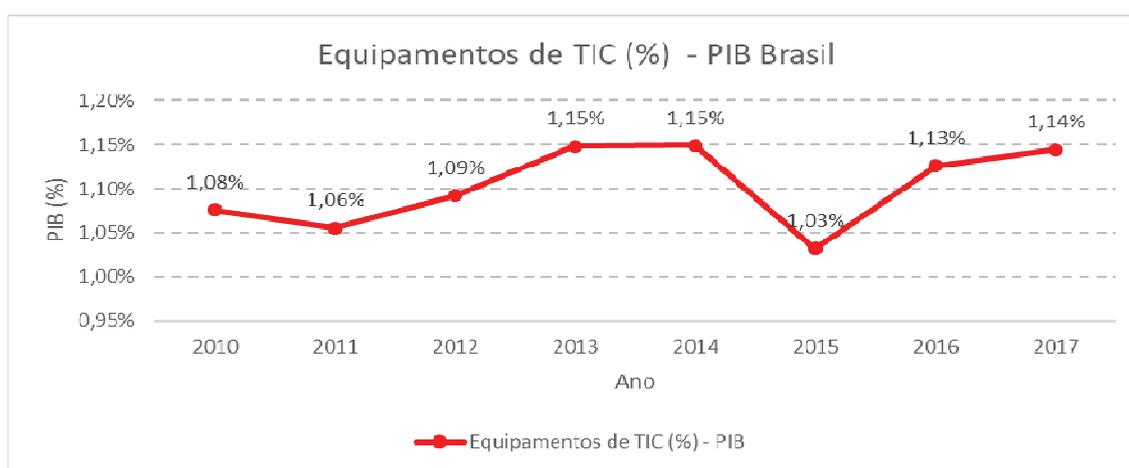
De acordo com o relatório que avalia a competitividade global (Schwab, 2018), o Brasil ocupa a 80ª posição de 137 países ranqueados, com a Alemanha em 5ª e o Japão em 9ª, países economicamente mais eficientes, sendo a China e a Índia, capaz de ocupar posições melhores que a do Brasil, 27ª e 40ª respectivamente. Os resultados são obtidos avaliando 12 pilares de competitividade, em três grupos índices de evolução: requisitos básicos, elevadores de

eficiência e fatores de inovação, sofisticação. Os pilares da eficiência, grupo de pilares intermediários, estão a necessidade de altos níveis de educação e treinamentos, mercado de bens com maior eficiência, mercado de trabalho eficiente, desenvolvimento do mercado financeiro, prontidão tecnológica e tamanho de mercado, são essas as demandas e que é onde exatamente o país encontra-se estacionado.

Segundo o relatório ainda, o pilar de tecnologia avalia o quão rápido a economia adota tecnologias existente para melhorar a produtividade de sua indústria com uma ênfase relacionada a capacidade de alavancagem total da informação e comunicação em atividades diárias e processos produtivos, para melhorar eficiência e habilitar inovação para a competitividade, nesses sentido um país que alcance esse nível de evolução tecnológica, se torna capaz para iniciar a transição para o estágio de sofisticação de negócios e inovação.

Dados do (IBGE, 2019) apresentam uma situação de estagnação nos investimentos em TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) no Brasil, percentualmente em relação ao PIB, sendo também perceptível a queda no ano de 2015, reflexo da crise econômica conforme é possível observar na Figura 6.

Figura 6 - Investimento em TIC percentual do PIB



Fonte: Autor com dados do IBGE (2017)

Os indicadores econômicos mostraram que o personagem mais fragilizado no período de crise econômica no país, foi sem dúvida a indústria de transformação. Esse é um subsetor que pode ser considerado como um dos principais agentes transformador, haja vista as

comparações anteriores, no objetivo de alavancar os indicadores e melhorar os cenários econômicos, com consequente desenvolvimento do país.

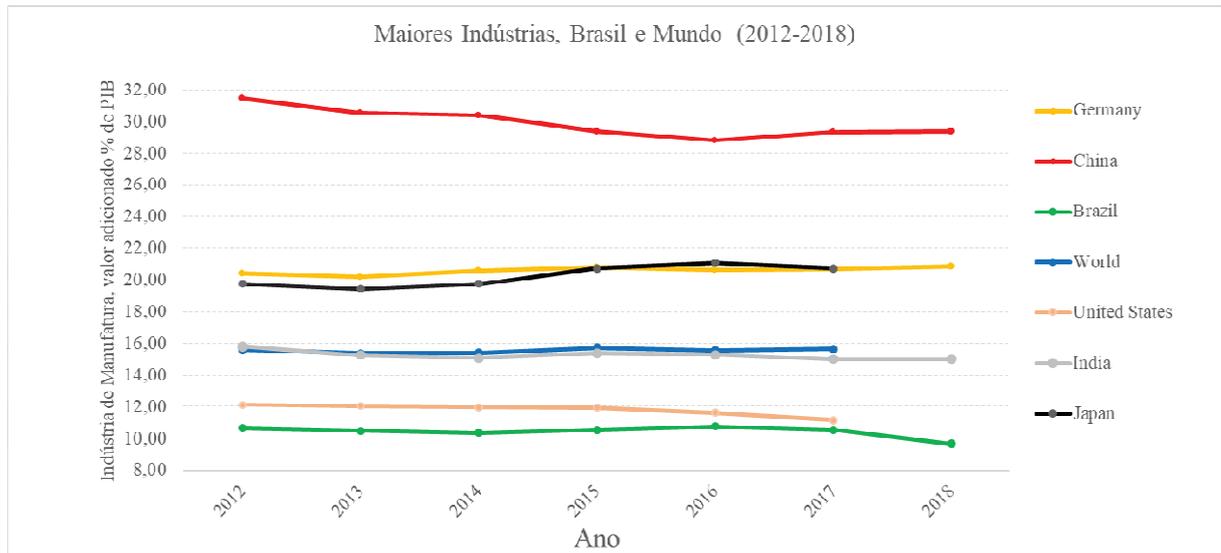
Porém, é necessário que investimentos voltem a patamares de 2013 e anos anteriores, não menos importante a necessidade de investimentos estruturais com o foco em tecnologia para indústria, mantendo estabilidade e um crescimento progressivo, e que principalmente a indústria do país consiga produzir com resultados satisfatórios em benefício das prioridades competitivas, qualidade, flexibilidade e confiabilidade e do sucesso das organizações.

#### 2.1.1.2 IMPACTOS ECONÔMICOS NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO

A indústria de transformação é o subsetor que mais impacta o PIB industrial e consequente PIB do país, ou seja, a participação desse subsetor nos últimos 10 anos apresentou uma média de 53,6% de peso sobre o montante do PIB industrial e 11% sobre o montante do PIB do país segundo dados ainda do (WBG, 2019), só no último ano de 2018, a representatividade foi de 52,4% sobre o PIB industrial e 9,66% sobre o PIB do país.

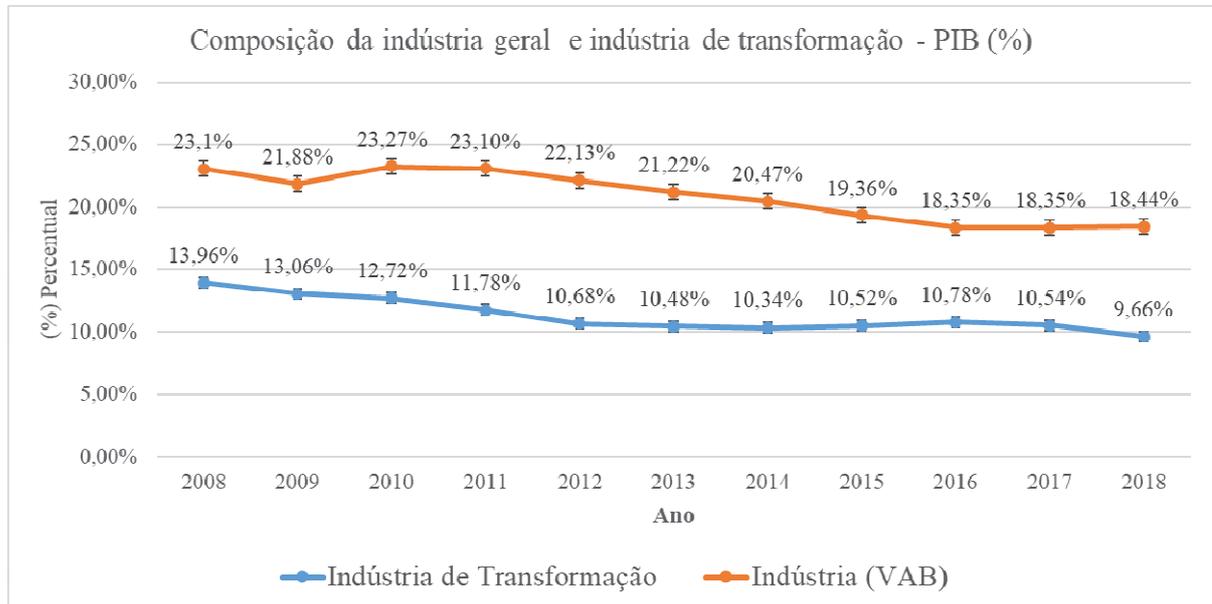
Para efeito de comparação ainda com os dados do (WBG, 2019), a economia mundial, apresenta uma média nos últimos 15 anos de 16,15% do peso da indústria de transformação no PIB, com cinco das dez maiores economias do mundo, na linha acima dos 15% e 7 dos 10 maiores PPC (Pib Per Capita) do mundo, na linha acima dos 10%, estando os EUA (Estados Unidos da América) em ambas as comparações, já que é o país com o maior PIB mundial e o segundo maior PIB industrial do mundo em termos reais, ficando atrás apenas da China. Na Figura 7, é possível ver a participação percentual do PIB industrial em algumas das maiores indústrias do mundo, no Brasil e a média mundial em um gráfico comparativo.

Figura 7 - Participação da indústria de transformação no PIB, maiores indústrias, Brasil e mundo



Fonte: Autor com dados de WBG (2019).

Figura 8 – Composição da indústria geral e industrial de transformação PIB (%)



Fonte: Autor com dados de IBGE (2019).

Observando a evolução desses dados internamente de acordo com o IBGE (2019), na Figura 8 é percebido que o Brasil está em uma tendência de desindustrialização da indústria de transformação que tem impactos diretos na indústria geral. Isso ocorre em função do

impacto da crise financeira em que internamente o consumo foi menor, em função da redução dos investimentos nesse setor visto que a produção diminuiu e muitas empresas tiveram ociosidade de produção e em função do cenário internacional que é de crise como a de países como a Argentina e nossas exportações são menores, além disso, a competitividade internacional é muito maior inviabilizando a produção brasileira para alguns segmentos.

Sendo esse o cenário econômico brasileiro, é importante que ações diversas sejam tomadas do ponto de vista governamental, para que a indústria de transformação volte a produzir em capacidade máxima e com isso os investimentos voltem a crescer. Com a retomada dos investimentos abre a possibilidade para que a estratégia Indústria 4.0, com a adoção de novas tecnologias e novos princípios de aplicação, possa estar presentes revolucionando e modernizando a indústria brasileira, beneficiando todo o contexto industrial e conseqüentemente a economia do país. A Indústria 4.0 é uma estratégia, e sem dúvida a revolução indústria do início do século XXI.

### 2.1.2 REVOLUÇÕES INDÚSTRIAS

Para um profundo entendimento do que é a representação da quarta revolução industrial nesse século é significativo saber as três primeiras revoluções industriais:

- A primeira revolução industrial fornece a base para a industrialização. Segundo Xu et al. (2018) a revolução teve início no final do século XVIII e início do século XIX, representada pela introdução de sistemas de manufatura mecânica utilizando água e vapor. Kagermann (2013) destaca as máquinas de tear mecânica que revolucionaram a forma como os bens eram produzidos. O que de fato aconteceu na Inglaterra no século 18 por volta do ano de 1760, segundo o historiador Ashton T. S (1955), a fabricação de artigos artesanais passou a ser realizada por máquinas, e é conhecido que entre os primeiros segmentos a utilizar esses equipamentos foi à indústria têxtil. O símbolo dessa revolução foi a uma máquina conhecida como “*Spinning Jenny*” que segundo Allen (2009) foi inventada por James Hargreaves em Lancashire em meados da década de 1760, mais ou menos na mesma época em que Richard Arkwright estava inventando seu quadro de água. A “*Spinning Jenny*”, no entanto, foi a primeira a ser usado em grande escala. Ele rapidamente substituiu as rodas de fiar na Grã-Bretanha. Foi a entrada de recursos que permitiam que a produção de qualquer artefato, pudesse ser mecanizada e não mais totalmente artesanal.

- Segundo Mokyr (1999) a segunda Revolução Industrial é geralmente datada entre 1870 e 1914, embora alguns de seus eventos característicos possam ser datados de 1850. É, no entanto, claro que a taxa rápida de invenções inovadoras (macro invenções) abrandou depois de 1825, e recuperou o vapor novamente no último terço do século. O trabalho de Ślusarczyk B (2018), destaca que na segunda metade do século XIX, houve a segunda revolução industrial na Europa e nos EUA e foi também caracterizada pela produção em massa e substituição de vapor por energia química e eletricidade. Para atender à crescente demanda, foi desenvolvida uma gama de tecnologias na indústria e mecanização, como uma linha de montagem com operação automatizada, permitindo um aumento no desempenho. Este período também viu uma série de desenvolvimentos de programas de gestão que tornaram possível aumentar a eficiência e a eficácia das instalações de fabricação.

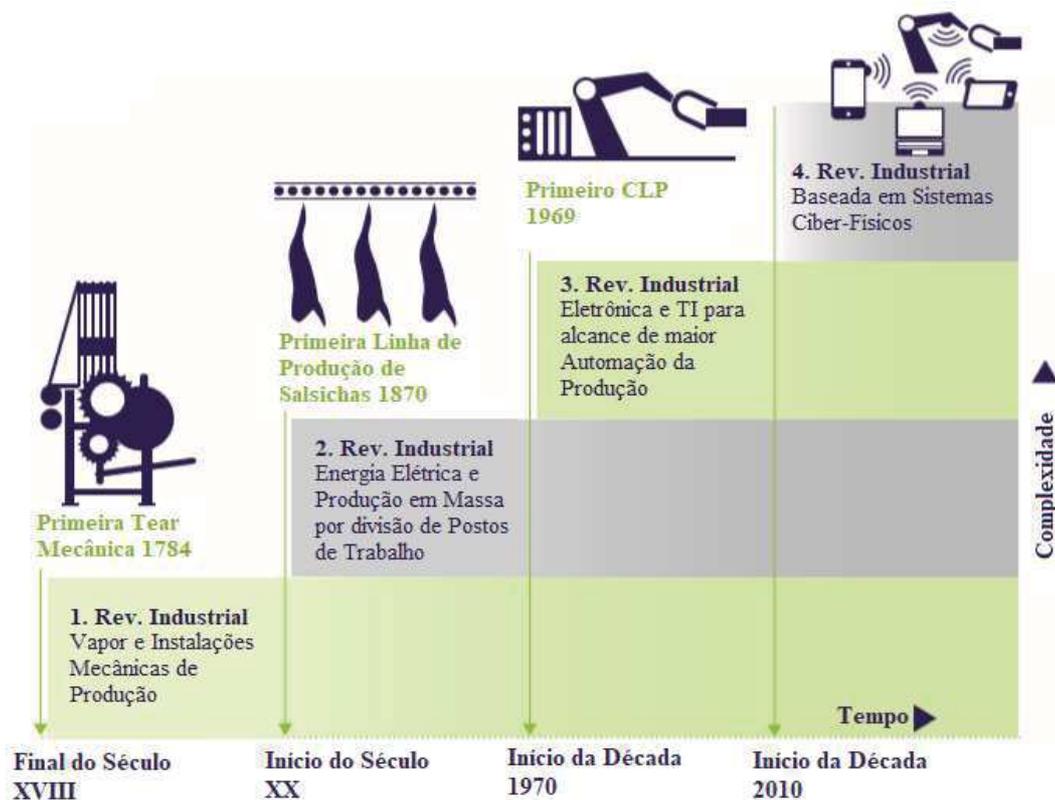
Nesse sentido, é importante desatacar o marco principal dessa revolução, ou seja, o desenvolvimento da energia elétrica, na figura principal do seu inventor, Nikola Tesla, que foi um cientista servo-croata que desenvolveu em 1888 o primeiro motor de corrente alternada contribuindo com o desenvolvimento da indústria em geral. Com relação aos programas de gestão e principalmente a produção em massa, é importante destacar o trabalho do engenheiro norte-americano (Frederick W. Taylor) que desenvolveu formas de administrar a produção na busca por produtividade do trabalho e influenciou o desenvolvimento da indústria automotiva com juntamente com o industrial (Henry Ford).

- A terceira revolução industrial começou no início dos anos 1970 e continuou até os dias de hoje. É a revolução que empregou a eletrônica e a tecnologia da informação (TI) para alcançar maior automação dos processos de fabricação, já que as máquinas assumiam não apenas uma proporção substancial do "trabalho manual", mas também parte do "trabalho intelectual" (KAGERMANN, 2013). A terceira revolução fornece a eletrônica que é a base para o desenvolvimento dos computadores e emerge em termos de processo a ideia de automação flexível. Conforme o item 2.1.1 a automação industrial surge como uma estratégia de produção na adoção de tecnologias de manufatura avançadas que são debatidas em maiores detalhes, na compreensão do legado da terceira revolução no item 2.1.3 desse trabalho.

- A quarta revolução fornece a base para a Indústria 4.0 com aplicações modernas de tecnologia da informação e comunicação e conectadas com integração da automação

industrial, rede de dados, e tecnologias de processos industriais contemporâneas como produção inteligente, interação humano máquina, manufatura aditiva e operações remotas (LUTHRA e MANGLA, 2018; BASL, 2017; KHAN et al., 2017; DUARTE e CRUZ-MACHADO, 2017). Essa revolução está ocorrendo através da estratégia Indústria 4.0 e outras estratégias internacionais com a “Manufatura Avançada” dos Estados Unidos e a “*Made in China*” da China. A Figura 9 descreve uma síntese das quatro revoluções industriais.

**Figura 9** - Revoluções industriais conforme o desenvolvimento tecnológico



Fonte: Kagermann, (2013) e DFKI, (2011)

Computadores, automação e robôs existiam nas décadas anteriores, mas as oportunidades oferecidas pela internet revolucionam seu uso e as oportunidades que elas oferecem (MONOSTORY, 2014; DELOITTE, 2015; GEISSBAUER et al., 2016; NAGY, et al., 2018). Enquanto a Indústria 3.0 se concentra na automação de máquinas e processos únicos, a Indústria 4.0 concentra-se na digitalização de ponta a ponta de todos os ativos físicos e na integração em ecossistemas digitais com parceiros da cadeia de valor. Gerar, analisar e

comunicar dados de forma direta sustenta os ganhos prometidos pela Indústria 4.0, que conecta uma ampla gama de novas tecnologias para criar valor (GEISSBAUER et al., 2016). As soluções cada vez mais baratas nos permitem monitorar as atividades, operações e processos de máquinas, materiais, trabalhadores e até os próprios produtos, e coletar, analisar e utilizar dados em tomadas de decisão em tempo real (NAGY, et al., 2018)

Desde 2010, novos fenômenos surgiram com base na extrema automação e conectividade representada. É uma característica especial que será uma implementação mais ampla da inteligência artificial (IA). A IA permite o processamento de grandes volumes de dados, incluindo o processamento de linguagens e imagens que os computadores não conseguem entender. Além disso, os sistemas de IA podem operar com crescente autonomia e capacidade em várias áreas, desde indústrias a residências privadas. A Quarta Revolução Industrial deve começar por volta de 2020, desenvolvendo IA, Internet das coisas (IoT), big data e robôs (PARK, 2018). A partir do item 2.1.4 as tecnologias são apresentadas com maior aprofundamento.

### 2.1.3 TECNOLOGIAS DA TERCEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

#### 2.1.3.1 TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA PRODUÇÃO

Skinner, (1969) sinalizou a entrada de uma nova força de trabalho na indústria, às dos especialistas em computação e a necessidade de estudos em torno da tecnologia na indústria, em temas como o grau de mecanização e a sofisticação tecnológica. Skinner (1974) considerou a ideia de que as empresas não são competitivas, pois suas políticas não são focadas em atividades-chaves de fabricação, para serem competitivas com suas indústrias, uma das características-chaves é o foco em tecnologia, ou seja, as empresas devem ter a partir de uma tecnologia de processo em desenvolvimento, e uma ou mais tecnologias de processos já desenvolvidas desde que seja possível o seu domínio pelos gestores.

Segundo Hayes et al. (2008), nos anos 60, a presença da TI nas empresas era caracterizada pelo uso de grandes computadores terminais interligados, leitores de cartão e programas customizados voltados para folhas de pagamento e cobrança de contas de empresas de pequeno e médio porte. Com a chegada da década seguinte e consequentemente a 3ª revolução industrial, os autores sugerem que surgiu a habilidade de compartilhar os recursos

de um tipo de computador conhecido como *mainframe*, em sistemas virtualizados, que permitiam a um grupo distribuído de usuários interagirem com a unidade de processamento como se eles fossem dedicados entre si. Isso desencadeou um uso muito mais variado da TI e permitiu que muito mais pessoas usassem suas capacitações.

A partir dos anos 80, muitas tecnologias se desenvolveram em função do poder de processamento do microcomputador, como planilhas e editores de texto individualizados bem como o próprio hardware. Ainda, segundo Hayes et al. (2008): “uma série de impressionantes desenvolvimentos de TI começou a tornar possível juntar as atividades de projeto e fabricação. Os sistemas de projeto auxiliado por computador (CAD – compute-Aided Design), que inicialmente eram ferramentas de desenho bidimensionais, desenvolveram a capacitação de apresentar modelos sólidos 3-D”. Os autores ainda concluem que hoje, a TI está em tudo, com a expansão não apenas para internamente à empresa mais também seus fornecedores, parceiros e clientes, sendo o papel da TI por muito tempo foi de ajudar a produção, agora é o coração da produção.

### 2.1.3.2 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A automação industrial ganhou grande visibilidade com o surgimento da Indústria 4.0 no início da década dos anos 2010, sendo responsável pela terceira revolução industrial, porém a literatura de Indústria 4.0 não trata especificamente essa revolução com grande ênfase, em função é claro da necessidade de descrever a revolução atual. Esse trabalho se dedica a apresentar a automação industrial com maior ênfase em sua revisão, demonstrando a importância que esse tema tem. Porém assim como a automação industrial foi e vêm sendo uma estratégia importante, a Indústria 4.0 é a estratégia para as novas tecnologias atuais. Perceba que empresas que não tiveram a automação como estratégia nas décadas passadas, terá um desafio maior para adotar as novas tecnologias da Indústria 4.0.

Como visto frequentemente na literatura, a implantação de automação industrial traz uma série de benefícios em competitividade como melhor qualidade de produção, flexibilidade de produto e de processo ao nível da planta, enquanto projeta uma vantagem competitiva na integração de informações auxiliando a tomada de decisão ao nível do negócio na supervisão de seus indicadores de competitividade e ao nível corporativo no acompanhamento dos principais resultados de um ou vários negócios.

Segundo Adam e Swamidass, (1989) e New (1992) o tema automação é tratado sempre como um substituto de postos de trabalho e fornecedor de flexibilidade, mas não presta atenção suficiente nos benefícios estratégicos da tecnologia, existindo uma grande oportunidade de estudos em vantagens competitivas como: velocidade de entrega, aumento da qualidade e confiabilidade e aumento de novos serviços que os clientes não poderiam prever. A literatura tem definido automação como o personagem que estabelece o nível de tecnologia, mecanização e automação, frequentemente baseado em computador e que é economicamente e tecnicamente factível.

Segundo Groover (2001) para automação, entre algumas razões estão o aumento de produtividade, redução de custos, redução de apontamentos manuais, mitigação do efeito de ociosidade, aumento de segurança da mão-de-obra e qualidade, redução de tempo de produção e entrega. Ritzman e Safizadeh (1999), sugerem que um processo automatizado é constituído de uma ação e uma regulação automática, que promete baixo custo de mão-de-obra, mas demanda alto custo de investimentos e capital mais intensivo, assim a automação flexível e programável pode ser cara, mas em alguns casos é justificada, mesmo quando a demanda por algum ou parte de um produto é baixa e ou seu ciclo de vida é curto.

Slack, Chambers e Johnston (2009) sugerem que a adoção de tecnologia automatizada é usualmente justificada por economias em termos de mão-de-obra, mas nem sempre isso significa que o efeito direto seja a economia global. Os gerentes devem considerar questões relacionadas a velocidade, segurança e confiabilidade nas operações, questões sobre domínio e qualificação operacional, reflexões sobre as necessidade e demandas futuras e como é representado o potencial humano, frente ao desempenho de produção.

Em concordância Safsten (2007), o autor considera que no planejamento e na implementação de sistemas de automação, existem inúmeras questões para considerar e destaca a necessidade de uma integração, entre processos com um alto nível de automação como a indústria de processos em contraste a indústria de manufatura (menor nível de automação), em uma solução comum em operações parcialmente automatizadas.

Em um estudo conceitual com a proposta de um uma estratégia genérica de produção na abordagem do alinhamento entre a estratégia de produção e a estratégia competitiva, (KOTHA e ORNE, 1989), sintetizam ideias de diversos pesquisadores da área classificando a

estratégia genérica em três dimensões da produção: complexidade da estrutura de processo de tecnologia, complexidade da linha de produto e escopo da organização.

A tecnologia é tratada de forma sistemática na primeira dimensão, e que de acordo com Devaraj et al. (2001) a dimensão complexidade da estrutura do processo, é descrita incluindo o conceito tradicional de maturidade de processo (Hayes and Wheelwright, 1979a,b, 1984; Woodward, 1958, 1965), com uma maior nível de detalhamento sendo entre as diferenças percebidas, a mudança de panorama de tecnologias de produção. Kotha e Orne (1989) ainda complementam: “a dimensão da estrutura do processo de tecnologia apresentada aqui, enquanto construída na abordagem tradicional, incorporou as recentes ideias de Chiantella (1982) e é rotulada complexidade da estrutura de processo e composta por três variáveis subjacentes” - nível de mecanização Tabela 3; nível de sistematização Tabela 4; e nível de interconexão Tabela 5.

**Tabela 2** - Nível de Mecanização

Nível de Mecanização	Descrição Funcional
1 - Manual	Um operador humano desempenha manualmente com o mínimo de ferramentas. Montagem de componentes e ferramentas manuais seria um exemplo.
2 - Máquina	O operador emprega assistência mecânica no desempenho de uma operação, como a fabricação de partes usando máquina fresadoras, tornos ou prensas.
3 - Sistema Fixo	Uma máquina com sistema fixo pode empregar lógica pneumática, sequenciamento mecânico ou controle numérico para executar uma sequência de operações. Nenhuma operação provisionada é feita com exceção do processo normal.
4 - Controle Programável	Sobre o controle programável a máquina deve executar uma sequência de operações e compensa por exceção a ocorrência de muitas. Uma máquina deve ser programada para desempenhar diferentes atividades.

Fonte – Kotha e Orne (1989)

**Tabela 3 - Nível de Sistematização**

Nível de Sistematização	Aplicações das Funções
Coleta de Dados	Gravação de ocorrências passadas - documentos (relatório) gerado por pelo menos algum tempo antes.
Relatórios de Eventos	Registrar informações como ocorrência de eventos - documentos são produzidos quando e onde requisitados.
Rastreamento	Um perfil contínuo de informação de eventos para uma série de operações ou movimentações.
Monitoramento	Dinamicamente comparando atual eventos para aqueles planejados. Mensagens de alertas são geradas.
Guia	Fornecer ações alternativas, e registra o curso da ação tomada.
Controle	Executa a ação de controle quando predefinido o evento a ação ocorre.

Fonte – Kotha e Orne (1989)

**Tabela 4 - Nível de Interconexão**

Fator de Interconexão	Descrição
Descontinuidade	Descontinuidade no material - fluxo de processo tende estar relacionado com o nível do estoque intermediário. Como o estoque é decrescente existe uma grande necessidade para integração entre os estágios de processo.
Interdependência Tecnológica	Mesmo com a presença substancial de estoques intermediários, é possível que diferentes estágios no processo de produção seja tecnologicamente interdependente. Como a interdependência cresce, existe inerentemente uma grande necessidade por integração entre os estágios de processo.
Flexibilidade Operacional	Flexibilidade operacional é primeiramente associada com o mix de tempo de produção através da fábrica e da frequência de mudança nos cronogramas de produção. Com um crescente nível de flexibilidade aumenta existe uma grande necessidade para integração entre os estágios de processo

Fonte – Kotha e Orne (1989)

Chin-Fu Ho (1996) sugerem que decisões de natureza estrutural assemelham um hardware de computador incluindo o escopo do produto a tecnologia do processo, aliança de produção e competências, assim a tecnologia de processo consiste no método e equipamento

utilizado para produzir um produto ou entregar um serviço. O autor se baseia também nas variáveis de Chiantella (1982) para descrever a dimensão da tecnologia de processo. Chiantella (1982) determina o nível de automação para uma tecnologia de processo específica, é como uma função que compõe o nível de mecanização e o nível de sistematização. Já o nível de interconexão descreve o nível de integração entre os vários processos de produção e seus componentes de vários fatores subordinados como: descontinuidade, interna independência tecnológica, e flexibilidade operacional.

A tipologia baseada em Woodward's (1958, 1965) e Chiantella (1982) apresentada mais amplamente por (Kotha e Orne, 1989), segundo Devaraj et al. (2004) tem sugerido a perda de alguma utilidade, particularmente na presença das Tecnologias de Manufatura Avançada (AMT) tal como os sistemas de produção flexíveis (FMS) e produção integrada por computador. Davaraj et al. (2001) em algumas de suas indagações, questionam como seria afetado, e como permanecer validado o seu estudo comparativo entre as estratégias de produção genérica de Kotha e Orne e Hayes e Wheelwright, no contexto de utilização da AMTs. Nesse sentido, Bozarth e McDermott (1998) sugerem que até o momento não havia sido testado empiricamente a tipologia de Kotha e Orne, e sim a de Hayes Wheelwright. Importante ressaltar que esse estudo trata apenas da parte da tipologia que aprofunda em tecnologia, ou seja, Kotha e Orne e Hayes Wheelwright apresentam a estratégia de produção de maneira geral.

Porém, segundo Melcher et al. (2002) os estudiosos em engenharia de produção encontraram problemas similares aos encontrados por estudiosos organizacionais, no desenvolvimento de tipologias que incorporam avanços em tecnologia da informação e encontram uma mínima validação de um sistema de classificação defensável. O autor ainda demonstra que Chiantella (1982) em suas definições para essas sub propriedades (Tabela 4, 5, 6), não se encontraram no teste de aditividade (heterogeneidade), pois faltam as mesmas características em geral para as escalas. Mecher et al. (2002) propõe em parte de seu sistema de produção, uma classificação construída com cinco variáveis que representam o nível de tecnologia do sistema de produção: baixa tecnologia (*job shop*), parcialmente automatizada (layout celular), sistema de produção polivalente com automação parcial, parcialmente sistema flexível focado em fábricas altamente automatizadas e sistemas de produção integrados por computador focadas em fábricas automatizadas.

Slack (1999), no entanto, um pouco mais genérico apresenta as dimensões da tecnologia como sendo: o grau de automação da tecnologia (quanto ela substitui trabalho humano por tecnologia), a escala da tecnologia (tamanho da capacidade da tecnologia) e o grau de integração da tecnologia (quantas partes diferentes da tecnologia são conectadas umas com as outras). Entretanto, as tecnologias de processo variam em seu grau de automação, variando em uma relação de esforço tecnológico e esforço humano empregado, sendo que nenhuma tecnologia opera totalmente sem a intervenção humana, pois ela deve ser, por exemplo, operada (mantida, reprogramada, etc.) por pessoas que podem ser consideradas como “cérebros do processo”.

Uma classificação alternativa é a de McCarthy e Fernandes (2000), que através de um modelo chamado, modelo de classificação multidimensional dos sistemas de produção, classifica o nível de automação das organizações como: automação normal, automação flexível, automação rígida e automação mista.

- Automação normal compreende todo tipo de mecanização onde o ser humano tem um alto grau de participação na operação ou nível de execução.

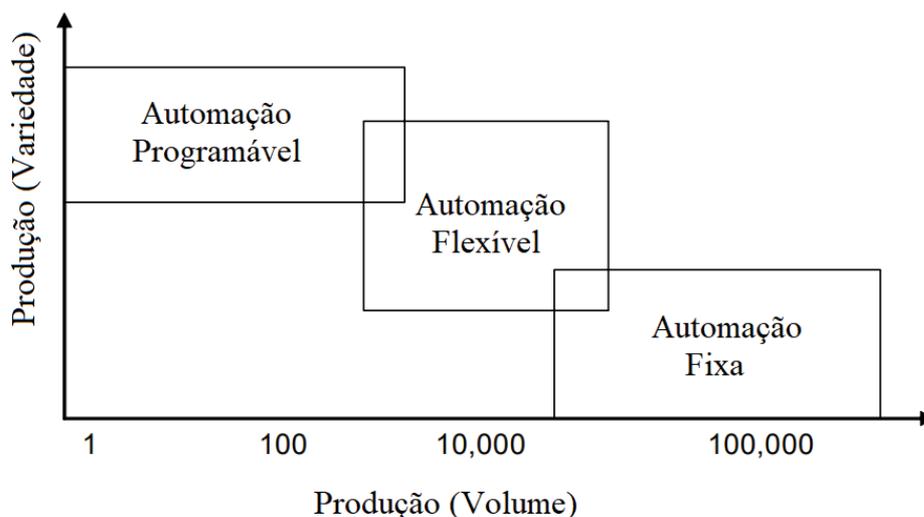
- Automação flexível tem, na operação ou nível de execução, o controle por computador no papel principal, trabalhando em rede com controle numérico, normalmente com alguma forma de tecnologia FMS.

- Automação rígida foi descrita como o tipo encontrado em linhas de transferência com equipamento altamente especializado e dedicado.

- Automação mista ocorre onde o sistema de produção processa unidades com diferentes níveis de automação.

Automação industrial segundo Groover (2001) é uma tecnologia preocupada com a aplicação de sistemas mecânicos, eletrônicos e baseada em computador para operar e controlar a produção. Os sistemas de manufatura são chamados de automatizados porque executam suas operações com um nível reduzido de participação humana. Na Figura 10 as classificações apresentadas pelo autor em três dimensões.

**Figura 10** - Três dimensões da automação relativa à volume e variedade de produção



Fonte: Groover (2001) e Winroth et al. (2005)

Segundo Sullivan (2009) as três dimensões podem ser abaixo definidas:

- Automação Fixa – é um sistema na qual a sequência de processamento (ou montagem) de produção, é fixada pela configuração do equipamento. Cada uma das operações na sequência é geralmente simples, envolvendo talvez um simples movimento linear ou rotacional ou uma combinação descomplicada dos dois, por exemplo, o abastecimento de um *spindle* rotativo. É a integração e coordenação de muitas dessas operações em um único equipamento que torna o sistema complexo.

- Automação Programável – nesse sistema o equipamento de produção é projetado com a capacidade de alterar a sequência de produção para acomodar diferentes configurações de produto. A sequência de produção é controlada por um programa, que é um conjunto de instruções codificadas para que possam ser lidas e interpretadas pelo sistema. Novos programas podem ser preparados e inseridos no equipamento para produzir novos produtos.

- Automação Flexível - é uma extensão da automação programável. Um sistema flexível automatizado é capaz de produzir uma variedade de peças (ou produtos) com praticamente nenhum tempo perdido para trocas de um estilo de peça para um próximo. Não a perda de tempo de produção ao reprogramar o sistema e alterar a configuração física (ferramentas, acessórios, configurações da máquina). Consequentemente, o sistema pode produzir várias combinações e programações de peças ou produtos, em vez de exigir que eles

sejam feitos em lotes. O que torna a automação flexível possível é que as diferenças entre as peças processadas pelo sistema não sejam significativas. É um caso de uma leve variação, de modo que a quantidade de mudança necessária entre os estilos é mínima.

As características de volume e variedade são também apresentadas por Slack (1999), além das três dimensões existentes na Figura 10, o autor considerou mais três dimensões intermediárias concluindo que as tecnologias em seus níveis de flexibilidade e desempenho econômico que se adequa a especificidade de cada processo. Ainda é presente na literatura, SHERIDAN (1997), INAGAKI (2003), SASFTEN et al. (2007), uma classificação com dez níveis de automação desde a total atividade manual até a automação totalmente integrada sem interferência humana.

Com o objetivo de verificar estudos empíricos, alguns estudos brasileiros foram selecionados para avaliar e perceber um pouco mais como é classificado tema automação.

Na publicação de Nogueira, Alves Filho, Torkomian (2001), referente a um múltiplo estudo de caso do setor de revestimentos cerâmicos, presentes em dois estados brasileiros o objetivo foi identificar a estratégia adotada pelas empresas, desse modo, foram avaliados o nível de automação nessas fábricas. O estudo classifica apenas em linhas em automatizadas ou processos manuais.

Godinho Filho e Fernandes (2002) analisando a estratégia de uma fábrica de canetas esferográficas classificaram seis processos diferentes da empresa baseado na classificação de McCarthy e Fernandes (2000).

Alves Filho, Nogueira, Bento (2011), em uma análise da estratégia de produção de seis montadoras de motores para automóveis, os autores observaram processos com alto grau de automação em quatro dos seis casos estudados. Sendo, para um caso a linha de montagem foi classificada com baixo grau de automação e em outro a linha foi considerada como de montagem e de usinagens flexíveis.

Já no artigo de Silva e Santos (2005) em uma análise em torno do alinhamento das estratégias competitivas e de produção do setor da indústria moveleira com 11 empresas na região de Votuporanga-SP, na área de tecnologia, todas as empresas indicaram possuir algum sistema de informática, os autores classificaram as máquinas de automação como fixa (que provêm de alta taxa de produção e pouca flexibilidade) e automação programável (lotes de médios e pequenos volumes).

Em estudo de Silva, Santos e Castro (2012), um *survey* em 99 empresas do setor moveleiro no Brasil, as tecnologias entre as empresas moveleiras foram classificadas nas que utilizam madeira maciça em automação fixa e empresas que utilizavam painéis de madeira, como de alta automação e grandes volumes, porém utilizando máquinas de automação flexível e programável.

Em geral os estudos brasileiros se baseiam no modelo de McCarthy e Fernandes (2000), também na primeira dimensão de Kotha e Orne (1989) referente ao nível de mecanização, que se assemelham à classificação de Groover (2001), referente às três dimensões da automação, visto na Figura 10.

Segundo Lindström e Winroth (2010), as razões para automatizar podem ser vistas de diferentes perspectivas, seja na perspectiva de uma empresa (visando desempenho nas prioridades competitivas) ou na perspectiva do projeto de um sistema de produção, que presta uma especial atenção no fator humano ao automatizar. Os autores realizaram um estudo de múltiplos casos, verificando entre vários aspectos, o nível de automação das empresas, porém adotando as variáveis de Frohm et al. (2008) conforme resumidamente na Tabela 6 abaixo:

**Tabela 5** - Variáveis de Níveis de Automação em atividades de produção

Nível de Automação (LoA)	Mecanização	Informação
1	Totalmente manual	Totalmente manual
2	Ferramenta manual estática	Ordenação de trabalho
3	Ferramenta manual flexível	Procedimento operacional
4	Ferramenta manual automatizada	Confirmação de atividade
5	Máquina/Estação de Trabalho estática	Supervisão e alarme
6	Máquina/Estação de Trabalho flexível	Atuação elétrica
7	Totalmente automático	Totalmente automático

Fonte: Frohm et al. (2008) e Lindström e Winroth (2010)

Em conclusão, o grau de automação escolhido nas operações, na perspectiva dos estudos de estratégia de produção, não é aprofundando levando em consideração os modelos acima apresentados. Os modelos suportam a escolha e definição dos projetos de automação, porém, um fator importante em estudos de caso verificado por (SAFSTEN et al., 2007) é que

na escolha do projeto as decisões da estratégia de automação afetam todas as demais áreas de decisão e devem ser tratadas em conjunto.

As considerações acima apresentaram a automação industrial como maior ênfase do ponto de vista da gestão da produção, assim esse estudo observa qual a abordagem do conteúdo da literatura nos últimos anos para, a partir desse legado, possamos entender a sua representatividade em termos de revolução e o fundamento, para melhor compreensão para transição de uma nova revolução, que entre a sua principal estratégia está a Indústria 4.0.

### 2.1.3.3 TECNOLOGIAS DE MANUFATURA AVANÇADA

Efetuada uma análise mais detalhada do significado das Tecnologias de Manufatura Avançada (AMTs), poderíamos considerá-las como uma estratégia nomeada como Indústria 3.0 conforme o trabalho de Chien et al. (2017), em que se desenvolveram pela literatura da estratégia de produção e principalmente a literatura americana, o que sugere a existência da estratégia de quarta revolução industrial americana ser chamada de “Manufatura Avançada”. Então, conforme esse contexto as tecnologias, que podem ser considerados como o legado da terceira revolução, são apresentadas abaixo.

A literatura examinou uma grande variedade de AMTs incluindo: CAD (*Computer-aided design*), CAM (*Computer-aided Manufacturing*), máquinas CNCs (*Computer Numerically Controlled*), FMS (*Flexible Manufacturing Systems*), PDM (*Product Data Management*), CAPP (*Computer-aided Process Planning*), MRPII (*Material Requirements Planning*), ERP (*Enterprise Resource Planning Systems*) e EDI (*Electronic Data Interchange*) sistemas como potenciais recursos de inovação (NAIR e SWINK, 2007).

As AMTs abrangem uma ampla gama de inovações tecnológicas baseadas em computador, que incluem ferramentas de NC (controle numérico), fabricação de celulares, centros de usinagem, robôs industriais, sistemas de CAD/CAM e AS e RS (sistemas automatizados de armazenamento e recuperação). Essas “ilhas de automação” são integradas por meio de uma avançada tecnologia de computação chamada CIM (fabricação integrada por computador) (UDO e EHIE, 1996).

Albuquerque e Silva, (2002) destaca que o progresso na eletrônica e microinformática tem impulsionado o surgimento e difusão de novos e modernos ambientes de manufatura,

caracterizados pelo emprego das AMTs, que são todos os hardwares e softwares avançados de produção, característicos dos modernos sistemas de manufatura, destacando-se o CAD, a CAM, a CIM, o CNC, o FMS, o MRP/MRPII e a OPT. A essas técnicas somam-se a gama de equipamentos de automação e robótica.

De acordo com Small e Yasin (1997) as tecnologias como CAD (projeto assistido por computador), CAPP (planejamento de processo auxiliado por computador), CNC (controle numérico computadorizado), FMC / FMS (células / sistemas flexíveis de manufatura) e CIM (fabricação integrada por computador) oferecem às empresas que as adotam potencial para, ganhar acesso antecipado ao mercado, responder mais rapidamente às necessidades dos clientes e oferecer produtos de maior qualidade com melhor consistência e confiabilidade. No Quadro 1, a taxonomia das AMTs.

**Quadro 1-** Taxonomias de tecnologias de manufatura avançada

<b>A.</b>	<b>Sistemas Stand-Alone</b>
1.	Tecnologias de Projeto e Engenharia
	- CAD - Computer-aided design (Projeto assistido por Computador)
	- CAPP - Computer-aided process planning (Planejamento de Processo assistido por Computador)
2.	Tecnologias de Fabricação/Usinagem e Montagem
	- NC/CNC/DNC - Computer/Direct Numerical Control (Comando numérico computadorizado/direto)
	- (MWL) Material Working Lasers
	- Robôs de Pegar e Carregar
	- Outros Robôs
<b>B.</b>	<b>Sistemas Intermediários</b>
3.	Tecnologias Automatizadas de Transporte de Materiais
	- NC/CNC/DNC - Computer/Direct Numerical Control (Comando numérico computadorizado/direto)
	- (MWL) Material Working Lasers
4.	Inspeção Automatizados e Sistemas de Testes
	- Inspeção Automatizada e Equipamentos de Teste
<b>C.</b>	<b>Sistemas Integrados</b>
5.	Tecnologia Flexível de Produção
	- FMS/FMC - Flexible Manufacturing Systems/Cells (Sistema/Células flexível de manufatura)
6.	Sistema de Produção Integrado por Computador
	- CIM - Computer-Integrated Manufacturing (Produção Integrada por Computador)
7.	Sistemas Relacionados à Logística
	- JIT - Just-in-Time
	- MRP - Material Requirements Planning (Planejamento das necessidades de materias)
	- MRP II - Material Requirements Planning (Planejamento das necessidades de materias)

Fonte – Small e Chen (1995) / Departamento de Comercio dos EUA (1989)

Boyer et al. (1997) define AMTs como um termo chave para descrever uma variedade de tecnologias em que primariamente utilizam computadores para controlar, buscar ou

monitorar atividades de produção, sejam elas diretamente ou indiretamente. O autor ainda complementa que muitas tecnologias ou programas em que não envolve diretamente computadores, são também considerados AMTs, desde que eles estejam intimamente associados com outras tecnologias AMT. A AMT é o subconjunto de manufatura da tecnologia da informação e compreende tecnologias específicas como sistemas flexíveis de manufatura (FMS), bem como a integração de aspectos da manufatura em sistemas de manufatura integrada por computador (CIM). (MAJCHRZAK, 1998; DEAN e SNEEL, 1996; DEAN e SUSMAN, 1989;).

Segundo Twigg et al. (1992), é identificado por Kaplinsky, (1984), três individuais grupo de atividades para integração de tecnologias, que são aplicáveis para qualquer processo produtivo, sendo eles: projeto, produção e supervisão. O autor identifica ainda três tipos de AMTs que ajuda a entender o movimento em direção das tecnologias integradas:

- Automação em atividades individuais – na esfera de projetos são atividades que são realizadas à mão com auxílio de uma ferramenta CAD.

- Automação em atividades conectadas – na esfera de projetos são atividades ligadas entre desenhos realizados em CAD e análise de projeto.

- Automação em esferas conectadas – quando uma atividade de projeto se integra com uma atividade de produção.

Essa classificação ajuda a entender o movimento em torno das tecnologias integradas e cada tipo das atividades de automação pode ser comparado com aspectos de tecnologias como CAD / CAM.

Boyer (1999b) atribui à necessidade de investimentos para a produção em três tipos AMTs: AMT baseada em projetos, que foca no projeto do produto e do processo; AMT baseada na produção que foca na atual produção e transformação de matérias-primas e insumos em produtos; AMT baseada na administração, que é usada primeiramente para rastrear entradas e saídas das operações. As AMTs não apenas têm características de implantação de soluções ao nível relativo ao processo produtivo e seu respectivo nível gerencial, mas também ao nível gerencial da organização como um todo, envolvendo os três níveis de estratégia, ou seja, produção, competitiva e corporativa. Integração entre áreas operacionais podem ser melhoradas, no entanto com uma grande ênfase sendo dada para projetos de integração entre as áreas (TWIGG et al., 1992).

Nesse sentido, o nível de integração das tecnologias AMT no processo produtivo, determinará em qual nível estratégico no gerenciamento de informações, a organização terá alcançado. Meredith e Hill (1987) sugerem que a alta administração se tornou um dos elementos chaves nas decisões relacionadas às AMTs no mais alto nível de automação em função da dificuldade associada ao objetivo de quantificar tais decisões.

Evoluindo para um alto nível de integração com um pleno monitoramento dos sistemas associado às tecnologias digitais e seus respectivos princípios em um ambiente propício, é possível afirmar que a revolução está ocorrendo, assim, o processo de implantação das AMTs naturalmente migra para uma nova perspectiva conhecida como Indústria 4.0. Entretanto para tal migração, as observações realizadas na terceira revolução industrial como, o seu sucesso e fracasso, os benefícios da implantação, a demanda por investimentos, se tornam fundamentais para referência e aprendizado do que pode ser benéfico e aproveitado. Na sequência são apresentadas essas observações relacionando ambas as revoluções.

#### 2.1.4 TECNOLOGIAS DA QUARTA REVOLUÇÃO INDÚSTRIAL

Muitas pesquisas são demandas para entender com maior profundidade a Indústria 4.0. No entanto muitas tecnologias da Indústria 4.0 tem um papel fundamental no cenário atual, já que a revolução digital surge no momento em que tecnologias já existentes ganham um maior poder de processamento e evoluções em suas capacidades técnicas, no entanto é importante destacar que apesar desse protagonismo, a Indústria 4.0 depende de princípios associados às tecnologias para promover uma revolução efetivamente, ou seja, os princípios que serão apresentados no item 2.1.5, são tão importantes quanto às tecnologias. Abaixo estão apresentadas as principais tecnologias com base na revisão da literatura dos desafios de adoção das tecnologias apresentada a partir do item 2.2.2.

##### 2.1.4.1 IIoT – INTERNET INDUSTRIAL DAS COISAS

Segundo Gubbi et al. (2013) o termo “Internet das Coisas” foi cunhado pela primeira vez por Kevin Ashton (1999), no contexto da gestão da cadeia de suprimentos. Nagy et al.,(2018) e Hermann et al. (2016), em seu estudo a IoT é um termo para “dispositivos

móveis” que são equipados com um chip, RFID, sensor ou qualquer outro dispositivo capaz de trabalhar em rede, e são capazes de se comunicar e compartilhar dados. A IoT, também pode ser um sinônimo do conceito da Indústria 4.0, que segundo Schlaepfer e Koch (2015), é mais usado na Europa, sendo que os EUA e geralmente os países de língua inglesa, utilizam o termo IoT para essa transformação digital. A IoT internet das coisas no contexto da Indústria 4.0 é comumente referida como IIoT internet industrial das coisas, que trata da aplicação industrial das IOTs (GHOBAKHLOO, 2018; WANG, G. et al., 2016). A IoT industrial (IIoT) foi introduzida recentemente como a adoção da IoT nos domínios da produção e ou industrial (LEE, et al. 2017; KANG et al. 2012). De acordo com Sadeghi et al. (2015) uma tendência emergente é integrar componentes eletrônicos mais sofisticados em sistemas de produção, interconectá-los e integrá-los em sistemas de TI comerciais convencionais. A IIoT resultante é a base para um novo nível de organização e gerenciamento de cadeias de valor industriais e permite uma produção altamente flexível e de economia de recursos, bem como maior individualização de produtos ao custo da produção em massa. Segundo Lee et al. (2017), devido ao avançado desenvolvimento da IIoT, o setor industrial empreendeu uma nova mudança de paradigma, desde a manufatura tradicional até a manufatura contemporânea da Indústria 4.0, com o apoio de sistemas ciberfísicos (CPS). A IIoT não se refere apenas à rede de objetos físicos na indústria, mas também inclui as representações digitais de produtos, processos e infraestrutura de fabricação, como modelos 3D ou modelos de comportamento físico de máquinas (GHOBAKHLOO, 2018, JESCHKE et al., 2017).

#### 2.1.4.2 CPPSS – SISTEMAS DE PRODUÇÃO CIBER-FÍSICOS

Segundo Baheti e Gill (2011), o termo CPS refere-se a uma nova geração de sistemas com capacidades computacionais e físicas integradas que podem interagir com os seres humanos através de muitas novas modalidades. Schlaepfer e Koch (2015), acreditam que a ampla adoção pela indústria de manufatura e operações tradicionais de produção de tecnologia da informação e comunicação TIC está cada vez mais obscurecendo as fronteiras entre o mundo real e o mundo virtual no que é conhecido como CCPSs sistemas de manufatura ciber-físicos.

Os sistemas de CPS compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção que foram desenvolvidos digitalmente e caracterizam integração de

ponta a ponta baseada em TIC, da logística de entrada à produção, marketing, logística de saída e serviços (KAGERMANN, 2013). Os CPPS consistem em elementos e subsistemas autônomos e cooperativos que estão entrando em conexão uns com os outros de formas dependentes da situação, em todos os níveis de produção, desde os processos, passando pelas máquinas até as redes de produção e logística. (MONOSTORI, 2014)

Segundo Sadeghi et al. (2015) na abordagem entre as diferenças entre a TI clássica e os CPPSs, integridade e confidencialidade são objetivos primários de proteção dos sistemas de TI corporativos clássicos e, portanto, a proteção contra os ataques cibernéticos é geralmente uma negociação entre segurança e disponibilidade. Por exemplo, se ocorrer um ataque cibernético, os sistemas de TI afetados são normalmente desativados temporariamente e depois restaurados após o ataque. No entanto, essa abordagem não pode ser aplicada ao CPPS, onde a disponibilidade é um requisito fundamental. O autor ainda conclui que, outras diferenças devem-se aos requisitos rigorosos em tempo real do CPPS, seus recursos computacionais, de memória e de energia limitados e a longa vida útil dos sistemas de produção industrial.

Com o auxílio de sensores os CPSs são capazes de coletar diretamente, processar e avaliar os dados, enquanto os atuadores permitem que eles reajam a mudanças e as facilidades da comunicação digital permitem que eles interajam com outros sistemas CPSs. Em relação às fábricas inteligentes, um sistema CPPS, pode ser criado quando vários sistemas CPSs estão conectados e interagem uns com os outros (SEITZ e NYHUIS, 2015). A integração vertical utiliza CPPSs para habilitar plantas para reagir rapidamente às mudanças na demanda ou nos níveis de estoque e falhas. CPPSs habilitam ainda não somente organizações autônomas de gerenciamento de produção, mas também de gestão de manutenção. (SCHLAEPFER e KOCH, 2015)

#### 2.1.4.3 CYBER SECURITY

A segurança cibernética ou “cyber security” é um elemento chave da Indústria 4.0, dado que todas as organizações que utilizam a Internet correm o risco de serem atacadas. O “*Stuxnet*” nunca pode ser esquecido, o malware notório que infestava os sistemas de controle nas usinas nucleares e manipulava a velocidade das centrífugas, fazendo com que elas saíssem do controle. Não há dúvida de que a Indústria 4.0 será desafiada pelos problemas tradicionais

de segurança cibernética, juntamente com seus próprios problemas exclusivos de segurança e privacidade (GHOBAKHLOO, 2018; THAMES e SCHAEFER, 2017).

Segundo Geissbauer et al. (2016) os ecossistemas digitais e o amplo uso de dados também levantam questões importantes sobre a segurança cibernética. Mais pontos de contato nos quais os dados são coletados e trocados também significam mais possíveis pontos de entrada para um invasor. Segundo a pesquisa dos autores, foi sinalizada pelos respondentes, uma ampla gama de preocupações em torno da segurança de dados, com a interrupção operacional de violações de segurança cibernética no topo de sua lista conforme pode ser visto na Figura 11:

**Figura 11** - Preocupações em torno da Segurança de Dados



Fonte: Geissbauer et al. (2016)

Um dos recursos da Indústria 4.0 é a capacidade de conectar ambientes multi-organizacionais, que tem o potencial de tornar a cadeia de suprimentos mais eficiente. No entanto, os sistemas de cadeia de suprimentos possuem vulnerabilidades de segurança inerentes, que são exploradas pelos invasores. Uma das vulnerabilidades de segurança começa com o fornecedor, que é vulnerável a ataques de “phishing” (espécie de roubo de dados pessoais) e ao roubo de credenciais privilegiadas, resultando em exposição em massa aos

dados. A maior vulnerabilidade está no topo da cadeia de suprimentos, atingindo o restante dos processos organizacionais através de seus atores dependentes. A segurança é o principal requisito para transformar uma fábrica em um fator mais inteligente e uma cadeia de suprimentos em cadeias de valor mais inteligente. (LUTHRA e MANGLA, 2018; SOMMER, 2015; WANG, S. et al.; 2016; PEREIRA et al., 2017)

#### 2.1.4.4 REDES DE COMUNICAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

Sobre redes inteligentes, de acordo com o trabalho de Jazdi (2014), sistemas e equipamentos automatizados, sistemas de logística interna e suprimentos operacionais são consistentemente integrados com a ajuda da tecnologia cibernética, como serviços de comunicação sem fio e de telefonia fixa, atuadores e sensores inteligentes e tecnologias de telecomunicações. Isso lhes dá acesso direto aos processos e serviços de nível superior. Isso dá origem a completamente novas tecnologias, com valor agregado e modelos de negócios que suportam a utilização ideal de recursos e o controle inteligente. Os recentes avanços na tecnologia de comunicação permitem a interconexão em uma escala mais ampla e mais refinada, muitas tecnologias emergentes estão promovendo o desenvolvimento da IoT, incluindo a identificação por radiofrequência (RFID), comunicação de campo próximo (NFC), Bluetooth de baixa energia, evolução de longo prazo - avançada (LTE-A), etc. (WOLLSCHLAEGGER, et al., 2017; ZHANG Y. et al., 2017a; WAN, et al., 2016).

A Indústria 4.0 envolve a coordenação não apenas dentro de uma fábrica, mas também entre diferentes fábricas, a fim de tornar toda a indústria de manufatura eficiente com menos manutenção e avarias. Assim, o requisito de comunicação na Indústria 4.0 é focado em vários fatores, como confiabilidade, latência, longevidade de dispositivos de comunicação, em oposição a apenas a taxa de transferência, um foco tradicional de sistemas de comunicação sem fio centrado no ser humano. (VARGHESE, TANDUR, 2014). Segundo Want et al. (2015), um obstáculo significativo para a plena realização da IoT está relacionado à escala - especificamente, expandir a Internet para a escala IoT significa que o espaço de endereçamento da Internet precisará aumentar em várias ordens de grandeza. Portanto, outro requisito para suportar a IoT é um espaço de endereço de dispositivo maior do que o fornecido pelo IPv4. Para permitir esse tipo de expansão, a IETF (*Internet Engineering Task Force* - Força-tarefa de engenharia da Internet) está trabalhando no padrão IPv6 há algum

tempo. Quando a transição estiver concluída, o espaço de endereçamento será grande o suficiente para suportar todos os objetos no planeta, permitindo que computadores incorporados de todos os tamanhos sejam facilmente integrados à Internet. O protocolo IPv6 foi lançado em 2012 e utiliza 128 bits em vez de 32 bits relativos ao IPv4, aumentando de 4,3 bilhões de endereços fixos para 340 sextilhões na internet. A proposta dessa tecnologia é que mais equipamentos conectados sejam inseridos na indústria no sentido de monitorar e publicar na internet um processo ao mesmo tempo sendo base para outro equipamento, processo ou empresa, executem ações de controle e tomadas de decisões (KAGERMANN, 2013).

Segundo Varghese e Tandur (2014), a comunicação desempenha um papel muito importante na habilitação dos sistemas e tecnologias da Indústria 4.0. Semelhante ao conceito da Indústria 4.0, a quinta geração (5G) do padrão de rede celular recentemente ganhou muito interesse tanto na comunidade acadêmica quanto na de pesquisa. O 5G visa abordar a Indústria 4.0 como parte dos requisitos de M2M (*machine to machine* – Máquina à Máquina), além dos requisitos de dados gerados por humanos. A rede de comunicação M2M, segundo Oztemel e Gursev (2018) e Biral et al. (2015) refere-se à comunicação direta entre dispositivos usando qualquer canal, com ou sem fio. A comunicação M2M pode incluir instrumentação industrial, permitindo que um sensor ou medidor comunique os dados que registra à uma aplicação de software que pode usá-lo. Oztemel e Gursev (2018) ainda complementam que a comunicação M2M é a tecnologia que permite às empresas estabelecer comunicação sem fio entre *data centers* e máquinas. De acordo com Benitez (2012), considera a tecnologia M2M (comunicação máquina para máquina) como uma computação em nuvem orientada a equipamentos industriais conectados na internet, em termos gerais equipamentos de controle de processos como CLPs, transmissores, controladores, remotas, etc. Com o desenvolvimento de novos dispositivos conectados, essa tecnologia se justificará, pois, o volume de informação crescerá exponencialmente e investimentos em infraestrutura física em loco não serão mais viabilizados já que poderão encontrar em um ambiente virtual, todos os benefícios à um custo reduzido. O autor ainda destaca que adotar essa tecnologia envolve se preparar com alguns desafios como a conectividade, a integridade dos dados e a confidencialidade do negócio.

#### 2.1.4.5 REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO

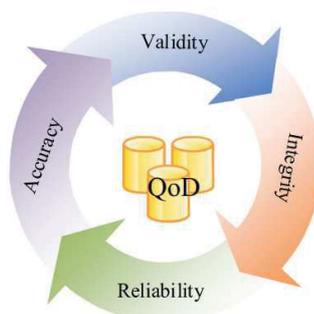
Redes sem fio industriais (IWNs) são tecnologias chaves que permitem a implantação da Indústria 4.0. A maioria das pessoas está ciente das crescentes vantagens que redes sem fio podem oferecer, desde experimentar acesso fácil a serviços de internet de alta velocidade usando telefones celulares, laptops, ou outros dispositivos móveis. As redes sem fio têm vários méritos, incluindo flexibilidade, falta de fiação e mobilidade, o que tornou as redes sem fio móvel populares em equipamentos eletrônicos (LI et al., 2017). Segundo Wang et al. (2017), a comunicação sem fio é flexível em comparação com as soluções com fio, mas ainda faltam produtos de comunicação sem fio industriais robustos. Segundo Willig (2005), tecnologias sem fio podem ser vantajosas em ambientes industriais. Devido à tendência geral de padronização e ao fato de que tecnologias sem fio baratas e comerciais estão disponíveis, parece lógico investigá-las quanto à sua adequação na implantação industrial.

De acordo com Li e Wan (2018), à medida que os sistemas de manufatura mudam de padrões automatizados para estruturas inteligentes, como fábricas inteligentes na Indústria 4.0, as redes sem fio industriais (IWNs) estão servindo como sistemas de comunicação promissores que podem ser aplicados ao campo da manufatura. Quando os elementos móveis e os nós estáticos são introduzidos no sistema, grandes quantidades de dados baixados de redes móveis ou tele-servidores podem ser um dos maiores desafios para redes móveis sem fio industriais (IMWNs).

Entre as aplicações, as informações de localização dos nós desempenham um papel importante na compreensão desse contexto. Um sistema ideal de posicionamento sem fio deve ser flexível e robusto para a qualidade de transmissão exigida (Qualidade de Serviço). Além disso, os modernos sistemas de localização devem ter um baixo custo e economia de energia (um requisito particularmente importante para aplicações móveis). Os algoritmos de localização em tempo real, precisos, robustos e confiáveis, protocolos de comunicação e serviços são necessários na futura geração de redes de comunicação (LIU et al., 2012). Segundo Li et al. (2017), as IWNs possuem um grande número de nós móveis e muitos requisitos específicos para um ambiente industrial. Os principais desafios técnicos importantes em termos de restrições, desafios e objetivos de projeto para a realização de IWNs 4.0 podem ser delineados da seguinte forma: topologia dinâmica, interferência de sinal e perda de conexão, limitação em baterias de elementos autônomos, alteração de localização,

colisões e barreiras físicas. O autor ainda apresenta os principais pilares da qualidade de dados na visão dos usuários finais para as redes sem fio na indústria 4.0, ou seja, validade, integridade, confiabilidade, precisão, conforme Figura 12.

Figura 12 - Qualidade dos dados em redes indústrias sem fio



Fonte: Li et al. (2017)

Segundo Roessler (2013), a telefonia móvel é um elemento essencial na indústria 4.0 para o gerenciamento dos processos produtivos, alguns requisitos de implementação devem ser previstos, pois, servidores adicionais ainda tem um custo elevado e os aplicativos devem ser projetados para funcionarem com um amplo espectro de dispositivos móveis e navegadores utilizando atualmente, para que os usuários não sejam obrigados a comprar novos dispositivos móveis ou novos softwares navegadores. Nesse sentido mesmo utilizando tecnologias atuais as aplicações vão sofrer muita evolução até atingir o modelo necessário de indústria 4.0, e como um dos requisitos de melhoria, a disponibilidade de sinal em todo o espaço terrestre se torna imprescindível e a necessidade de novos padrões de comunicação e meios físicos deverão ser desenvolvidos em adequação aos “*Big Datas*”.

#### 2.1.4.6 COMPUTAÇÃO EM NUVEM

A computação em nuvem é uma dessas tecnologias inteligentes que está transformando a indústria de transformação segundo Xu (2011). O principal objetivo da computação em nuvem é fornecer serviços de computação sob uma demanda com alta confiabilidade, escalabilidade e disponibilidade em um ambiente distribuído.

Segundo Thames e Schaefer (2016) a computação em nuvem é outro paradigma crescente que contribuirá significativamente para o sucesso da Indústria 4.0. A computação em nuvem é um paradigma de computação distribuída em larga escala impulsionado por economias de escala, em que um *pool* de recursos de computação abstraídos, virtualizados e dinamicamente escaláveis é fornecido sob demanda como serviços para clientes externos através de redes. Os modelos típicos de serviços em nuvem incluem Infraestrutura como serviço (IaaS), Plataforma como serviço (PaaS) e Software como serviço (SaaS) (DUAN, 2017). A nuvem com Infraestrutura como Serviço (IaaS), Plataforma como Serviço (PaaS) e Software como Serviço (SaaS) fornece uma solução integrada promissora (MELL e GRANCE, 2011; CHAÂRI, et al., 2016) para enfrentar esses desafios que tradicionais servidores com capacidade limitada podem não ser capazes de lidar com novos desafios em termos de escalabilidade e complexidade de sistemas da indústria 4.0. (VERBA et al., 2019)

Duan (2017) e Armbrust et al. (2009) concluem ainda que, as principais características desse paradigma de computação emergente incluem a ilusão de recursos computacionais infinitos; a eliminação de um compromisso inicial por parte dos usuários da nuvem; e a capacidade de pagar pelo uso conforme necessário.

Outro termo utilizado é o da fabricação em nuvem, que segundo Xu (2011) e Zhong et al. (2017) refere-se a um modelo de manufatura avançada sob o suporte da computação em nuvem, da IoT, da virtualização e das tecnologias orientadas a serviços, que transformam os recursos de manufatura em serviços que podem ser compartilhados e divulgados de forma abrangente.

Uma definição bastante utilizadas na literatura de computação em nuvem está atribuída à uma instituição dos EUA chamada NIST (Instituto Nacional de Normas e Tecnologia), que a define como:

“A computação em nuvem é um modelo de permissão de acesso à redes, onipresentes, convenientes e sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos de computação configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com esforço mínimo de gerenciamento ou interação com provedores de serviços”.

Baseado nessa definição acima, Thames e Schaefer (2016) concordam que a tecnologia pode ser descrito como um modelo de fabricação em rede que explora o acesso sob demanda a uma coleção compartilhada de recursos de produção diversificados e distribuídos para

formar temporariamente, linhas de produção ciber-físicas reconfiguráveis que aumentam a eficiência, reduzem os custos do ciclo de vida do produto e permitem a alocação ideal de recursos em resposta a tarefas geradas pelo cliente com demanda variável.

Segundo Wu et al. (2013), a computação em nuvem requer uma interação entre três grupos no modelo de interação fornecedor consumidor: usuários (consumidores), fornecedores de aplicações, e fornecedores de recursos físicos. A necessidade dos usuários estará associada com as capacidades de fornecedores de recursos através da camada aplicação. Esse modelo de três grupos representa um simples mercado de oferta e demanda que irá motivar a existência da computação em nuvem.

Xu (2011) apresenta detalhadamente os requisitos de cada um dos grupos do modelo, para os requisitos do fornecedor os elementos são os baseados no modelo de entrega de serviços, questões centradas no serviço, qualidade do serviço, interoperabilidade, tolerância de falha, balanço de carga e gestão da virtualização. Com relação aos requisitos da empresa, os elementos são a implantação da nuvem para empresas, segurança e processo de gestão do negócio. Por fim, os requisitos do usuário se resumem a faturamento e medição baseados no consumo do usuário, centrada na privacidade do usuário, acordos ou contratos de nível de prestação de serviço ao usuário e a experiência do usuário. Na fabricação de nuvens, vários recursos e capacidades de produção podem ser inteligentemente detectados e conectados à nuvem. As tecnologias de IoT, como RFID e códigos de barras, podem ser usadas para gerenciar e controlar automaticamente esses recursos, de modo que eles possam ser digitalizados para serem compartilhados. As tecnologias orientadas a serviços e a computação em nuvem são os suportes subjacentes para esse conceito. Como resultado, os recursos e capacidades de fabricação podem ser virtualizados, encapsulados e distribuídos em vários serviços que podem ser acessados, invocados e implementados (ZHONG et al. 2017; WU et al., 2013).

#### 2.1.4.7 *BIG DATA* E ANÁLISES

As tecnologias de *Big Data* referem-se à uma nova geração de tecnologias e arquiteturas que permitem às organizações extrair valor economicamente por meio da descoberta, captura e análise de volumes muito grandes de uma ampla variedade de dados (GHOBAKHLOO, 2018). De acordo com Chen Y. (2017), o *Big Data* analítico, está se

tornando um componente essencial do ambiente de IoT de hoje. Refere-se ao processo de extração de informações e conhecimento do *Big Data*, descobrindo clusters ocultos e correlações, para que padrões sistemáticos possam ser reconhecidos e uma decisão melhor possa ser tomada. Uma enorme quantidade de dados está disponível em todo o processo de fabricação hoje, de máquinas, produção, logística e feedbacks de usuário. Esses dados geralmente não estavam disponíveis ou não existiam no ambiente de produção tradicional, portanto, os analistas convencionais não conseguiam lidar com grandes quantidades de dados.

De acordo com Lu Y. (2017) e Wee et al. (2015), a Indústria 4.0 aumenta a digitalização da produção com os CPSs, na qual redes conectadas de humanos e robôs interagem e trabalham juntos com informações compartilhadas e analisadas, com o apoio do *Big Data* e da computação em nuvem ao longo de toda cadeia de valor industrial. Como o crescimento de dados é um grande desafio nas infraestruturas móveis de hoje, o gerenciamento desse *Big Data* dirigido a redes em ambientes de nuvem é um problema premente (ZEYDAN, et al. 2016)

Segundo Sadeghi et al., (2015) a integração da computação clássica em sistemas de produção, as megatendências emergentes, como computação móvel, computação em nuvem e *Big Data*, estão se tornando importantes impulsionadores da inovação na indústria. Algoritmos de *Big Data* preveem falhas nas máquinas, reduzindo os tempos de inatividade e os custos de manutenção. Entre outras coisas, análises do *Big Data*, podem habilitar gerentes para identificar defeitos, falhas e deficiências no processo produtivo em um estágio inicial, otimizando a automação de processos e executando as tendências de análises, uso mais eficiente de recursos e execução de manutenção preventiva (SCHLAEPFER e KOCH, 2015).

Segundo Babiceanu e Seker (2016), um aspecto muito importante da pesquisa em *Big Data* é a análise de dados, sem a qual os outros aspectos do *Big Data*, como coleta, armazenamento e uso, não teriam muito valor. Ou seja, se resume no fato de que dados não estruturados representam 95% dos dados rotulados como “*Big Data*”.

Segundo Demchenko (2013) em uma série de publicações, é atribuído para o *Big Data* ter características como Volume, Velocidade e Variedade, chamados de três “V’s” do *Big Data*. O autor propõem a existência de mais dois “V’s”, ou seja. Valor e Veracidade. No entanto, segundo Zhang L. (2014), o projeto de *Big Data* dirigido para CPSs, requer a introdução de novos conceitos para modelar estruturas de dados clássicas, as características

“V’s”, restrições de tempo e restrições espaciais e o comportamento dinâmico e contínuo do mundo físico. O autor acredita que o *Big Data* têm grande características de dados e é um termo usualmente descrito pelos seguintes aspectos conhecido como sete “V’s”: Volume, Velocidade, Variedade, Veracidade, Validade, Valor e Volatilidade.

Adicionalmente, as dimensões "V" acima no esforço para analisar *Big Data* não resultam em limitações do processamento de *Big Data* para domínios de manufatura. As seis dimensões adicionadas essencialmente fornecem uma melhor caracterização, do ponto de vista de engenharia, dos dados coletados de aplicativos de manufatura e seus processos relacionados. Além disso, a compreensão do processo oferecida pela análise de Big Data vem de mais do que apenas as três primeiras dimensões "V". São os aspectos de engenharia que valorizam a análise de *Big Data* para o domínio de manufatura (BABICEANU e SEKER, 2016; DAVENPORT; 2014).

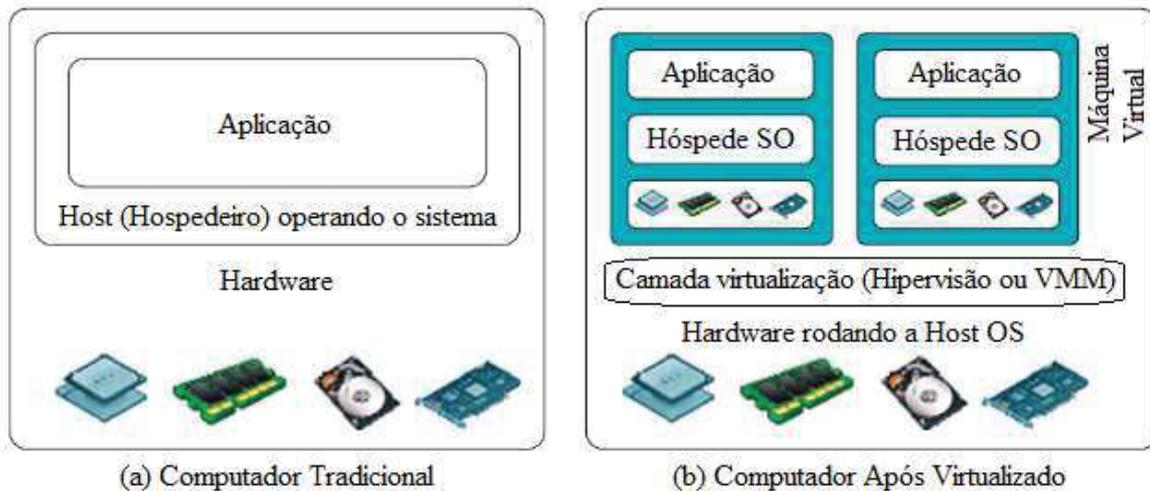
#### 2.1.4.8 VIRTUALIZAÇÃO

De acordo com Hwang (2012), a virtualização é uma tecnologia de arquitetura de computador na qual múltiplas máquinas virtuais, são incorporadas em um mesmo hardware. A proposta da virtualização de sistemas é aprimorar o compartilhamento de recursos entre muitos usuários e melhorar o desempenho computacional em termos de utilização de recursos e flexibilidade de aplicações. O autor ainda sugere que os surgimentos dos primeiros conceitos da tecnologia de virtualização vieram da década de 60. Segundo a IBM (2018), a empresa foi responsável por desenvolver o primeiro projeto de virtualização, que após muito desenvolvimento, em 2 de agosto de 1972 o chamado IBM VM 370, foi lançado oficialmente como um produto da empresa. Abaixo a arquitetura de virtualização para aplicações de TI na figura 13.

De acordo com o site Infoester (2018), o desenvolvimento dessa tecnologia foi necessário em função da falta de flexibilidade que a tecnologia da informação tinha no período inicial a terceira revolução industrial, a Infoester destaca ainda uma das razões para o surgimento da virtualização é que, anos atrás, na época em que os mainframes dominavam o cenário tecnológico e não havia computadores pessoais, por exemplo, não existia a praticidade de adquirir, instalar e usar um software - este era acompanhado de bibliotecas e

outros recursos que o tornavam quase que exclusivos ao o computador para o qual foi desenvolvido originalmente.

Figura 13 - A arquitetura de um sistema de computação antes e depois da virtualização, onde VMM (virtual machine monitor) dá suporte para o monitor de máquina virtual



Fonte: Hwang (2012)

Com o desenvolvimento da virtualização no mesmo período da terceira revolução industrial, o conceito destinado aos computadores da época se desenvolveu para os computadores de hoje, assim com o desenvolvimento de tecnologias como o sensoriamento e as redes de comunicação diversas, esse conceito se estendeu na quarta revolução industrial, para as máquinas e processos industriais. Mouradian et al. (2014) e Loveland et al. (2008) concluem que a virtualização permite a abstração de recursos reais de computação física em unidades lógicas, possibilitando seu uso eficiente por vários usuários independentes. Seu papel é fundamental para a eficiência dos recursos. A virtualização pode ser realizada nos níveis do nó e da rede. Nesse sentido Mouradian et al. (2016) destaca que a tecnologia de virtualização abstrai os recursos dos sensores como unidades lógicas e permite seu uso eficiente e simultâneo por vários aplicativos, mesmo que tenham requisitos e objetivos conflitantes. Novos aplicativos podem ser implantados na mesma rede de sensores sem fio (WSN) com o mínimo esforço. Khan et al. (2016) agrupa as abordagens de virtualização no nível do nó sob dois aspectos: soluções baseadas no sistema operacional do sensor (SO) e soluções baseadas em máquinas virtuais / *middleware* (VM/M). Nas soluções baseadas em SO

do sensor, a virtualização no nível do nó faz parte do sistema operacional do sensor. Em soluções baseadas em VM/M, a virtualização em nível de nó é executada por um componente em execução no topo do sistema operacional do sensor. Para a virtualização no nível de rede, Khan et al. (2016) agrupa a abordagem novamente em dois aspectos: soluções baseadas em rede virtual / sobreposição e soluções baseadas em cluster. As soluções baseadas em rede virtual / sobreposição utilizam o conceito de redes virtuais e sobreposições de aplicativos para obter virtualização em nível de rede. Rede virtual / sobreposição são redes lógicas criadas na (s) rede (s) física (s).

Máquinas tradicionais não possuem sensores, interfaces web e inteligência. A IoT e as tecnologias da informação podem atualizar máquinas com sensores ativos, acesso à web e automação inteligente. O encapsulamento de serviços projetados e modelo de acesso de virtualização da máquina fará com que a máquina tradicional seja conectada de maneira flexível à plataforma de produção em nuvem por meio de um modo “*plug and play*”. (ZHANG Y. et al., 2017b). Segundo Tarallo et al. (2018), a informatização da produção é um dos principais desafios da Indústria 4.0. A virtualização da fábrica inteligente deve fornecer visão em tempo real, controle e monitoramento da produção através de painéis interativos e sincronização de dados provenientes de diferentes funções de fábrica. O autor ainda apresenta os elementos que o conceito de virtualização deveria envolver: visão e controle em tempo real das linhas de produção através de painéis interativos; detecção de erros em tempo real; sincronização de dados provenientes de produção, controle qualidade e componentes de produção do almoxarifado. Já os autores Lu e Xu (2018) propõe um framework aplicado à um espaço virtual, onde nesse espaço, a abstração digital dos ativos de produção, incluem três partes integrais: especificação técnica, capacidade funcional e disponibilidade de informação.

#### 2.1.4.9 REALIDADE VIRTUAL

A RV (Realidade Virtual), às vezes chamada de tecnologia de computação imersiva, oferece uma maneira única de interagir com o cenário digital sempre crescente e é frequentemente descrita como um conjunto de tecnologias que permitem que as pessoas vivenciem uma imersão em um mundo além da realidade (BERG e VANCE, 2017). A RV é uma tecnologia de computador que cria um ambiente simulado, coloca o usuário dentro de um mundo virtual, ao contrário de outras interfaces de usuário tradicionais e pode simular vários

sentidos, como visão, audição, tato e olfato (EHMANN e WITTENBERG, 2018; DÖRNER, et al., 2013).

Berge e Vance (2017) sugerem também que uma quantidade de principais tecnologias de RV surgiu ao longo dos anos, o que permite que uma pessoa experimente sinergicamente um ambiente virtual. As tecnologias de exibição vêm em uma variedade de modalidades e tamanhos, cada uma com o objetivo de fornecer informações aos nossos sentidos, especialmente visão, audição e tato. Embora as exibições de olfato e paladar tenham recebido, compreensivelmente, menos atenção, os displays para visão, audição e toque progrediram consideravelmente. O espaço virtual oferece uma quantidade de possibilidades de apresentação e interação que não são imagináveis e tecnicamente realizáveis no mundo real. Novas e inovadoras possibilidades de interação entre os humanos e os sistemas parecem ser possíveis. Exibições multidimensionais - arranjadas de maneira escalonada - são imagináveis (EHMANN e WITTENBERG, 2018)

Segundo Priggemeyer et al. (2018), para que os processos automatizados em células robóticas, em pequenas e médias empresas sejam produtivos, devem ser reconfiguráveis para pequenos lotes de produção e flexíveis. No entanto, para que isso ocorra, o autor sugere uma abordagem da Indústria 4.0, criando um “*digital twin*”, ou seja, uma versão virtual de um robô real. Os requisitos para implementação dessas tecnologias, segundo o autor, é ter um ambiente de software que incluem todos os elementos e permita a execução e controle do processo enquanto mantém um mínimo conjunto de pontos de referência para deduzir as peças e os elementos de trabalho de uma célula. Bécue et al. (2018) em seu estudo acredita que os “*digital twins*” para a Indústria 4.0 têm sido o tópico de muitos trabalhos de pesquisa. Estudos sobre sua aplicação na melhoria do design, otimização de chão de fábrica ou personalização de produtos, entre outros, estão se proliferando. O autor conclui que em suma, “*digital twins*” pode ser o mais forte aliado para apoiar a melhoria em testes e treinamento em segurança cibernética, juntamente com as faixas cibernéticas, para permitir a antecipação de riscos e a previsão precisa do impacto.

Linn et al. (2017) acredita que o uso da RV em ambientes industriais tem sido investigado em diversos cenários de aplicação. Aplicações populares são treinamento de técnicos, simulação de processos de fabricação, projeto de produtos e tarefas de montagem. Nesses cenários, a tecnologia de RV mostrou seu potencial para acelerar o trabalho, reduzir

custos e simplificar processos em comparação com abordagens tradicionais, abaixo na Figura 14, são exemplos reais de aplicações da tecnologia.

Figura 14 - Display montado na cabeça com sistema de videowall à esquerda, e simulações físicas avançadas em diversas aplicações à direita.



Fonte: Berg e Vance (2017) e Rossmann e Schluse (2011)

Ainda que a realidade virtual, tem sido utilizada para manutenção e inspeção, primeiramente para treinamento e educação de técnicos e empregados no desempenho de processo de manutenção e em segundo em manutenção remota (LINN et al., 2017). Os simuladores baseados em Realidade Virtual permitem não apenas treinar com segurança nas máquinas virtuais, mas também apoiar a prática de situações "não-nominais" e de contingência e, assim, criar "*testbeds*" ideais para o desenvolvimento colaborativo e treinamento de máquinas operacionais. (ROSSMANN e SCHLUSE, 2011)

Um VTB (*virtual testbed*) é executado por um sistema de simulação que fornece várias vantagens considerando diferentes domínios como (Dinâmica Corporal Rígida, Simulação de Sensor, etc.) que podem ser utilizados para um modelo de sistema holístico (PRIGGEMEYER et al. 2018). Interagir com um ambiente virtual é um componente crítico de muitas aplicações de RV. Sistemas de rastreamento de uma variedade de meios (óptico, magnético, ultrassônico, inercial, etc.) permitem que a posição e a orientação de objetos físicos sejam calculadas dentro de um espaço físico em tempo real (BERG e VANCE, 2017).

#### 2.1.4.10 REALIDADE AUMENTADA

A realidade aumentada (RA) refere-se à integração de informações adicionais geradas por computador em um ambiente do mundo real. A maioria dos aplicativos RA atuais integra gráficos de computador na visão do usuário do ambiente atual. As aplicações de RA têm alto potencial para melhorar a experiência do usuário de aplicativos nos quais os usuários devem acessar e interagir com informações que tenham uma relação espacial direta com seu ambiente imediato (PAELKE, 2014). Segundo Benešová et al. (2018) a realidade aumentada integra objetos virtuais 3D ao ambiente real em tempo real. O objetivo da realidade aumentada é aumentar a percepção que o usuário tem da realidade, conforme pode ser visto na Figura 15 um exemplo ilustrativo de montagem com suporte da realidade aumentada.

Figura 15 - Visualização do usuário em operação de pegar e montar



Fonte: Paelke, 2014

A realidade aumentada é capaz de projetar instruções assistidas à vista do usuário ou diretamente no local no objeto de interesse. As projeções podem ser em 2D ou em 3D, por exemplo, ao usar óculos RA binoculares. Uma variedade de dispositivos RA diferentes (projetores, tablets, óculos monoculares e binoculares) e abordagens para dar instruções têm sido apresentadas na literatura (BLATTGERSTE et al., 2018). Por meio do RA, a indústria espera alcançar a redução de erros, bem como a redução de tempo e custo, melhor treinamento dos funcionários e aumento do nível de rotação de tarefas entre os operadores (MURAUER, 2018). Subakti e Jiang (2018), acreditam que em particular, o uso interno da tecnologia de RA no ambiente industrial pode ajudar os operadores a visualizar dados e informações industriais de maneira mais direta e intuitiva. Muitos sistemas e aplicações AR

atuais são baseados em marcadores visuais, como imagens e códigos QR, porém tais sistemas são adequados para ambientes controlados de objetos estáticos e exigem que marcadores sejam colocados com antecedência. Os autores realizam um estudo em outra vertente da aplicação, ou seja, em sistemas AR sem marcadores baseados no reconhecimento de imagens de aprendizagem profunda ou “*deep learning*”. Ong et al. (2008), classifica as aplicações em: em montagem; manutenção, serviço reparação e inspeção; desenvolvimento de produtos; layout de produção; telerobôs; e simulação de usinagem por controle numérico aumentado. Wang X. et al. (2016) acreditam que a RA foi implementada para lidar com uma ampla gama de problemas durante a fase de montagem no ciclo de vida de um produto, por exemplo, planejamento, projeto, avaliação de ergonomia, orientação de operação e treinamento, criando um ambiente aprimorado onde objetos virtuais (instruções, recursos visuais, e componentes industriais) coexistem e interagem com os objetos e o ambiente reais. Já Fite-Georgel et al., (2011) definem cinco etapas do ciclo de vida utilizadas ao longo de seu artigo como uma taxonomia para agrupar cada sistema: projeto do produto, produção, comissionamento, inspeção e manutenção, encerramento do ciclo do produto.

No que se refere às aplicações de manutenção, as instruções serão mais fáceis de entender se estiverem disponíveis, não como manuais com texto e imagens, mas como informações geradas por computador sobrepostas ao equipamento real e mostrando as tarefas relevantes que precisam ser feitas passo-a-passo e como fazê-las (ONG et al. 2008). A informação sobreposta pode ser animada, fazendo as instruções ainda mais explícitas, no entanto, Gattullo et al. (2019), conclui que a criação de uma documentação em RA ainda é um processo complexo e consome tempo: ela requer modelagem 3D, computação gráfica / habilidades de animação, programação e conhecimento sobre registro e rastreamento. Essas competências não são tipicamente parte do histórico dos escritores técnicos.

No universo de processos de desenvolvimento de novos produtos, as aplicações de RA estabelecem uma plataforma para se conectar com o consumidor em fases relevantes desse processo, como geração de ideias e validação de produtos (SILVA et al., 2019). A abordagem colaborativa no processo integra perspectivas diversificadas entre os parceiros do fluxo de valor e os clientes que são obrigados a enfrentar essa dinâmica. Ong et al. (2008) complementa que muitas modificações e ajustes de produtos ou componentes individuais são frequentemente realizados em fases avançadas de projeto, ou mesmo durante a fase de

produção. O ambiente de simulação AR, como uma ferramenta intuitiva e rápida, é a solução ideal para revisão de projeto e validação ergonômica.

Lee H. (2019) propõe um novo *framework* efetivo para simulação de manufatura que incorpora informações espaço-temporais usando técnicas de RA. A estrutura reflete mudanças no ambiente de fabricação em tempo real. Assim as tecnologias de realidade aumentada são consideradas a ferramenta mais adequada para incorporar ambientes de produção em tempo real em um modelo de simulação. Ong et al. (2008) acreditam que a RA tem a vantagem adicional de ser aplicável a grandes conjuntos de indústrias e fábricas e pode ser aplicado a diferentes cenários, para acesso a dados espaciais, navegação e aumento de imagens em tempo real. Segundo Islam et al. (2015), o registro adequado do mundo real ou seja, dados da área de trabalho com os dados de imagem gráfica é um requisito para aplicar RA em um sistema de visão estéreo tele robótico, os autores apresentam uma estratégia detalhada para aumentar um sistema de visão estéreo tele robótico com sobreposições gráficas. Ong et al. (2008) complementam que em um sistema tele robótico assistido por RA, o operador pode usar uma imagem visual do espaço de trabalho remoto para guiar um robô real ou virtual. Anotações relevantes da visão ou cena que estão na frente do operador seriam úteis para a tarefa. Brizzi et al. (2018) classifica as soluções de RA para tele operação em duas categorias, que são mutuamente complementares: aprimoramento da incorporação e instalação virtual

Em processos de usinagem, de acordo com Ong et al. (2008), a simulação de usinagem de NC aumentada usando peças de trabalho virtuais e ferramentas de corte reais e ambiente de usinagem permite aos usuários visualizar melhor as condições de usinagem e evitar colisão de ferramentas com acessórios e outros componentes sem ter que construir modelos precisos do ambiente. Já em aplicações de fábricas inteligentes para ambientes da Indústria 4.0, o artigo de Malý et. al (2016), demonstra o desenvolvimento de um aplicativo AR que utiliza um robô industrial para tarefas de chão de fábrica como manutenção ou trabalho cooperativo de humanos e robôs. O aplicativo AR foi projetado e desenvolvido para óculos inteligentes com gestos aéreos com auxílio de Leap motion, ou seja, sensores para aplicações com gestos, e com auxílio de telefones celulares com interações com toque. Para visualização do robô, o aplicativo AR usa o esboço, visualização virtual ou nenhuma visualização do robô. Para a visualização dos pontos no robô, o aplicativo AR usa a visualização de setas 3D, visualização de linha principal e visualização de texto.

#### 2.1.4.11 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Inteligência Artificial (IA) é definida como uma ciência que permite o processamento de grandes volumes de dados, incluindo o processamento de linguagens naturais e imagens as quais os computadores não conseguem compreender. Além disso, os sistemas de IA podem operar sistemas com crescente autonomia e capacidades em várias áreas, desde as indústrias até as áreas como a automação residencial (PARK, 2018). Terziyan et al. (2018) concluíram que a IA embarcada em vários processos de planejamento, produção e gerenciamento dentro do contexto da Indústria 4.0, deve ter a iniciativa e a responsabilidade de tomar as decisões necessárias em tempo real em uma série ocasiões. Lee et al. (2018), define a IA como uma disciplina sistemática, que se concentra no desenvolvimento, validação e implementação de vários algoritmos de aprendizado de máquina para aplicações industriais com desempenho sustentável. O autor relaciona os elementos-chave que caracterizam a inteligência artificial na indústria, incluindo as seguintes tecnologias: tecnologia analítica; tecnologia do Big Data, tecnologia de computação em nuvem; conhecimento de domínio; e evidência. As tecnologias citadas por Lee et al. (2018), estão amplamente apresentadas nessa obra, porém os dois últimos elementos conhecimentos de domínio e evidência são descritos a seguir com base no autor:

Conhecimento de domínio reúne os seguintes aspectos: compreender o problema e concentrar o poder da IA Industrial em resolvê-lo; entender o sistema para que dados corretos com a qualidade certa possam ser coletados; entender os significados físicos dos parâmetros e como eles estão associados às características físicas de um sistema ou processo; e entender como esses parâmetros variam de máquina para máquina.

Evidências – É também um elemento essencial na validação de modelos de IA industrial e incorporam-nos com capacidade de aprendizagem cumulativa. Ao reunir padrões de dados e as evidências (ou rótulos) associados a esses padrões, podemos apenas melhorar o modelo de IA para nos tornarmos mais precisos, abrangentes e robustos à medida que envelhecerem.

Wan J. et al. (2018b), classifica as aplicações de tecnologias da inteligência artificial nas seguintes camadas de uma fábrica inteligente: camada de aplicação, camada de nuvem, camada de rede, camada de dispositivos inteligentes. No Quadro 2, é possível verificar as tecnologias de cada camada de aplicações.

Como pode ser visto, existe um vasto campo de aplicações das tecnologias de IA na indústria inteligente, porém essa obra destaca duas importantes tecnologias o aprendizado de máquina ou ML “*machine learning*” da camada aplicação, e a visão de máquina ou MV “*machine vision*” da camada dispositivo inteligente. O ML pode ser definido como a capacidade de um programa e / ou de um sistema de aprender e melhorar seu desempenho em uma determinada tarefa ou grupo de tarefas ao longo do tempo e tem como objetivo responder a muitas das mesmas questões que as estatísticas ou a mineração de dados (PATCHA e PARK, 2007), criarem ferramentas e analisar esses dados e perceber quais são as tendências e correlações subjacentes (PERES et al., 2018).

**Quadro 2** - Aplicações de IA nas várias camadas da fabrica inteligente

Camada de Aplicação	Grupos de Robôs Industriais
	Sistemas de Robôs em Nuvem
	Sistemas Reconfiguráveis de Recursos
	Método de Monitoramento de Status de Equipamentos
	Método de Diagnóstico de Rede
Camada de Nuvem	Método de Balanceamento de Carga Multi-Tarefa
	Sistema de Alocação de Recurso em Nuvem
	Dados de Produção de Alta Complexidade e Dimensão
	Sistema de Processamento de Dados Paralelo
	Sistema Industrial Distribuído
Camada de Rede	Rede de Sensores sem Fio Incerta
	Rede de Sensores sem Fio
	Rede de Sensores sem Fio Cognitiva
	Rede Industrial sem fio Cognitiva
Camada de Dispositivos Inteligentes	Planejamento de Trajeto de Sistema de Robôs Móveis
	Planejamento de Trajeto de Sistema de Multi Robôs
	Sistema de Classificação Automática de Peças de Trabalho
	Sistema de Medição de Peças de Eixo

Fonte: Baseado em Wan J. et al. (2018)

Segundo Nuzzi et al. (2018), no contexto colaborativo entre homem e robô, por exemplo em aplicações de MVs, a tecnologia desempenha um papel central: permite que o robô veja o ambiente e / ou se concentre em sua tarefa específica. Isso significa tornar o sistema robótico mais flexível e automatizado, deixando de ser um sistema rígido e altamente

limitado; por exemplo, identificando a posição dos objetos a serem apanhados inteiramente por conta própria, sem precisar que eles estejam em uma posição específica e fixa.

#### 2.1.4.12 MANUFATURA ADITIVA – MA

Manufatura Aditiva (MA) é uma maneira de converter um modelo 3D, como um arquivo CAD, em um objeto físico ligando ou unindo materiais por meio de luz, vibração ultrassônica, laser e feixe de elétrons. Tem características diferentes, de acordo com os materiais ou métodos de colagem. (KANG et al., 2016; PAL et al., 2013). A sua realização através de uma tecnologia de ponta é a tecnologia de impressão 3D. A manufatura aditiva começou como uma tecnologia de prototipagem rápida que realizou as ideias de produto dos engenheiros de projeto nos anos 80 e agora está sendo usada não apenas para prototipagem, mas também para fabricar produtos completos graças aos avanços em tecnologia de materiais e laminação. (KANG et al., 2016; CAMPBELL et al., 2012)

A ASTM (*American Society for Testing Materials*) órgão estadunidense de normatização de materiais define AM como um processo de união de materiais para produzir partes, a partir de um dado modelo em 3D, normalmente camada a camada, com uma oposição aos modelos de produção subtrativos e formativos (SALVADOR e DE LA CRUZ, 2018; ASTM, 2018).

Nos últimos anos segundo Flores Ituarte et al. (2017) e Simpson et al. (2016), as tecnologias de impressão 3D (também conhecida como manufatura aditiva), tem estado em posição de destaque na produção. Segundo Flores Ituarte et al. (2017) melhorias nos sistemas de MA juntamente com novas capacidades de processamento de materiais, tem feito a tecnologia adequada para aplicações de produção. A hipótese é que MA pode coexistir e, em certos casos, até mesmo substituir as técnicas de produção baseada nos métodos subtrativo (torneamento, fresamento, refitificação, eletro erosão a fio, etc.) e formativo.

Nesse sentido Wang B. (2018) sugere que com relação às técnicas de processamento, a manufatura aditiva está ganhando aceitação mais ampla como um processo de 'produção direta' devido à melhor seleção de materiais, propriedade do material, eficiência e qualidade. No entanto, a manufatura aditiva não deve ser vista como um mero processo de fabricação.

A quantidade significativa de interesse e investimento recentes em direção às tecnologias AM não é uma surpresa, já que esse método aditivo em camadas é um conceito elegante que pode construir formas complexas usando uma ampla variedade de materiais. A redução de custo dos controladores programáveis, lasers, impressão a jato de tinta e software de desenho assistido por computador (CAD) democratizou o processo de projeto, permitindo que os indivíduos utilizem, trabalhem e improvisem essas tecnologias (GAO et al., 2015).

Segundo Guo e Leu (2013), de acordo com o estado físico do material de partida usado, a manufatura aditiva é dividida nas seguintes quatro grandes categorias: líquido, filamento / pasta, pó e chapa maciça. O Autor destaca os processos por categorias de estado físico, conforme a Quadro 3:

Quadro 3 - Processos de manufatura aditiva por categoria do estado físico do material

Líquido	Estereolitografia (SLA)
	Modelagem por Jato de Tinta (MJM)
	Prototipagem Rápida com Gelo (RFP)
Filamento / Pasta	Modelagem por Extrusão de Plástico (FDM)
	Robocasting ou Direct Ink Writing (DIW)
	Freeze-form extrusion fabrication (FEF)
Pó	Sinterização Seletiva a Laser (SLS)
	Fusão Seletiva a Laser (SLM)
	Fusão por Feixe de Eletron (EBM)
	Deposição de Metal a Laser (LMD)
	Impressão Tridimensional (3DP)
Placa Sólida	Manufatura de Objeto em Lâminas (LOM)

Fonte: Baseado em Guo e Leu (2013)

A norma ASTM (2018) por um lado, classifica as categorias de processos de AM em sete:

- Jateamento de Aglutinante - processo no qual um agente líquido de ligação é depositado seletivamente para unir materiais em pó.
- Deposição de energia dirigida - processo no qual a energia térmica concentrada é usada para fundir os materiais por fusão conforme são depositados.

Nota 1 à entrada: “Energia térmica concentrada” significa que uma fonte de energia (por exemplo, laser, feixe de elétrons ou arco plasma) é focada para derreter os materiais que estão sendo depositados.

- Extrusão de material - processo no qual o material é dispensado seletivamente através de um bocal ou orifício.
- Jateamento de material - processos no qual gotículas do material de construção são depositadas seletivamente.

Nota 1 à entrada: Os materiais de exemplo incluem foto polímero e cera.

- Fusão da cama de pó - processo em que a energia térmica funde seletivamente regiões de uma cama de pó.
- Laminação de chapas - processo no qual chapas de material são coladas para formar uma peça.
- Foto polimerização de cuba - processo no qual o foto polímero líquido em um tanque é seletivamente curado por polimerização ativada por luz.

#### 2.1.5 PRINCÍPIOS DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS INDÚSTRIA 4.0.

O principal objetivo dessa pesquisa é identificar os desafios de adoção da indústria 4.0 na indústria de transformação, porém como visto no item anterior, existem muitas tecnologias associadas às estratégias de quarta revolução. Mas para que uma estratégia seja efetivamente configurada, somente as tecnologias não são suficientes, demandando princípios associados às elas e suas aplicações. Os estudos científicos já vêm tratando desses princípios, e estão relacionados no Quadro 4 partir de publicações internacionais. Na sequência serão abordados os princípios encontrados na literatura, exceto a customização que já está sendo abordado em desafios gerais no item 2.2.1.3 desse trabalho.

##### 2.1.5.1 INTEGRAÇÃO VERTICAL

Wang et al. (2017), conclui que a fábrica inteligente aborda a integração vertical. Do ponto de vista da tecnologia, computação em nuvem e a comunicação em rede são as duas

infraestruturas essenciais para suportar a fábrica inteligente, porque quase todos os componentes, como materiais, máquinas, produtos e pessoas devem ser conectados e os dados de massa gerados devem ser transferidos, armazenados, e processado.

Quadro 4 - Princípios associados às tecnologias da Indústria 4.0

Princípios	Principais Publicações
Interoperabilidade	Herman, Pentek e Otto (2015); Mittal et. al (2017); Ghobakhloo (2018); Mohamed (2018)
Virtualização	Herman, Pentek e Otto (2015); Mittal et. al (2017); Ghobakhloo (2018); Mohamed (2018)
Decentralização	Herman, Pentek e Otto (2015); Mittal et. al (2017); Ghobakhloo (2018); Mohamed (2018)
Real-Time	Herman, Pentek e Otto (2015); Mittal et. al (2017); Ghobakhloo (2018); Mohamed (2018)
Orietado à Serviço	Herman, Pentek e Otto (2015); Mittal et. al (2017); Ghobakhloo (2018); Mohamed (2018)
Modularidade	Herman, Pentek e Otto (2015); Mittal et. al (2017); Ghobakhloo (2018);
Produto Inteligente	Ghobakhloo (2018)
Fábrica Inteligente	Ghobakhloo (2018)
Integração Vertical	Ghobakhloo (2018)
Integração Horizontal	Ghobakhloo (2018)
Customização	Ghobakhloo (2018)
Responsabilidade Social Corporativa	Ghobakhloo (2018)
Segurança da Informação	Mohamed (2018)
Ecodesign	Habib e Chimsom (2019)

Fonte: Elaborado pelo Autor

Segundo Kagermann et al. (2013), os campos de engenharia de produção e automação e TI, a integração vertical refere-se à integração dos diversos sistemas de TI nos diferentes níveis hierárquicos (por exemplo, os níveis de atuador e sensor, controle, gerenciamento de produção, fabricação e execução e planejamento corporativo) com o objetivo de entregar uma

solução de ponto a ponto. Baseada nessa afirmação Liu e Xu (2017) complementam que a integração vertical se refere à integração dos vários sistemas inteligentes em diferentes níveis hierárquicos de um sistema de manufatura (por exemplo, componentes, atuadores e sensores no nível do dispositivo, controladores e CLPs no nível de controle e aplicativos de análise de dados e planejamento de produção no nível do ERP).

A integração vertical dota o CPPS com adaptabilidade. Os “*Cyber Twins*” (dispositivos de aquisição de dados) adquirem dados em tempo real de seus dispositivos físicos, monitoram e controlam esses dados com o auxílio de vários algoritmos e ferramentas de análise de dados, tornando os dispositivos em nível de campo semiautônomos. Enquanto isso, os dados em tempo real do chão de fábrica podem ser acessados de forma eficaz pelos aplicativos na nuvem de serviços, de modo que as atividades de planejamento de negócios de alto nível possam ser integradas às atividades de produção no nível do campo (LIU e XU, 2017).

De maneira geral, a integração vertical permite que haja um fluxo de informação do mais baixo nível dos dispositivos físicos em uma indústria até o nível onde aplicações em computação em nuvem estão alocadas, nesse sentido Garcia et al. (2016) sugerem que a introdução pela indústria do conceito de comunicação M2E (*Machine to Enterprise* – Máquina para Empresa) enfoca na aquisição de dados e facilita a realização da integração vertical, na qual deve alimentar o ambiente *Big Data*.

#### 2.1.5.2 INTEGRAÇÃO HORIZONTAL

Kagermann et al. (2013), nos campos de engenharia de produção e automação e TI, integração horizontal refere-se à integração dos vários sistemas de TI usados nas diferentes etapas da produção e no processo de planejamento de negócios que envolvem uma troca de materiais, energia e informações ambos internamente à organização (ex. logística de materiais, produção, logísticas de produto acabado, marketing) e entre várias empresas diferentes (redes de valor). O objetivo dessa integração é fornecer uma solução de ponto a ponto.

Garcia et al. (2016) conclui que com a indústria 4.0 as tecnologias deveriam estar todas conectadas, sendo que uma dessas tecnologias, a comunicação M2M (*machine to machine* –

máquina para máquina) permite a integração horizontal, pois, habilita a troca de informações entre duas máquinas remotas. Segundo Liu e Xu (2017) a integração horizontal, confere ao CPPS capacidades de cooperação autônoma, então os *Cyber Twins* se comunicam através de interfaces M2M, que monitoram e controlam uns aos outros com base em algoritmos específicos e com os dados em tempo real que eles obtiveram do mundo físico. Deste modo, os dispositivos ao nível do campo cooperam autonomamente uns com os outros, realizando então, uma redução significativa do esforço humano.

Zhou e Zhou (2015) complementam com a definição da integração ponto a ponto, integração numérica projetada em toda a cadeia de valor, que é implementada na premissa de cada terminal ter uma cadeia de valor digital com integração entre diferentes empresas, o que maximizará a personalização. A Indústria 4.0 permite que sensores onipresentes, sistemas de terminais embarcados, sistemas de controle inteligente e instalações de comunicação formem uma rede inteligente dentro do CPS. A interconexão pode ser de homem para homem, de homem para máquina, de máquina para máquina ou de serviço para serviço, a fim de obter uma completa integração horizontal, vertical e de ponta a ponta.

Nessa visão mais ampla, Stock e Seliger (2016) e Seliger (2007), a integração horizontal a partir da perspectiva macro é caracterizada por uma rede de módulos de criação de valor. Os módulos de criação de valor são definidos como a interação de diferentes fatores de criação de valor, ou seja, equipamento, humano, organização, processo e produto. Stock e Seliger (2016) acreditam ainda que os módulos de criação de valor, representados em seu nível mais alto de agregação por fábricas, são interligados em toda a cadeia de valor de um ciclo de vida de produto, bem como em módulos de criação de valor em cadeias de valor de ciclos de vida de produtos adjacentes.

Nesse sentido em um estudo que sugere uma integração horizontal para fabricantes de ferramentaria, Röschinger et al. (2016), relata que todo ciclo de vida de uma ferramenta é composto por dados e informações importantes, na qual a cadeia de suprimentos deve estender os dados para outros usuários como exemplo fornecedores de máquinas, e desafios como dados gerados em geral, através de formulários de papel, entre as empresas e que não são compartilhados automaticamente, devem ser superados para torná-los transparentes e disponíveis entre as empresas.

### 2.1.5.3 INTEROPERABILIDADE

Gattullo et al., 2019 sugere que na Indústria 4.0, sistemas Ciber-Físicos (CPS), humanos e a fábrica se comunicam entre si e são conectados através da Internet das Coisas (IoT) e da Internet de Serviço (IoS). Afirmação similar por muitos autores, ou seja, na Indústria 4.0, o conceito de interoperabilidade inclui a capacidade da Internet de Serviços, humanos e organizações de se conectar e se comunicar via IoT e CPS, bem como a interoperabilidade dos sistemas que acomodam fluxos de dados (XU et al., 2018; SHI et al. 2012; ZHOU et al. 2014; COLOMBO et al., 2015; KUSIAK, 2017). A documentação técnica deve ser conectada ao IoT e IoS e para facilitar a comunicação entre máquinas humanos, a padronização é crucial, bem como facilitar a tradução em todas as línguas (GATTULLO et al., 2019). Avanços recentes na integração de informações industriais oferecem abordagens poderosas para a integração de informações eficazes e eficientes, um requisito básico para o sucesso da Indústria 4.0 (XU et al., 2018; BRANGER e PANG, 2015; SEETHA LAKSHMI et al., 2017). Os sistemas industriais atuais podem ser limitados pela sofisticação das tecnologias relevantes ou pela falta de técnicas, e isso é crucial porque a execução bem-sucedida da Indústria 4.0 depende de uma integração mais sofisticada do que a disponível atualmente (XU et al., 2018).

### 2.1.5.4 MODULARIDADE

Os sistemas modulares podem adaptar-se de forma flexível a exigências variáveis, por exemplo, no caso de flutuações sazonais ou de características modificadas do produto. Isso pode ser feito substituindo ou expandindo módulos individuais com base em interfaces padronizadas de software e hardware. A documentação técnica deve ser modular, isto é, as integrações de novos procedimentos, novas tecnologias e assim por diante devem ser fáceis de realizar (GATTULLO et al., 2019).

Uma abordagem encontrada na literatura que tem relação com a modularidade é a *plug and produce*, esse conceito permite para diferentes elementos de um sistema de produção, serem adicionados ou removidos de acordo com a necessidade da produção (FRANCALANZA et al., 2017). Esse conceito também permite sistemas de produção modular, que deve estar adequado não apenas para as funções mecânicas, mas também para o

desenvolvimento de novos e melhorados sistemas e paradigmas de controle (FRANCANLAZA et al., 2017; SCHLEIPEN et al., 2015; ONORI, 2012; MAEDA, 2007).

No decorrer da mudança no ambiente de produção, já existem abordagens semelhantes na realização de sistemas modulares de fábrica. Como exemplo de uma plataforma de produção modular, podem ser mencionados o conceito de montagem flexível FlexiMon conforme Klose (2014) ou o projeto de pesquisa AutoPnP de Ostertag (2014). No entanto, esses conceitos são adotados em um nível específico do fornecedor e, portanto, estão menos de acordo com a visão Indústria 4.0, que estipula a interoperabilidade e a congruência das soluções de vários fornecedores (WEYER et al., 2015).

#### 2.1.5.5 ORIENTAÇÃO A SERVIÇO

Segundo Ghobakhloo (2018), dois são os conceitos de serviço: Manufatura como Serviço (MaaS); Produto como Serviço (PaaS). O modelo de negócios MaaS refere-se ao uso coletivo de uma infraestrutura de produção em rede para produzir bens. A interconectividade entre os fabricantes e a difusão da IoT e da computação em nuvem ofereceu novos ecossistemas de fabricação, permitindo que as empresas comunicassem suas necessidades e capacidades de fabricação automaticamente. Neste ambiente, tarefas complexas de fabricação podem ser realizadas de forma colaborativa por diversos serviços de fabricação de diferentes empresas. Isto significa que, em vez do produto físico, a capacidade de produção dos fabricantes pode ser considerada como o bem primário (GHOBAKHLOO, 2018; TAO e QI, 2017). No modelo de negócios de PaaS, os produtos são entregues como uma experiência virtualizada ou de serviço e, em vez de um único pagamento inicial, os clientes assinam o produto e pagam uma taxa periódica perpétua por resultado. Esse modelo de negócios é particularmente ativado pelas tecnologias IoS que podem ser incorporadas a produtos (por exemplo, produtos, software e infraestrutura) para monitorar quando e como elas são usadas.

#### 2.1.5.6 VIRTUALIZAÇÃO

Para os sistemas CPSs, virtualização significa que eles são capazes de monitorar os processos físicos, através de dados de sensores que são vinculados a modelos de plantas

virtuais e modelos de simulação. Assim, uma cópia virtual do mundo físico é criada (HERMANN et al., 2016). A virtualização permite a replicação de um conceito conhecimento como “gêmeo digital”, para toda a cadeia de valor (armazém inteligente, fábrica inteligente, todos os equipamentos e máquinas relacionados e até produtos inteligentes), através da fusão de dados adquiridos no mundo físico em modelos virtuais baseados em simulação (GHOBAKHLOO, 2018; MORENO et al, 2017). De acordo com Ghobakhloo (2018) e Gilchrist (2016), o gêmeo virtual da fábrica inteligente, por exemplo, permitiria aos engenheiros e designers de processos aprimorar os processos existentes ou otimizar a funcionalidade das linhas de produção em isolamento completo, sem interromper os processos físicos na fábrica inteligente que eles virtualizaram. Como alternativa, o gêmeo digital de um produto inteligente permitiria que os fabricantes tivessem uma pegada digital completa de seus produtos existentes ou novos durante todo o ciclo de vida, desde o design e desenvolvimento até o final do produto. Isso não só permitirá um melhor entendimento do desempenho do produto no estágio de consumo, mas também permitirá às empresas avaliar virtualmente o sistema que constrói o produto (GHOBAKHLOO, 2018; SCHLEICH et al., 2017; TAO et al., 2018).

#### 2.1.5.7 DECENTRALIZAÇÃO

A descentralização significa dar autonomia, recursos e responsabilidade a níveis inferiores da hierarquia organizacional. Agentes individuais têm que tomar decisões por conta própria e delegar as decisões a níveis mais altos em caso de falhas ou situações complexas (MOHAMED, 2018). A crescente demanda por produtos individuais torna cada vez mais difícil controlar os sistemas centralmente. Computadores incorporados permitem que o CPS tome decisões por conta própria. Somente em casos de falhas, as tarefas são delegadas a um nível superior (HERMANN et al., 2016; HOMPEL e OTTO, 2014). A descentralização permite que diferentes componentes das fábricas inteligentes trabalhem independentemente e tomem decisões de forma autônoma, de forma que permaneçam alinhados com o caminho em direção ao único objetivo organizacional final (GHOBAKHLOO, 2018; GILCHRIST, 2016). De acordo com Lasi et al. (2014), para lidar com as condições especificadas, são necessários procedimentos mais rápidos de tomada de decisão. Para isso, é necessário reduzir as hierarquias organizacionais. Os autores ainda em sua abordagem, a auto-organização de

processos, os sistemas de manufatura existentes estão se tornando cada vez mais descentralizados. Isso ocorre com uma decomposição da hierarquia clássica da produção e uma mudança para a auto-organização descentralizada.

Um dos principais desafios técnicos da descentralização é o desenvolvimento de sistemas para os CPSs com requisito de auto-organização, pois além das decisões do sistema relacionados ao que deve ou não ser produzido, os sistemas devem tomar decisões sem auxílio ou colaboração humana, para quais processos devem ser utilizados na produção, ou devem estar inutilizados para um determinado produto.

#### 2.1.5.8 *SMART PRODUCT*

Produtos inteligentes são produtos capazes de fazer cálculos, armazenar dados, comunicar e interagir com o ambiente (SCHMIDT et al., 2015; MICHE et al., 2009; MÜHLHÄUSER, M, 2008). De acordo com Ashton K. (2009), a partir do início de abordagens que permitem que os produtos se identifiquem via RFID, as capacidades de produtos para fornecer informações sobre elas evoluíram. Hoje, os produtos inteligentes não apenas fornecer sua identidade, mas também descrever suas propriedades, status e histórico. Inteligentes, os produtos são capazes de comunicar informações em seu ciclo de vida. Eles sabem não apenas sobre as etapas do processo já aprovadas, mas também são capazes de definir etapas futuras.

Nesse sentido, produto inteligente refere-se a uma nova geração de produtos físicos que, graças aos diferentes tipos de sensores incorporados a eles, podem se comunicar com o meio ambiente e coletar, armazenar e transferir dados durante os ciclos de ciclo de vida (GHOBAKHLOO, 2018; SCHMIDT et al., 2015). Na linha de produção pode comunicar informações valiosas sobre o que é fabricado, qual é o estado atual e quais etapas são necessárias para que eles atinjam o estado desejado. No estágio de consumo, produtos inteligentes, juntamente com a infraestrutura de IoS (Internet de serviço), facilitam a materialização do modelo de negócios PaaS (GHOBAKHLOO, 2018; GILCHRIST, 2016).

Poucos autores tratam produtos inteligentes como efetivamente um princípio da Indústria 4.0, porém algumas considerações são importantes serem destacadas: os produtos inteligentes são integrados a todo o processo de fabricação e apoiam ativamente seu processo

de fabricação, controlando os estágios de produção individuais de forma autônoma. Além disso, como produtos acabados, os produtos inteligentes estão cientes dos parâmetros que devem ser usados, fornecendo informações sobre seu status durante todo o seu ciclo de vida. Esses sistemas embarcados podem ser gerenciados em tempo real por toda a cadeia de valor, otimizando a fábrica inteligente em relação aos processos de logística, produção, manutenção e gerenciamento de negócios (NUNES et al., 2017; KAGERMANN et al., 2013).

Outra importante contribuição do Kagermann et al. (2013) alinhado às questões da fábrica inteligente e produto inteligente é com relação a sua visão sobre a integração de processos, ou seja, o autor sugere que os sistemas de manufatura incorporados são conectados verticalmente com processos de negócios dentro de fábricas e empresas e conectados horizontalmente a redes de valor dispersas que podem ser gerenciadas em tempo real - desde o momento em que um pedido é colocado até a logística de saída. Além disso, ambos permitem e habilitam a engenharia “end-to-end” em toda a cadeia de valor.

#### 2.1.5.9 *SMART FACTORY*

A essência da Indústria 4.0 é utilizar os CPSs para realizar fábricas inteligentes (XU, et al. 2018; KUSIAK, 2017). Em outras palavras, a fábrica inteligente é possível graças aos sistemas de produção baseados em CPSs. Os CPSs podem desempenhar um papel importante nos processos inteligentes de fabricação e produção da fábrica. Isso fornece vantagens significativas em tempo real, recursos e custos em comparação com os sistemas de produção clássicos (LI, L., 2018; GTAI 2014). Na Indústria 4.0, fábrica inteligente e produção inteligente são os dois principais componentes. Uma fábrica inteligente se concentra em sistemas e processos de fabricação inteligentes e na implementação de instalações de produção distribuídas em rede (XU, et al, 2018; ZHOU, LIU e ZHOU 2015; IVANOV et al. 2016). Em uma fábrica inteligente, as interações de coisas para coisas são consideradas.

Segundo Thoben et al. (2016) embora existam definições mais abrangentes disponíveis, todos autores destacam o uso da tecnologia da informação e comunicação (TIC) e avançadas análises de dados para melhorar as operações de fabricação níveis da rede de abastecimento, seja no chão de fábrica, na fábrica como um todo ou na cadeia de suprimentos. Uma *Smart Factory* ou também *Smart Manufacturing*, considera tecnologias

para o processamento do produto (sistema de produção), enquanto a *Smart Products* considera tecnologias relacionadas à oferta do produto. Portanto, assumimos que o *Smart Manufacturing* é o começo e o primeiro objetivo da Indústria 4.0, enquanto o *Smart Product* é a sua extensão. Essa visão segue a evolução cronológica recente do conceito da Indústria 4.0, que tem suas raízes primeiro nos sistemas avançados de fabricação e nas conexões com outros processos da empresa (FRANK, A., G., et al., 2019; YIN, Y, et al., 2018; DALENOGARE., 2018). Assim os produtos inteligentes são elementos componentes de um sistema totalmente integrado e que contribui para a existência da *Smart Factory*. Segundo Kagermann et al. (2013) as fábricas inteligentes constituem uma característica fundamental da Indústria 4.0, elas são capazes de gerenciar a complexidade, são menos propensas a interrupções e são capazes de fabricar bens de maneira mais eficiente. Na fábrica inteligente, seres humanos, máquinas e recursos se comunicam entre si de forma tão natural quanto em uma rede social.

#### 2.1.5.10 RESPONSABILIDADE SOCIAL

A responsabilidade social corporativa representa uma forma de autor regulação corporativa que se integra ao modelo de negócios existente. No ambiente de fabricação, a responsabilidade social corporativa envolve principalmente áreas como a regulamentação ambiental e trabalhista. Na quarta revolução industrial, a robótica e a automação industrial influenciarão fortemente as oportunidades de trabalho em muitas corporações voltadas para o futuro, e os estudiosos argumentam que a Indústria 4.0 tem maior probabilidade de atuar como assassina de empregos. Acredita-se que a magnitude desse impacto negativo nos empregos dependerá do nível de habilidade do trabalhador, e os trabalhadores de baixa a média será afetada negativamente mais. Acredita-se também que a tecnologia sempre acabou criando mais empregos do que apagando, assim, espera-se também que a Indústria 4.0 crie inúmeras oportunidades de trabalho, particularmente relacionadas à engenharia da computação, informática e matemática (GHOBAKHLOO, 2018). No interesse da responsabilidade social, será necessário aumentar o envolvimento e promover o engajamento dos funcionários em termos de uso de suas habilidades e experiência em relação aos processos criativos de design e planejamento, bem como no ambiente de trabalho operacional. Portanto, o CPS exigirá novas estruturas da organização do trabalho que cubram toda a rede de valor, a

fim de aumentar a produtividade dos funcionários e fornecer estruturas organizacionais que apoiem o desenvolvimento ao longo da vida dos indivíduos (KAGERMANN et al., 2013).

#### 2.1.5.11 *ECODESIGN*

O princípio do design ecológico envolve considerar os impactos ambientais de equipamentos e ferramentas utilizados no design de produtos e serviços, bem como os impactos ambientais do próprio produto (HABIB e CHIMSOM, 2019; RIEL e RIO, 2017). Está também se referindo ao ambiente de projeto e suas características como Avaliação do Ciclo de Vida, Gestão do Ciclo de Vida do Produto, Sistema de Gestão Ambiental Baseado no Produto (HABIB e CHIMSOM, 2019; RIO, 2011). Essas características são aplicadas durante todo o processo de projeto para garantir que a produção seja sustentável. (HABIB e CHIMSOM, 2019; VADOUDI, 2014).

#### 2.1.5.12 TRANSMISSÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS EM TEMPO REAL

Os recursos em tempo real envolvem estruturas de resposta, confiabilidade e tolerância a falhas, disponibilidade, manutenção e segurança funcional da Indústria 4.0 (HABIB e CHIMSOM, 2019; SOLTANALI, 2018; KUMAR, 2018). Esses fatores garantem a sustentabilidade desses sistemas, aumentando a sua flexibilidade enquanto facilita o processo de produção otimizado. Através do registro e análise dos dados em tempo real, decisões inteligentes e ajustes podem ser feitos para alterar o processo para melhorar a tolerância de falha do sistema, a manutenibilidade dos equipamentos e da segurança funcional da operação.

Segundo Mohamed (2018), para capacidade dos processos em tempo real, é necessário uma análise contínua dos dados para reagir a quaisquer mudanças no ambiente em tempo real, como roteamento ou manipulação de falhas. Mittal et al. (2017) acreditam que comunicação em tempo real é a tecnologia que permitiria aos usuários trocar dados com os sistemas em tempo real. Como envolve troca de informações entre o sistema e os humanos, não faz parte da interoperabilidade. Segundo Canizo et al. (2019) um requisito da arquitetura de gerenciamento de um contínuo e grande volume de dados é chamado de *data serving*. Segundo o autor um sistema *data serving* que fornece serviços para consulta / envio de informações de / para uma interface do usuário é necessário verificar facilmente em tempo real o funcionamento status das máquinas industriais. Este sistema deve fornecer mecanismos

para lidar com informações imediatas (isto é, alertas de anomalia ou status atual da máquina) e informações de médio e longo prazo (isto é, análises avançadas). Em outras palavras, ele gerencia as conexões entre a nuvem e a interface do usuário.

#### 2.1.5.13 SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO

Já no último princípio relatado por Mohamed (2018), o autor de maneira bastante simplista conclui que a segurança da informação e a sua privacidade deve ser enfatizada nas trocas de dados usando tecnologias de informação e comunicação.

#### 2.1.6 FATORES HABILITADORES DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS INDÚSTRIA 4.0.

Os fatores habilitadores também é um tema que começa aos poucos ganha força como elemento da estratégia Indústria 4.0. Segundo Esmaeilian et al., (2016), vários fatores permitem ou desafiam o avanço nos sistemas de manufatura: leis e regulamentações, como por exemplo, direitos de propriedade intelectual; processos de produção inteligente com tecnologia TIC; construção inteligente e infraestrutura; tecnologia de coleta de dados; métodos de análise de dados; nova decisão baseada em conhecimento técnicas de fabricação; mão-de-obra qualificada no futuro capaz de usar tecnologias; e educação e treinamento inovadores estão entre os esses fatores capacitantes. Em um estudo voltado às questões de segurança na Indústria 4.0, Tuptuk e Hailes (2018), sugerem que esses fatores habilitadores são tão críticos para a segurança quanto para outros aspectos da fabricação inteligente. Como a manufatura foi informatizada por muitos anos, pode-se esperar que houvesse progresso no desenvolvimento de padrões, educação e legislação adaptados às necessidades da indústria de manufatura. Segundo Mittal et al. (2017) além das várias características e tecnologias, há um conjunto de fatores facilitadores, que facilitam a implementação bem-sucedida de características e tecnologias na fabricação inteligente. O autor destaca ainda que fatores habilitadores são os padrões e práticas gerenciais que precisam ser mantidos, para a implementação bem-sucedida de características e tecnologias na fabricação inteligente, isso inclui, por exemplo, leis e regulamentos, educação inovadora e treinamento de funcionários.

Havle e Üçler (2018) consideram três principais dimensões para os habilitadores da Indústria 4.0, ou seja, fator humano, fator tecnológico e fator organizacional. Os autores apresentaram um mapa com as subdimensões: a dimensão humana inclui habilidades de inovação, comunicação eficiente, competências e treinamentos baseados em software, colaboração e conscientização digital contínua. A dimensão organizacional envolve organização integrada de manufatura, integração na produção, realinhamento dos locais de trabalho, gerenciamento de mudanças, roteiro estratégico, definição de papéis e responsabilidades digitais e engenharia de processos. O componente de tecnologia do mapa inclui quatro sub-edições como "digitalização", "conectividade / comunicação", "hardware" e, finalmente, "software". Cada subproblema também possui seus próprios subproblemas.

#### 2.1.7 IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0.

Segundo Nagy et al. (2018), seus resultados empíricos deixam claro que, assim como na literatura internacional, a Indústria 4.0 exerce seu maior impacto na função produção. Nesse sentido, de acordo com Nakaya (2017) os principais envolvidos da Indústria 4.0 nessa revolução, no contexto da produção, são os fornecedores de tecnologias, provedores de infraestrutura e usuários industriais e para esses atores, o autor apresenta como impactos positivos os seguintes benefícios: o aumento da eficiência gerencial e produtiva, a agilidade em função da servitização e das tecnologias que fornecem servitização dos processos, e a flexibilidade na manufatura através da customização da produção bem como a utilização de tecnologias que colaboram para a flexibilidade da produção. Já outros impactos também observados para esses atores, são as emergências das PMEs, novas demandas de qualificação profissional, redução de *offshoring* da produção, maior risco cibernético para o ambiente industrial, maior oferta de produto como serviço.

Sobre os impactos que ocorrem das tecnologias da Indústria 4.0 no mercado de trabalho, Cetrulo e Nuvolari (2019), sugerem em suas percepções com base em sua revisão bibliográfica tendem a revelar, em diferentes graus, uma fraqueza teórica substancial ao enquadrar a mudança tecnológica essencialmente como um fator exógeno determinístico (geralmente representado pelo declínio no preço dos computadores), onde o trabalho é descrito como uma entrada substituível da função de produção. A pesquisa concentra a atenção na relação entre tecnologia e trabalho, observando as questões emergentes em termos

de conteúdo, organização do trabalho e possivelmente divisão internacional do trabalho. De fato, mesmo reconhecendo a importância de discutir os efeitos das mudanças tecnológicas no emprego, registramos a atenção limitada às transformações atuais e potenciais do processo de trabalho como um todo.

Seguindo os conceitos tratados por Nakaya (2017), um estudo de Huxtable e Schaefer (2016) em empresas do Reino Unido, quantificou a servitização no país. Os autores mostraram que de 57 empresas analisadas, 61% estão oferecendo atualmente um mix de produtos e serviços claramente definido, com 39% indicando que geram receita exclusivamente com a venda de mercadorias. Isso apoia a literatura atual sugerindo que os modelos de negócios baseados em serviços estão se tornando cada vez mais comuns na indústria do Reino Unido. Também valida que pesquisas futuras destinadas a mesclar a Indústria 4.0 e a Servitização teriam valor dentro da Indústria. Outro resultado importante mostrou que 35% das empresas estavam oferecendo serviços relacionados à Indústria 4.0. Isso indica que uma grande proporção das empresas que adotaram modelos de negócios baseados em servitização não está aproveitando todo o potencial do setor 4.0 em suas ofertas de serviços. Portanto, a pesquisa aborda isso investigando os tipos de serviços que as empresas de manufatura podem oferecer quando o setor 4.0 amadurecer.

Em um estudo empírico Müller e Voigt (2019), buscam mostrar o impacto da Indústria 4.0 nos modelos de negócios das PMEs, o artigo analisa como a Indústria 4.0 impulsiona inovação em uma amostra de 42 empresas, em outras palavras o artigo apresenta alguns impactos positivos da Indústria 4.0. Segundo o autor para as inovações na criação de valor, os entrevistados mencionam que a digitalização de alto grau de processos aumenta a disponibilidade de dados e permitem tomadas de decisões mais rápidas. Por exemplo, um dos *Chief Technology Officer* mencionou que todas as manhãs recebe um e-mail automático com informações sobre o status quo da produção, incluindo gargalos e resultados da produção. A amostra em geral espera que a Indústria 4.0 melhore sua velocidade, capacidade de reação e flexibilidade. O setor 4.0 também tem como objetivo aprimorar a eficiência e a transparência das informações dos processos de chão de fábrica, por meio de sistemas que mostram as tarefas executadas em cada máquina, duração da tarefa, comandos fornecidos e eventuais falhas. Além disso, várias empresas indicam que já lucram com a fabricação inteligente para combater a falta de candidatos disponíveis para preenchimento de vagas de trabalho.

Os impactos da Indústria 4.0 em diversos contextos são extensamente tratados na literatura internacional, esse trabalho demonstrou alguns poucos impactos positivos e negativos que as tecnologias e princípios da Indústria 4.0 são capazes de produzir.

## 2.2 REVISÃO DE LITERATURA

Abaixo uma síntese do estado da arte desenvolvido através do método de revisão bibliométrica com o objetivo de encontrar os principais desafios da indústria 4.0 de acordo com a literatura nacional e internacional.

### 2.2.1 ESTADO DA ARTE

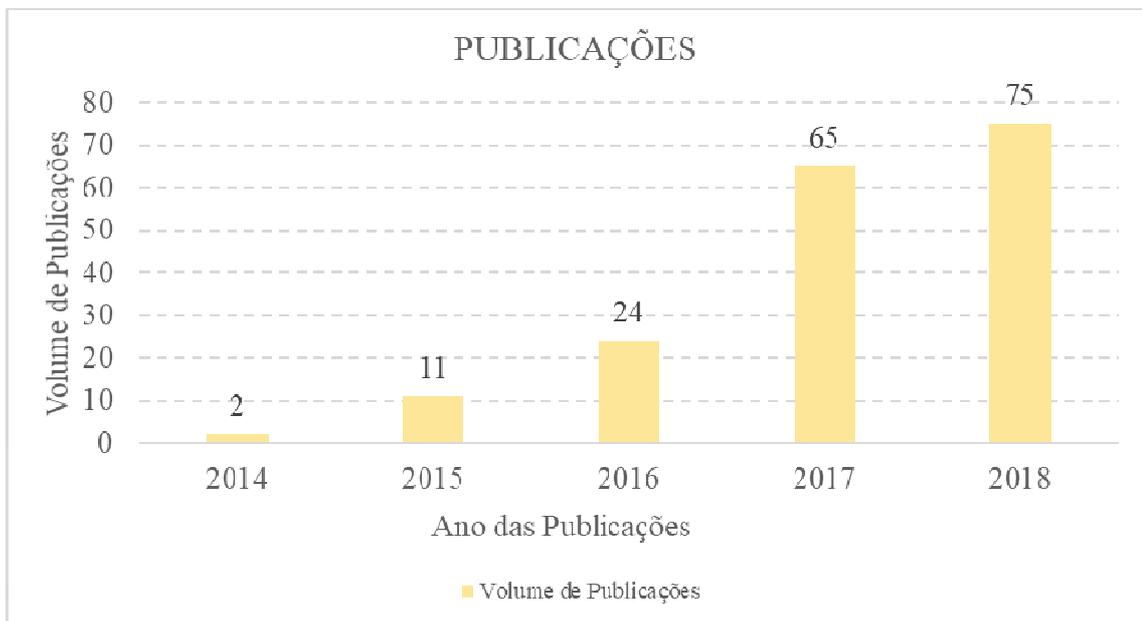
Um estudo bibliométrico e sistemático foi conduzido conforme a proposta de Seuring e Müller (2008) para identificar e sistematizar as pesquisas científicas sobre os desafios da I4.0. A última data pesquisada foi em 03/10/2019, nesse sentido, os termos relevantes nessa busca já definidos com a pesquisa sendo realizada com as palavras-chave “industry 4.0” e “challenges”, utilizando a base de dados Scopus. Os parâmetros utilizados foram a busca por título, palavras-chave e resumo. Assim, foi obtido um total de 838 (oitocentos e trinta e oito) documentos entre os anos de 2013 até 2018. Foram excluídos artigos de congresso, capítulo de livros, livro, revisões e revisão de conferência, utilizando apenas os artigos científicos na análise. Então obtidos 269 (duzentos e sessenta e nove) artigos verificados até agosto de 2019.

Realizando leitura integral de 75% dos artigos e a leitura dos títulos e resumos dos demais artigos que não foi obtido o acesso integral, foi selecionado um total de 177 (cento e setenta e sete) artigos que apresentam pelo menos um desafio da I4.0 para a indústria de transformação. Os artigos foram cadastrados em um banco de dados categorizando-o com as variáveis: método, desafios, soluções, benefícios, princípios associados e tecnologias. Foram cadastradas também título, autor, país da publicação, periódico, disciplinas correspondentes, método e quantidade de citações.

### 2.2.1.1 REVISÃO SISTEMÁTICA (LITERATURA INTERNACIONAL)

As publicações pesquisadas foram analisadas até o ano de 2018, e uma forte tendência de crescimento em publicações a partir de 2013 é percebida, ano em que a I4.0 foi amplamente divulgada, e seus desafios começaram a ser pesquisados, a Figura 16 apresenta as publicações sobre desafios a partir de 2014.

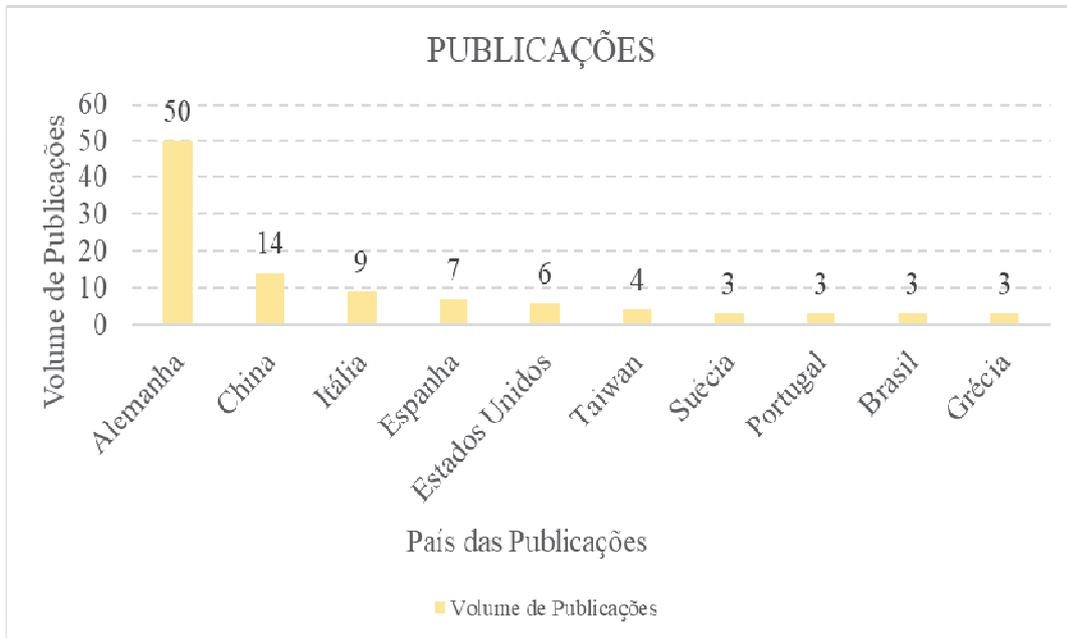
**Figura 16** – Volume de publicações internacionais evolução anual



Fonte: Próprio Autor (2019)

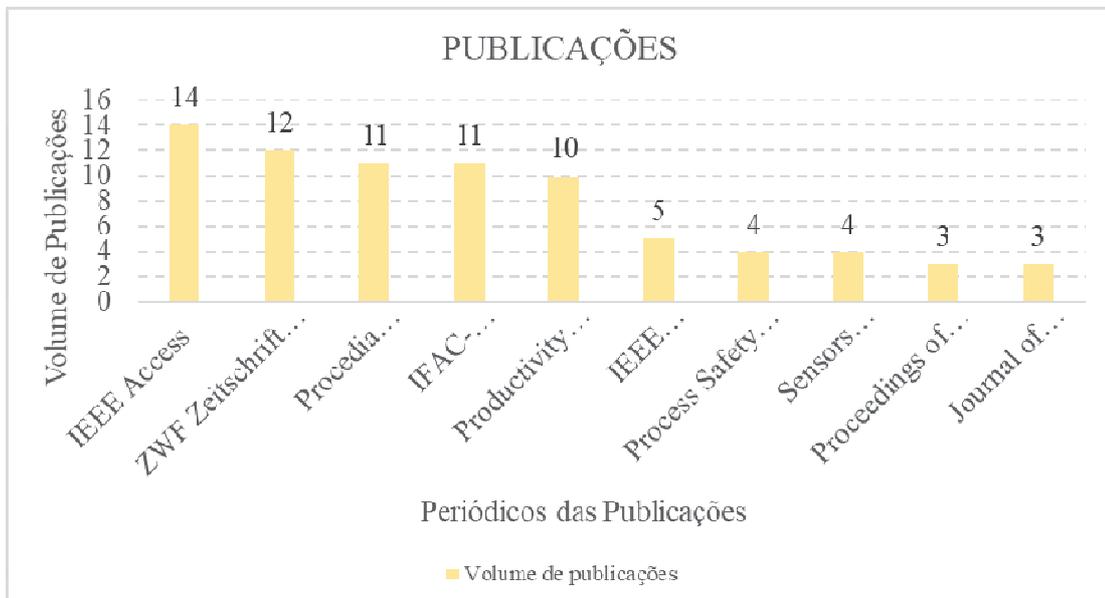
Segundo Silva F., L. (2019) o que explica a Alemanha ser o país com o maior volume de publicações na literatura, bem como o retrato dessa pesquisa conforme a Figura 17, é o fato da estratégia Indústria 4.0 ter surgido no país em 2011. Já na Figura 18 foram considerados os periódicos responsáveis por maior frequência de publicação. O periódico com maior frequência, o IEEE é um periódico de características de publicações técnicas, seguindo de um periódico alemão em concordância com a afirmação anterior.

Figura 17 - Principais publicações por países de origem aderentes à pesquisa



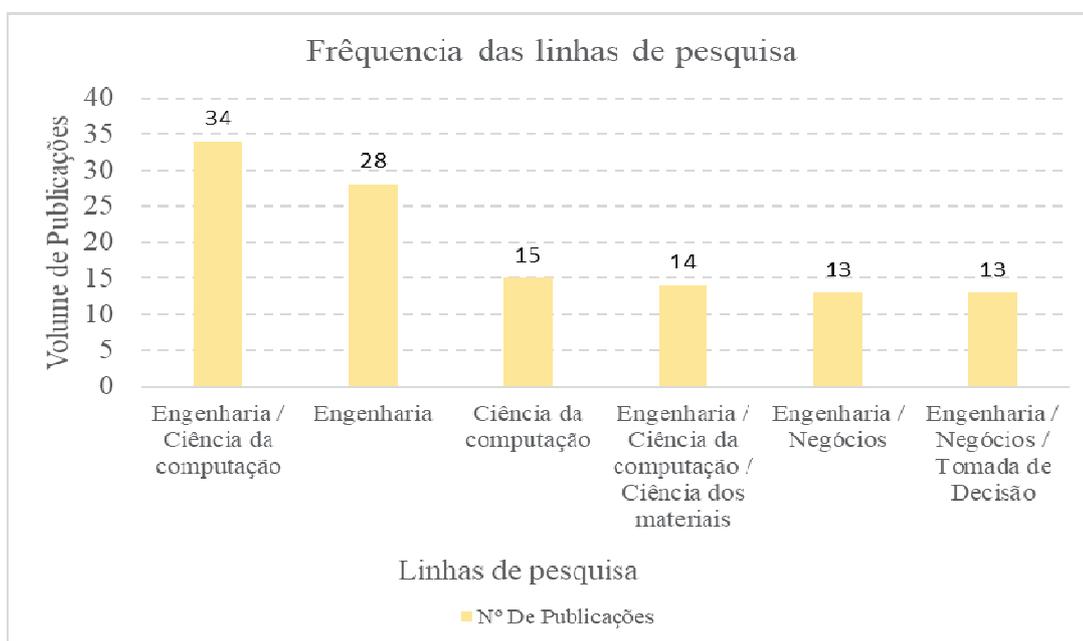
Fonte: Próprio Autor (2019)

Figura 18 - Principais publicações por periódicos aderentes à pesquisa



Fonte: Próprio Autor (2019)

Figura 19 - Principais publicações por linhas de pesquisas classificadas na base “Scopus”.



Fonte: Próprio Autor (2019)

Na base *Scopus*, objeto de pesquisa das publicações analisadas, possui uma classificação própria referente às linhas de pesquisas e ou assuntos classificados para todos os artigos, assim, na Figura 19, foi relacionado às linhas de pesquisas com maior frequência em acordo com os artigos que apresentam os desafios da Indústria 4.0. A maior frequência de artigos se encontram categorizados em engenharia e ciências da computação seguido de somente engenharia e somente ciências da computação. Ciências dos materiais, negócios e tomada de decisões estão também classificados.

Tabela 6 – Classificação do método de pesquisa na amostra

Método de Pesquisa	Frequência	Fr (%)
Revisão	59	33,33%
Modelagem e simulação	52	29,38%
Conceitual	41	23,16%
Qualitativa / Estudo de caso	14	7,91%
Quantitativa / Survey	11	6,21%
Total geral	177	100,00%

Fonte: Próprio Autor (2019)

Na Tabela 6 os artigos são dispostos em função do seu método de pesquisa, apresentando a frequência e a frequência percentual correspondente a esse agrupamento. Os estudos empíricos, como estudos de casos e surveys são estudos menos frequente na literatura, o que sugere uma oportunidade de mais pesquisas nesse método, encontrando-se também como lacuna da pesquisa a falta de estudos utilizando método de pesquisa misto de abordagem quali-quantitativo.

Na Tabela 7 estão apresentados os autores mais produtivos levando em consideração o seu número de publicações. A coluna quantidade de publicações representa o total de artigos publicados pelo autor, seguido da coluna quantidade de citações, e por fim a coluna média apresenta o número médio de citações por autor. Autores com apenas uma publicação não foram considerados.

Tabela 7 – Classificação dos autores mais produtivos

Base SCOPUS (2018)			
Autor	Qtde Publicações	Qtde Citações	Média
Müller J.M.	3	81	27,0
Wan J.	3	42	14,0
Weyer S.	2	199	99,5
Li X.	2	137	68,5
Chen T.	2	52	26,0
Thramboulidis K.	2	47	23,5
Kiel D.	2	43	21,5
Preuveneers D.	2	24	12,0
Ribeiro L.	2	6	3,0
Jansen C.	2	6	3,0
Glück M.	2	2	1,0
Hoffmann M.	2	0	0,0

Fonte: Próprio Autor (2019)

#### 2.2.1.2 VARIÁVEIS DE ANÁLISE (LITERATURA INTERNACIONAL)

Em função do grande volume de artigos como resultado, ou seja, 177 artigos para análise, então para encontrar uma possível tendência de trabalho e desenvolver um foco de pesquisa, o objetivo foi utilizar um critério específico para reduzir a quantidade de artigos a serem analisados de acordo com o grupo de desafios com maior frequência na literatura. A adoção de uma classificação dos artigos selecionados contribuiu no critério de seleção dos

artigos, a fim de direcionar a um determinado conjunto de dados. O Quadro 5 apresenta as principais classificações e na sequência é detalhado os critérios de recorte.

Quadro 5 - Classificação dos dados da pesquisa

Categorização dos Dados	Descrição
Dimensão	Estratégica
	Legislativa e Ética
	Organizacional
	Técnica
Contexto Econômico	Desenvolvido
	Desenvolvido / Em desenvolvimento
	Em desenvolvimento
	N/A
Tipo de Pesquisa	Conceitual
	Modelagem e Simulação
	Qualitativa / Estudo de Caso
	Quantitativa / Survei
	Revisão
Setor Análísado	Indústria
	Lógica
	Educação
	Parques Tecnológicos
Tecnologias da Indústria 4.0	Big Data
	Computação em Nuvem
	Sistemas Ciber-Físicos
	Inteligência Artificial
	Internet das Coisas
	Redes Sem Fio / Cabeadas
	Manufatura Aditiva
	Modelagem e Simulação
	Realidade Aumentada
	Realidade Virtual
	Robôs Industriais
Tecnologias da Informação/Comunicação	
Classificação dos Desafios	Integração
	Segurança
	Mão-de-Obra
	Investimentos
	Redes de Comunicação
	Aquisição de Dados
	Padronização
	Pesquisa e Desenvolvimento
	Produção
	Mercado de Trabalho
Classificação dos Desafios	Mercado de Tecnologia
	Maturidade
	Operacional
	Infraestrutura
	Meio-Ambiente
	Virtualização
	Segurança Jurídica
	Estratégia
	Demanda por Tecnologia
Demanda por Sistemas	

Fonte: Próprio Autor (2019)

Inicialmente, o primeiro recorte foi realizado através do critério estabelecido por Luthra e Mangla (2018), que abordam os desafios de adoção da Indústria 4.0 em quatro dimensões principais, técnica, organizacional, estratégica e legal e ética, para as discussões finais. A dimensão técnica refere-se aos desafios que dependem do atendimento de uma necessidade de equipamento e ou processo na indústria, seja por incremento de uma tecnologia existente, seja pela demanda de novas tecnologias, seja por questões de segurança e ou até por questões de integração entre duas tecnologias ou processo. Todas essas questões técnicas estão relacionadas com desafios existentes e estão classificadas nessa dimensão. A dimensão organizacional envolve a questão humana em seus desafios, principalmente por questões de qualificação, desenvolvimento e conhecimento além de tratar a reação da empresa frente ao desenvolvimento tecnológico. A dimensão estratégica trata os desafios relacionados ao ambiente de decisões da empresa em termos de tecnologias, e também ao ambiente do mercado com relação as mudanças e ao desenvolvimento e oferta de tecnologias. Os desafios legais estão intimamente relacionados às questões de propriedade e integração entre as empresas com disponibilidade tecnológica avançado. Sendo assim, a Tabela 7, consideramos nos resultados finais apenas os desafios técnicos que corresponde com a maior frequência de 68,34%.

Tabela 8 - As dimensões relativas aos desafios da Indústria 4.0 da literatura internacional

Dimensão dos Desafios	Frequência	Frequência (%)
Técnica	559	68,34%
Organizacional	139	16,99%
Estratégica	106	12,96%
Legal e Ética	14	1,71%
Total	818	100,00%

Fonte: Próprio Autor (2019)

O segundo recorte, foi realizado através da classificação dos desafios, desenvolvida nesse trabalho de acordo com a característica de cada desafio mapeados na literatura, além de permitir categorizar e melhor gerir os registros, também permitindo que um grupo mais específico de desafios possam ser reunidos e avaliados, e que novas linhas de pesquisas do tema possam ser dirigidas através da possibilidade de recortes. Na Tabela 9 é possível

verificar a classificação dos desafios na dimensão técnica, sendo utilizada para as análises finais a classificação dos desafios em demanda por sistemas.

Demanda por sistemas é uma categoria que classifica os desafios que necessitam o desenvolvimento de novos softwares e ou incrementos nos sistemas existentes e utilizam alguma forma de algoritmo para ser solucionado. Demanda por tecnologia é a necessidade de desenvolvimento de uma nova solução com um conjunto de sistemas, software ou hardware, para atender uma determinada necessidade. A classificação segurança envolve todos desafios que abordam questões da falta ou necessidade de dispositivos de segurança nos sistemas e nas tecnologias envolvidas, já redes são todos os desafios relacionados a integração de um tecnologias por meio de um meio físico qualquer.

Tabela 9 - A classificação dos desafios na dimensão técnica

Classificação dos Desafios	Frequência	Frequência (%)
Demanda por Sistemas	96	17,17%
Demanda por Tecnologia	88	15,74%
Segurança	83	14,85%
Redes	55	9,84%
Aquisição de Dados	53	9,48%
Integração	52	9,30%
Padronização	32	5,72%
Produção	26	4,65%
Virtualização	17	3,04%
Infraestrutura	16	2,86%
Pesquisa e Desenvolvimento	14	2,50%
Maturidade	11	1,97%
Operacional	8	1,43%
Investimentos	3	0,54%
Mão-de-Obra	2	0,36%
Mercado de Tecnologia	2	0,36%
Mercado de Trabalho	1	0,18%
Total Geral	559	100%

Fonte: Próprio Autor (2019)

Todos os desafios relacionados à leitura de uma variável do meio físico, registro dos dados em servidor local ou em uma nuvem são classificados como aquisição de dados. Os desafios que envolvem tecnologias de rede e utilizam dois ou mais equipamentos conectados entre eles e ou com outros dispositivos de rede para alguma finalidade é classificado como

desafios de integração. Desafios que apresentam divergência de requisitos são classificados como padronização e desafios que são relacionados com o processo produtivo propriamente são classificados como produção. Os desafios de virtualização são aqueles enfrentados no desenvolvimento de um sistema e ou processo que deverá ter uma versão além de física, também virtual, assim na obtenção de um modelo virtual, muitos desafios são presentes. Os desafios que se deparam com as condições não favoráveis para a adoção de novas tecnológicas, seja de uma fábrica ou mesmo de maneira geral de um país, são os desafios classificados em infraestrutura. Quando existe a necessidade de desenvolver uma tecnologia, e isso se torna um desafio, estes são classificados como pesquisa e desenvolvimento. Em empresas que não profissionais com conhecimento tecnológico e não estão preparados para adoção de novas tecnologias, esses desafios são classificados em maturidade. Quando envolve uma necessidade de integração entre o humano e a tecnologias e ou os usuários e o sistema, essa demanda promove desafios classificados como operacionais. Os desafios relacionados aos recursos financeiros escassos são classificados como de investimentos. Os desafios referentes ao desenvolvimento técnico e qualificação do ser humano é classificado em mão-de-obra. Os desafios que tem relação com o ambiente de mercado e negócios de tecnologias são classificados como mercado de tecnologia. E por fim, os desafios relacionados a falta e ou a oferta de trabalho são classificados com mercado de trabalho.

Após uma breve explanação dos elementos envolvidos no segundo recorte, o último recorte de pesquisa, por fim verifica todas as tecnologias envolvidas bem como a frequência estabelecida em função de cada um dos desafios registrados. O resultado demonstra que a tecnologia com um número maior de frequência e que demanda por desenvolvimento de novos sistemas na dimensão técnica, são os sistemas CPSs. Esse sistema está entre os temas mais frequentes na literatura de desafios, visto esses resultados do recorde, e foi selecionado para as análises de verificação principalmente dos desafios registrados, e consequente verificação dos benefícios soluções e princípios. A Tabela 10 apresenta a lista de tecnologias que demandam sistemas na dimensão técnica.

Tabela 10 - As tecnologias na demanda por sistemas na dimensão técnica

Tecnologia	Frequência	Frequência (%)
CPS	21	21,88%
Big Data	17	17,71%
Cloud Computing	15	15,63%
Inteligência Artificial	12	12,50%
Internet das Coisas	11	11,46%
Redes s/ Fio	5	5,21%
Redes s/ e c/ fio	4	4,17%
TIC	4	4,17%
Industria 4.0	2	2,08%
Cybersecurity	1	1,04%
Virtualização	1	1,04%
Realidade Aumentada	1	1,04%
Realidade Virtual	1	1,04%
Realidade Virtual / Simulação	1	1,04%
Total	96	100,00%

Fonte: Próprio Autor (2019)

Importante desatacar que a literatura para alguns desafios, não especifica a tecnologia, nesse sentido, foi estabelecido o registro “indústria 4.0” para esses casos. Os desafios gerais serão apresentados no item seguinte, e o item próximo irá apresentar os desafios encontrados a partir do recorte e que tem objetivos de representar uma tendência de pesquisa.

### 2.2.1.3 DESAFIOS GERAIS DA INDÚSTRIA 4.0 (LITERATURA INTERNACIONAL)

Foram encontrados 439 (quatrocentos e trinta e nove) desafios distintos em 4 (quatro) dimensões (Tecnológica, Organizacional, Estratégica e Legal), e em 177 (cento e setenta e cinco) artigos, sendo que em 16 (dezesesseis) artigos os desafios não foram relacionados pois através da leitura do seu resumo não foi possível identifica-los, apenas sendo possível interpretar que em seu teor e conteúdo haviam uma abordagem da indústria 4.0 com desafios presentes. A Tabela 10 apresenta 45,23% dos desafios de maior frequência encontrados nessa pesquisa.

Ślusarczyk (2018) apresenta como os maiores desafios global, a baixa maturidade em tecnologia e a segurança e integridade da informação. Diferentemente desse autor, essa

pesquisa traz como os maiores desafios a qualificação de habilidades humanas e segurança e integridade de dados conforme pode ser visto nas primeiras posições da Tabela 11.

Tabela 11 - Os desafios mais frequentes da I4.0 na literatura internacional

Desafio	Frequência	Frequência (%)	Frequência Acum. (%)
Segurança e integridade de dados	34	4,16%	4,16%
Qualificação de habilidades humanas	21	2,57%	6,72%
Segurança e propriedade da informação	17	2,08%	8,80%
Capacidade de investimentos	16	1,96%	10,76%
Desenvolvimento de habilidades humanas	14	1,71%	12,47%
Falta de infraestrutura de tecnologias de informação e comunicação	13	1,59%	14,06%
Escalabilidade de rede	13	1,59%	15,65%
Integração de novas tecnologias nas tecnologias existentes	12	1,47%	17,11%
Desenvolvimento de mecanismos de tomada de decisão e negociação para sistemas integrados	11	1,34%	18,46%
Customização de produtos	11	1,34%	19,80%
Benefícios de investimentos não claros	11	1,34%	21,15%
Aumento da dinâmica competitiva e mudança de ambiente de mercado	10	1,22%	22,37%
Aquisição de dados em grande quantidade não estruturados	9	1,10%	23,47%
Aquisição de dados no ciclo de vida de um produto	8	0,98%	24,45%
Baixo nível de maturidade em tecnologia	8	0,98%	25,43%
Retenção de habilidades humanas	8	0,98%	26,41%
Segurança e integridade dos dados e propriedade das informações	8	0,98%	27,38%
Adaptação do mercado de trabalho à novas tecnologias	7	0,86%	28,24%
Desenvolvimento de novos modelos de negócios	6	0,73%	28,97%
Padronização de protocolos de comunicação	6	0,73%	29,71%
Desenvolvimento de mecanismos reconfiguráveis e auto organizáveis	6	0,73%	30,44%
Gerenciamento de dados heterogeneo em escala	6	0,73%	31,17%
Padronização de sistemas de monitoramento	5	0,61%	31,78%
Integração vertical entre sistemas	5	0,61%	32,40%
Ameaça a atuais modelos de negócio	5	0,61%	33,01%
Complexidade na virtualização de recursos e serviços	5	0,61%	33,62%
Questões legais	4	0,49%	34,11%
Capacidade semântica de explorar um conjunto de dados	4	0,49%	34,60%
Falta de estratégia	4	0,49%	35,09%
Envolvimento de fornecedores de soluções	4	0,49%	35,57%
Atrasos e perdas de pacotes de dados em integração	4	0,49%	36,06%
Aquisição de dados heterogêneos em escala	3	0,37%	36,43%
Limitação nos tipos de materiais para manufatura aditiva	3	0,37%	36,80%
Integração de diferentes tecnologias	3	0,37%	37,16%
Baixa produtividade de produção em manufatura aditiva	3	0,37%	37,53%
Coexistência de transmissão de redes	3	0,37%	37,90%
Integração horizontal entre sistemas	3	0,37%	38,26%
Curto ciclo de vida de produtos	3	0,37%	38,63%
Otimização de desempenho	3	0,37%	39,00%
Desenvolvimento de dispositivos inteligentes de redes	3	0,37%	39,36%
Segurança em aplicações em nuvem e borda	3	0,37%	39,73%
Desenvolvimento de novos padrões de comunicação para gerenciamento de grandes volumes de dados	3	0,37%	40,10%
Alto nível de incerteza no ambiente de produção	3	0,37%	40,46%
Empresas resistentes a tecnologias	3	0,37%	40,83%
Investimentos em pesquisa e desenvolvimento	3	0,37%	41,20%
Falta de coragem para impulsionar a transformação digital	3	0,37%	41,56%
Medo e preocupação com redução de oportunidades de trabalho	3	0,37%	41,93%
Falta de padrões e normas	3	0,37%	42,30%
Alto nível de integração	3	0,37%	42,67%
Alocação de recursos de produção	3	0,37%	43,03%
Segurança e integridade estrutural	3	0,37%	43,40%
Falta de visão e suporte operacional digital claro	3	0,37%	43,77%
Topologia dinâmica e confiabilidade de redes wireless	3	0,37%	44,13%
Baixa qualidade dos dados	3	0,37%	44,50%
Gerenciamento e controle do aumento da complexidade de processo	3	0,37%	44,87%
Gerenciamento e aquisição de dados heterogeneo	3	0,37%	45,23%
<b>Subtotal</b>	<b>370</b>	<b>45,23%</b>	<b>-</b>

Fonte: Próprio Autor (2019)

Com relação aos desafios apresentados na Tabela 10, alguns deles podem ser considerados recorrentes da revolução passada, ou seja, a questão dos investimentos, por exemplo, para adoção de tecnologias na indústria como estratégia para vantagem competitiva, tem sido uma abordagem frequente. Porém um tema persistente, pois a tecnologia tem evoluído muito rápido uma vez que, a segunda e a terceira revolução levaram 100 anos para ocorrer, a quarta iniciou apenas 40 anos após a terceira, sugerindo que investimentos sempre será um tema desafiador para indústria, seja porque novas tecnologias são muito caras, seja porque novas tecnologias surgem muito rápidas podendo ter ciclos muito breves.

Abaixo estão destacados os dez desafios com maior frequência e que estão entre os 20% de toda a amostra, exceto pelo desafio “desenvolvimento de mecanismos de tomada de decisão e negociação para sistemas integrados” que também aparece no recorte e já contempla uma abordagem ampla neste trabalho.

- Segurança e integridade de dados – uma definição pode ser descrita como a falta de sistemas que garantam suficiente proteção de dados para as indústrias durante a implementação da Indústria 4.0 (MOKTADIR et al., 2018; GOLZER et al., 2015; CONSTANTINE, 2014; ZHOU et al., 2016). A segurança é uma questão muito abordada na literatura, primeiro porque as ameaças de indivíduos mal intencionados é constante e muitas vezes não são externas, mas sim internamente às organizações, e depois é necessário que um sistemas na qual seja desenvolvido entre uma série de novas tecnologias, que se comunica com elementos de produção, deva ser confiável para não ocorrer perdas de informações importantes de produção e ou danos que possa corromper o sistema. Segundo Pilloni (2018), com a introdução de meios de comunicação heterogêneos e protocolos que não são concebidos para funcionar em um ambiente industrial, particularmente sem fio, é necessário estudar novos mecanismos que garantam segurança e proteção. Deve-se garantir que as instalações de produção e o produto em si não ameacem as pessoas e o meio ambiente. O uso incorreto do produto e o acesso não autorizado às instalações de produção precisam ser evitados

- Qualificação de habilidades humanas – uma definição pode ser a não existência de equipe de gestão qualificada para executar os novos e inventivos modelos de negócios na Indústria 4.0 (MOKTADIR et al., 2018; HECKLAU et al., 2016; DELLOITE, 2015). Normalmente existe uma divergência entre profissionais que trabalham com TIC e profissionais que trabalham com os processos de automação em uma mesma organização, e

com a Indústria 4.0, a demanda por um novo tipo de profissional com capacidades múltiplas envolvendo diversas áreas e contendo novos princípios industriais, é cada vez mais real. Segundo Mohamed (2018) e Unger et al., (2017), os aspectos mais desafiadores para as organizações que desejam adotar essa nova abordagem são as habilidades manuais e as qualificações de seus trabalhadores em relação a, por exemplo, habilidades de resolução de problemas, análise de falhas, capacidade de lidar com mudanças constantes e tarefas completamente novas. De fato, eles devem ser capazes de lidar com tecnologias específicas da Indústria 4.0 com novas tarefas de complexidade: a coleta, o processamento e a visualização de dados do processo de manufatura.

- Segurança e propriedade da informação – Pode parecer que o desafio em questão é igual ao desafio anteriormente apresentado, porém esse desafio envolve uma questão bastante importante, que é o acesso não apenas ao dado, mas a informação que um conjunto de dados representa e possa ser usado para ações ou vantagens indevidas. Segundo Aazam et al. (2018), o IIoT seria vulnerável a ataques que podem afetar a disponibilidade, a confidencialidade e a integridade dos dados transmitidos ou armazenados. Com o aumento da conectividade, são gerados mais dados que podem ser suscetíveis a roubo e uso indevido, pois várias implantações industriais seriam externas, como construção e mineração. Quando vários nós e sistemas se comunicam entre si, a comunicação e o armazenamento de dados são mais propensos a invasão e roubo. A utilização de dados pode ser usada e pode resultar em mau funcionamento, o que pode ter efeitos drásticos na produção, nas instalações da fábrica e no pessoal que trabalha lá. Além disso, os recursos de interoperabilidade podem aumentar as vulnerabilidades de segurança e privacidade no ambiente IIoT, resultando não apenas em ataques, mas também em uso indevido de informações. Como diferentes sistemas estarão combinando seus recursos em um cenário interoperável de IIoT, há uma maior probabilidade de que dados, informações e comandos possam ser adulterados.

- Capacidade de investimentos – Os investimentos são normalmente recursos financeiros necessários para que um bem seja adquirido para um determinado fim. Muitas empresas criam políticas e estratégias de investimentos, para permitir que modernização e adoção de novas tecnologias possam ser viabilizadas, essa ideia foi bastante levantada em um no item 2.1.4.3 que abordou as estratégias de produção para decisões estruturais em tecnologias. Foi bastante abordado também as maneiras de viabilizar os investimentos financeiramente. Porém essa capacidade é sempre muito complexa e esta diretamente

relacionada com os outros níveis estratégicos da empresa. Na indústria 4.0, restrições financeiras são consideradas ser um desafio muito importante entre as organizações para desenvolvimento de suas capacidades em termos de equipamentos avançados e máquinas avançadas, instalações e processos de inovação sustentável. (LUTHRA e MANGLA, 2018; NICOLETTI, 2018; THEORIN et al., 2017; DAWSON, 2014)

- Desenvolvimento de habilidades humanas – Enquanto o desafio qualificação de habilidades humanas é enfrentado por empresas que se deparam com suas equipes sem a qualificação necessária para operar suas novas tecnologias e princípios da indústria 4.0, o desenvolvimento de habilidades humanas é um desafio enfrentado na busca por profissionais dessa área. Segundo Müller e Voigt (2018), em uma pesquisa sobre diversos aspectos das PMEs, entre eles os desafios comparados entre duas principais estratégias, a Indústria 4.0 e “*Made in China 2025*”, os resultados mostraram que as PMEs alemãs sofrem com a escassez de habilidades, ou seja, uma dificuldade maior para encontrar equipes em nível adequado para as demandas necessárias da Indústria 4.0. Li L.(2018) avaliando também a estratégia chinesa, conclui que a China não é mais considerada com um mercado de mão-de-obra barata, por outro lado também, não é o um país relevante em termos de alta tecnologia.

- Falta de infraestrutura de tecnologias de informação e comunicação – As indústrias normalmente adquirem pacotes de tecnologia de processo que já trazem toda infraestrutura de comunicação incorporada, e em alguns casos já estão disponíveis até para integração entre equipamentos do mesmo fornecedor, porém quando outras aplicações para esses processos são demandadas, falta uma infraestrutura básica para integração. Para muitas empresas de manufatura, as infraestruturas de TIC existentes não estão totalmente prontas para apoiar a transformação digital para a Indústria 4.0, que visa integração horizontal, integração vertical e integração de ponta a ponta (XU et al. 2018; LIAO et al. 2017; OLIVEIRA e ÁLVARES, 2016; DELOITTE, 2015). Alta infraestrutura, instalações e tecnologias baseadas em tecnologia da informação são cruciais para a adoção efetiva dos conceitos da Indústria 4.0. Má conectividade à Internet é uma barreira imperativa para as iniciativas da Indústria 4.0 (LUTHRA e MANGLA, 2018; PFOHL et al., 2017; BEDEKAR, 2017; LEITÃO et al. 2016). Segundo Chen Y. (2017), em muitas empresas, as infraestruturas de TI foram basicamente desenvolvidas como redes de comunicação que vinculam diferentes conjuntos de dados ou informações. Embora isso seja eficiente para manipulação limitada de dados, está se tornando cada vez mais difícil lidar com grandes quantidades de dados e informações em diferentes

plataformas de fabricação. Em particular, há um desafio significativo à segurança ao adotar uma poderosa plataforma de computação em nuvem. A infraestrutura de TI herdada deve ser reavaliada ou substituída para o novo paradigma de fabricação.

- Escalabilidade de rede – As redes têm um papel de fundamental importância na revolução tecnológica, pois permitem os princípios de integração e promovem a transmissão de dados entre dois elementos sensores, um processo produtivo e com a Indústria 4.0, unidades fabris e o mundo externo. Perceba que com a necessidade de transmissão não apenas pequenos volumes de dados entre um mesmo processo produtivo, mas sim de grandes volumes entre a indústria e seu mundo exterior, as redes de comunicação devem estar preparadas para efetuar o seu papel de transmissão, o que é um desafio ainda. Segundo Wang S. et al. (2016) os protocolos IWN (redes sem fio inteligentes) de alta velocidade usadas atualmente não oferecem largura de banda suficiente para comunicação densa e transferência de alto volume de dados, mas é superior à rede cabeada no ambiente de fabricação como a redes do protocolo Ethernet Industrial considerando as características voláteis a fábrica inteligente causada por, por exemplo, recém-adicionadas máquinas ou mau funcionamento de máquina e ou entidades móveis como veículos guiados automatizados (AGVs) e ou produtos. O tráfego de dados na infraestrutura de rede industrial implementada poderia aumentar significativamente, resultando em atrasos de pacotes indesejáveis e congestionamento de rede. O tráfego de dados deve ser roteado de forma eficiente para evitar o congestionamento (ROMERO-GÁZQUEZ e BUENO-DELGADO, 2018)

- Integração de novas tecnologias nas tecnologias existentes – As empresas possuem muito ativos com dez ou mais anos funcionando em perfeitas condições, porém no processo de aquisição desses ativos ao longo da Indústria 3.0, não era requisitado alto nível de automação, muito em função de redução de custo e desconhecimento do que de fato esses equipamentos com maior nível de automação poderiam oferecer. No entanto, com esses ativos com recursos reduzidos funcionando, a Indústria 4.0 surge e obrigam as empresas a modernizaram esses equipamentos pelo menos de maneira parcial. Segundo Xu et al. (2018) desafios de IoT envolve entre outros, a necessidade de uma integração da IoT com os sistemas de TIC existentes ou sistemas legados para formar uma infraestrutura de informação unificada, pois a IoT tem sido frequentemente desenvolvida com base em um ambiente tradicional de TIC, além de ser afetada por tudo conectado à rede.

- Customização de produtos – Com a integração digital da indústria, uma oportunidade de maior proximidade com os clientes se abre, assim gerando um desafio em contrapartida, já que os clientes buscam produtos cada vez mais customizados. Com o tempo, os compradores ganharam a chance de definir as condições do negócio. Esta tendência leva a uma individualização crescente dos produtos. É chamado de “tamanho de lote único”. (MOHAMED, 2018; SAURABH et al., 2016). Hofmann et al. (2018) em um artigo sobre simulação de transferências em processo contínuos com base em conceitos da Indústria 4.0, com uma citação de Mayer S., H., (2009), os autores acreditam que com o aumento da complexidade da produção são desafios que as empresas estão atualmente enfrentando, principalmente com altos níveis de customização em mercado saturados de países desenvolvidos e aumento de demanda em geral. A crescente influência do e-commerce leva a volumes crescentes e mais flutuantes de pedidos e a uma redução simultânea no tamanho médio dos pedidos.

- Benefícios de investimentos não claros – A estratégia Indústria 4.0 é complexa em termos de tecnologias, e demanda por muitas vezes altos investimentos, o que dificulta principalmente encontrar casos que demonstrem a viabilidade em termos de benefício financeiro e retorno do investimento. De acordo com Lenz et al. (2018) para modernizar processos de usinagens o autor considera um desafio organizacional, sugerindo que a viabilidade econômica varia em certa medida com o tamanho da empresa e, muitas vezes, as sinergias possíveis justificam a implementação para empresas de médio e grande porte. Falta de visão clara ou apoio dos gestores, benefícios econômicos pouco claros de investimentos em tecnologias digitais e altos requisitos de investimento financeiro também são importantes (ŚLUSARCZYK, 2018)

#### 2.2.1.4 DESAFIOS TÉCNICOS EM DEMANDA POR SISTEMAS DE CPSS

Conforme já explanado no item 2.2.1.2, um recorte foi realizado para identificar uma tendência de pesquisa, assim foi identificado os autores que trabalharam com os desafios da dimensão técnica demandando por novos desenvolvimentos de sistemas para a tecnologia de sistemas CPSSs, totalizando doze artigos estão apresentados no Quadro 6.

A tecnologia CPS está entre a mais frequente na classificação dos desafios classificados por demanda por sistemas. Nesse contexto Ribeiro e Bjorkman (2018),

concluem que faltam direções básicas de projetos de CPS, pois estabelecem uma relação sólida em grandes sistemas de engenharia obscuros.

Quadro 6 - Relação de autores e desafios

Dimensão Técnica - Demanda por Sistemas na tecnologia CPS (Sistemas Ciber-Físicos)	
Autores	Desafios
Ribeiro L., Bjorkman M. (2018)	Informação atravessadas em arquiteturas complexas de recursos de produção
	Comunicações paralelas em arquiteturas complexas de recursos de produção.
	Capacidade semântica de explorar um conjunto de dados.
	Instabilidade de sistema em análise de dados.
	Diferentes características de tempo entre sistemas.
	Desenvolvimento de sistemas de avaliação de variabilidades de CPS.
	Cobertura Limitada na operação dos sistemas CPSs.
Ribeiro L., Hochwallner M. (2018)	Capacidade semântica de explorar um conjunto de dados.
	Capacidade de auto avaliação do sistema em normalidade e em perturbações.
Jirkovsky et. al (2017)	Integração de dados heterogêneos em CPSs através de métodos ontológicos.
	Arquitetura de sistemas para integração de dados em CPSs.
Wan J. et. al (2018c)	Modelagem de cronograma em sistemas de produção.
	Desenvolvimento de mecanismos reconfiguráveis e auto organizáveis
Mosterman e Zander (2016)	Interações de recursos no compartilhamento de funções.
Jiang Y. et al. (2018)	Capacidade de auto avaliação do sistema em normalidade e em perturbações
Bangemann et. al (2016)	Padronização de Sistemas de Monitoramento
Karaköse, M., Yetiş, H. (2017)	Verificação e validação de sistemas em transações automáticas.
Glick et. al (2015)	Desenvolvimento de mecanismos reconfiguráveis e auto organizáveis.
Mohamed, M.(2018)	Desenvolvimento de mecanismos reconfiguráveis e auto organizáveis.
Muefler et. al (2017)	Gerenciamento de dados heterogêneo em escala
Yue et. al (2015)	Gerenciamento de dados heterogêneo em escala

Fonte: Próprio Autor (2019)

Na sequência abaixo, os desafios atribuídos a esse recorte são descritos em detalhes:

- Desenvolvimento de mecanismos reconfiguráveis e auto organizáveis – ao processar um produto, o equipamento para usinagem ou teste deve ser agrupado e trabalhado em conjunto para a tomada de decisão distribuída. Portanto, existe a necessidade de criar uma unidade de transporte modular e inteligente que possa reconfigurar dinamicamente as rotas de produção. (MOHAMED, 2018; WAN, et. al 2016c)

- Capacidade de auto avaliação do sistema em normalidade e em perturbações – a habilidade de entender o que um complexo sistema está fazendo tem ramificações não apenas em seu funcionamento normal, mas também, pelo menos tão importante, se não mais, em seu comportamento sob perturbações. CPSs deve tentar detectar e diagnosticar falhas. Dada a sua estrutura complexa e composicional, isso pode ser um desafio a depender do tamanho e da complexidade das interações subjacentes (RIBEIRO e HOCHWALLNER, 2018).

- Capacidade semântica de explorar um conjunto de dados – uma demanda por sistemas que avaliem a informação hierárquica da produção no nível de colaboração entre CPSs, determinando dinamicamente as atividades devendo haver um mínimo de interface entres os sistemas e entre equipamentos. Um processo colaborativo baseado em uma interação ponto a ponto recém-formada iria ressincronizar as atividades do sistema até que os componentes afetados voltassem a funcionar e a hierarquia pudesse ser restaurada, assim um importante desafio é que os CPSs precisam avaliar mais informações semânticas para decidir qual parte da hierarquia precisa ser dissolvida e quando ela pode ser restaurada (RIBEIRO e BJORKMAN, 2018). Importante destacar que a capacidade do sistema interpretar e tomar decisões autônomas, ou seja, de maneira semântica em cenários como relatado acima demanda desenvolvimento de sistemas e algoritmos.

- Gerenciamento de dados heterogêneo em escala – Nas fábricas, em qualquer lugar e em qualquer momento existe uma geração de dados, as principais fontes de dados vêm de projeto, cadeias de produção, informação de logística, monitoramento dos equipamentos e redes sociais. Diferentes tipos de dados apresentam grandes desafios para o processo, armazenamento, modificações e análise para representar o resultado desejado, que é muito essencial para as indústrias. Além do mais, muitos desses dados são semiestruturados e não estruturados, o que é diferente dos dados tradicionais dados estruturados. Todas essas características determinam que seja necessário usar diferentes algoritmos para uma análise (YUE et al., 2015).

- Interações de recursos no compartilhamento de funções – Em uma fase de integração do sistema, os problemas que surgem devido a recursos interativos podem ser resolvidos. Realizar o design, calibragem e análise cuidadosa de um local de trabalho estão longe de ser simples. Muito mais robusta é uma avaliação metodológica de incertezas aceitáveis, quantidades críticas com tolerâncias e introdução de limites de desempenho e qualidade. É uma necessidade para o CPS fornecer uma visão mais abrangente dos sistemas. Dessa maneira, os especialistas podem adotar uma abordagem específica e efetuar projetos de forma proativa. O desafio correspondente é determinar o mais apropriado nível de abstração bem como um formalismo para apoiar e habilitar tal visão sistêmica específica multidisciplinar (MOSTERMAN e ZANDER, 2016)

- Diferentes características de tempo entre sistemas – Os diferentes tempos de atuação apresentam um desafio importante. Os principais códigos de programação e controladores de

automação fornecem mecanismos razoáveis para operação em tempo real. Entre estes, vale a pena mencionar que recursão e alocação de memória dinâmica geralmente não são permitidas, tornando o tamanho de um programa previsível junto com uma estimativa razoável do tempo de varredura para diferentes programas em dispositivos em nível de campo. Simultaneamente, os protocolos de rede em tempo real são responsáveis pela entrega de dados previsíveis, ou seja, planejadas pelo projeto de automação. Mesmo se complexo e impraticável, o desempenho de um sistema de automação convencional seria possível prever em princípio. No entanto, a temporização como uma abstração de projeto não é considerada nas principais linguagens de programação e sistemas operacionais que serviria como um suporte para os principais desenvolvimentos dos CPSs (RIBEIRO e BJÖRKMAN, 2018).

- Instabilidade de sistema em análise de dados – Uma das decisões mais importantes no que diz respeito ao projeto da CPPS relaciona a natureza do caminho de controle entre os componentes do sistema. Soluções semi-heterogêneas têm um tremendo potenciais para melhorar a resposta do sistema em distúrbios. Embora essa abordagem seja conceitualmente simples, sua implementação envolve importantes desafios. Em primeiro lugar, os CPPMs exigem avaliar mais informações semânticas para decidir quais partes da hierarquia precisa ser dissolvida e quando pode ser restaurado. Em segundo lugar, dependendo da amplitude da disponibilidade informações, a nova organização poderia deixar o sistema em um estado operacional bastante sub-ótimo. Finalmente, tal sub-ótimo estado pode persistir mesmo após a hierarquia é restaurada devido a um conjunto de decisões locais e cumulativas, mas globalmente menos desejadas (RIBEIRO e BJÖRKMAN, 2018).

- Processo de simulação com cobertura limitada na operação dos sistemas CPS – Os processos de simulação oferecem frequentemente uma cobertura limitada sobre os espaços de decisão e configuração que os sistemas complexos podem abranger. A maioria das ferramentas de simulação de eventos discretos de produção, não inclui suporte para simulação e avaliação do “*plug-and-produce*” dos equipamentos e nem para dinâmica de auto-organização. Eles também geralmente não suportam a conexão de elementos de controle externos e assumem modelos estruturalmente imutáveis durante execuções de simulação (RIBEIRO e BJÖRKMAN, 2018).

- Informações atravessadas em arquiteturas complexas de recursos de produção – Primeiro é importante que esse desafio seja contextualizado através da ideia da existência em uma arquitetura de produção, de entidades funcionais que representam um recurso qualquer

de produção. No entanto, a formação de arquiteturas com liberdade para incorporar uma diversidade desses recursos em um nível mínimo de interface no sistema, produz alguns desafios. Cada camada que precisa ser atravessada por informações antes que uma decisão possa ser decretada nessa informação resulta em uma situação de desempenho que advém da informação sendo processada em diferentes níveis lógicos (RIBEIRO e BJÖRKMAN, 2018).

- Comunicação paralela em arquiteturas complexas de recursos de produção – Esse desafio também é produzido e está associado ao alto nível de liberdade de incorporação de diversos recursos nas arquiteturas de produção conforme descrito no desafio anterior. Nesse caso, porém, é importante destacar a questão da granularidade, que é a representação de um recurso de menor proporção, mas com relevância na arquitetura. A granularidade não estruturada também pode causar interações entre componentes em níveis de abstração distintos. O estabelecimento de uma possível região como canais de comunicação síncrona pode criar inconsistências no comportamento global do sistema (RIBEIRO e BJÖRKMAN, 2018).

- Modelagem de programação em sistemas de produção – Segundo Wan J. et al. (2018c) a produção é impulsionada por lotes pequenos e lotes unitários com mix grande de produtos, e a pesquisa existente sobre a tecnologia reconfigurável de recursos de fabricação é focada na estratégia de programação do sistema, modelagem de rede, multiagente e assim por diante. Porém a estratégia de programação é complexa devido aos numerosos tipos de produtos, mudança de alta frequência da organização da produção, grande escala da linha de produção e recursos de equipamentos complicados no processo.

- Padronização de sistemas de monitoramento – Os futuros sistemas CPSs industriais serão baseados em tecnologias poderosas emergentes, além disso, será uma mistura de certas tecnologias, como tecnologias de IoT, interações baseadas em serviços, processamento de alto desempenho mesmo em sistemas embarcados, virtualizações e recursos de nuvem, big data ou processamento complexo de eventos. Isso levará a novos desafios para muitos participantes em todos os processos relacionados à produção em todo o ciclo de vida dos sistemas de produção e ao longo da cadeia de valor (BANGEMANN et al., 2016)

- Verificação e validação de sistemas em transações automáticas – Segundo Karaköse e Yetiş (2017) a remoção de um coordenador/operador humano que recebe pedidos de produção e submete esses pedidos para a sua respectiva produção, é agora realizada

totalmente sem interferência humana, porém esses sistemas apresentam alguns desafios. Por exemplo, quando a coordenação/operação é atualizada por humanos, eles podem verificar se a mensagem foi enviada com sucesso. Mas as máquinas precisam fazer um esforço tão grande para fazê-lo. Algumas precauções devem ser tomadas para evitar a perda de dados. Assim, os dois subsistemas devem dar as mãos, para confirmar que a encomenda é entregue a outro sistema.

- Integração de dados heterogêneos em CPSs através de métodos ontológicos – De acordo com Jirkovský et al. (2017) a solução baseada na descrição semântica detalhada e adequada dos dados com a ajuda da linguagem de programação ontológica (*OWL – ontology web language*) foi proposta, porém infelizmente, a realização não é fácil nem totalmente direta sendo um dos aspectos problemáticos. A criação da ontologia é a base para a obtenção de um sistema operacional sem falhas e para uma possível interação correta com os sistemas adjacentes. No entanto, a criação da ontologia que descreve muitos sistemas diferentes pode ser exaustiva e, portanto, a utilização de sistemas para criação de ontologias automáticas ou semi-automáticas é apropriada.

- Arquiteturas de sistemas para integração de dados heterogêneos em CPSs – arquitetura também é frequentemente representada como um sistema de duas partes que consiste de uma parte ciber e uma parte física. Além disso, os CPSs são a parte essencial para o futuro da internet das coisas (IoT). No entanto, os CPSs dentro de um sistema complexo são produzidos por diferentes fabricantes com diferentes modelos de dados e interfaces. A heterogeneidade entre esses blocos de construção representa a questão importante a ser resolvida para sucesso IoT. Um comportamento de sistema e recursos de sistema subsequentes é influenciado por uma seleção de como manipular os dados. Em outras palavras, a relação entre o desempenho e a facilidade de gerenciamento do sistema (JIRKOVSKÝ, 2017).

- Desenvolvimento de sistemas de avaliação de variabilidades de CPSs – Existe uma lacuna tecnológica adicional relacionada à disponibilidade de ferramentas para avaliar os CPSs. Os CPSs são entidades complexas e em evolução, com alto grau de autonomia. Isso produz importantes desafios de avaliação que vão além das ferramentas e recursos disponíveis hoje. Os CPSs com todas as características que lhes foram atribuídas, bem como todas as expectativas pendentes sobre eles, operarão em sistemas abertos, com conjuntos de componentes variáveis (tamanho, estrutura, tempo e comportamento). Tal arranjo torna a

validação um procedimento complexo, dada a complexidade da matriz de causalidade entre esses componentes. Assim, é muito provável que ocorram comportamentos emergentes e, na maioria das vezes, muito difíceis de rastrear até as condições da raiz (RIBEIRO e BJÖRKMAN, 2018).

As análises desse recorte mostram ainda que existe uma demanda por estudos qualitativos empíricos e quantitativos do tipo survey, já que os métodos classificados de pesquisa, relacionados entre os artigos não está presente, conforme pode ser visto na Tabela 12. Uma hipótese sobre essa lacuna é a falta de maturidade da tecnologia em seu início de desenvolvimento.

Tabela 12 - Classificação e frequência dos métodos utilizados nos artigos do recorte

Classificação de Pesquisa	Frequência	Frequência (%)
Conceitual	15	71,43%
Revisão	3	14,29%
Modelagem e Simulação	3	14,29%
Total	21	100,00%

Fonte: Próprio Autor (2019)

Com relação à classificação do contexto econômico do país pesquisado, não foi possível identificar, já que não existem dados empíricos coletados. Além do mais, todos os trabalhos foram realizados utilizando o método conceitual e ou simulado em aplicações na área industrial exceto o artigo de Karaköse, M., Yetiş, H. (2017), que propuseram a produção com uma integração com a cidade inteligente. O Quadro 7 apresenta as principais contribuições dos artigos segundo os autores.

Quadro 7 – Principais contribuições dos artigos

Autor	Sumário de Contribuição de Pesquisa
Karaköse, M., Yetiş, H. (2017)	Proposta de uma abordagem autônoma, para produção customizada a partir da realização dos pedidos em um ambiente de cidade inteligente diretamente integrada para cliente.
Glück et. al (2015)	Proposta de apresentação de novas abordagens de controle de processos de gestão de qualidade no contexto da indústria 4.0.
Mohamed, M.(2018)	Proposta de uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar os desafios e questões relacionadas à Indústria 4.0 bem como os principais benefícios.
Mueller et. al (2017)	Proposta de identificar os desafios e os requisitos da Indústria 4.0 para a tecnologia CPS, apresentando o conceito como um todo e exemplos de aplicação.
Yue et. al (2015)	Proposta de um conceito de sistema CPS assido por computação em nuvem apresentando as tecnologias correlacionadas e os desafios da adoção.
Wan J. et. al (2018c)	Proposta e simulação de uma arquitetura com adoção de aplicações ontológicas para CPSs e recursos de produção
Mosterman e Zander (2016)	Proposta e simulação de um sistema de compartilhamento e colaboração de recursos para tecnologia CPS.
Jiang Y. et al. (2018)	Proposta de um sistema de monitoramento e controle seguro para os sistemas CPSs dirigido por dados.
Bangemann et. al (2016)	Proposta de apresentação dos desafios de integração de sistemas comerciais com sistemas desenvolvidos para a tecnologia CPS.
Jirkovsky et. al (2017)	Proposta de apresentação de conceitos de dados heterogêneos e os desafios de que representam em aplicação de sistemas para a tecnologia CPS.
Ribeiro L., Hochwallner M. (2018)	Proposta de revisão e levantamento dos requisitos das tecnologias CPS em níveis de maturidade.
Ribeiro L., Bjorkman M. (2018)	Proposta de apresentação dos desafios de transição de sistemas de automação estático para sistemas CPS dinâmicos.

Fonte: Próprio Autor (2019)

### 2.2.1.5 REVISÃO SISTEMÁTICA (LITERATURA NACIONAL)

Já a pesquisa no “*Scholar Google*” foi realizada na primeira etapa entre os dias 05/03/2018 e 14/03/2018 e na segunda etapa no dia 16/02/2019. As pesquisas realizaram um primeiro filtro relacionado aos anos de publicação, sendo entre 2013 à 2018, pois a principal referência do surgimento do termo “Indústria 4.0” é da Academia de Ciência e Engenharia da Alemanha em 2013 (KAGERMANN et al., 2013) e também o período em que os conceitos da Indústria 4.0 começaram a se desenvolver na literatura. As palavras-chave utilizadas foram “indústria 4.0” e “desafios” na busca pelos desafios de adoção das tecnologias do ponto de vista nacional. Patentes e citações foram desabilitadas na pesquisa, pois o objetivo é buscar documentos de maneira geral que contribua mais efetivamente na identificação dos desafios.

Como a base “*Scholar Google*” é bastante abrangente, alguns registros vieram com o arquivo nomeado de um jeito e com o conteúdo igual a outro registro.

Como o assunto “Indústria 4.0” é um tema bastante pesquisado não somente em pesquisas direcionadas a indústria, foi necessária fazer uma seleção dos trabalhos direcionados a aplicações e contexto industrial e tecnológico, levando em conta também os arquivos que efetivamente tratavam o tema de barreiras da indústria 4.0 discutido. Unindo as duas pesquisas, ou seja, a de 2018 e a recente em 2019, de um total obtidos a partir da base “*scholar google*” de 123 documentos, foram selecionados apenas 20 documentos da literatura nacional que apresentavam alguma relevância na apresentação dos desafios de adoção da indústria 4.0, os quais estão analisados bibliograficamente abaixo. Os tipos de documentos selecionados na literatura nacional foram encontrados basicamente artigos de congressos, teses de doutorados e mestrado, trabalhos de conclusão de bacharelado e um trabalho de conclusão de especialização conforme o Tabela 13.

Tabela 13 - Classificação do método de pesquisa na amostra da literatura nacional

Método de Pesquisa	Frequência	Fr (%)
Revisão de Literatura	11	55,00%
Survey	4	20,00%
Estudo de Múltiplos Casos	2	10,00%
Estudo de Caso	2	10,00%
Pesquisa-ação	1	5,00%
Total geral	20	100,00%

Fonte: Próprio Autor (2019)

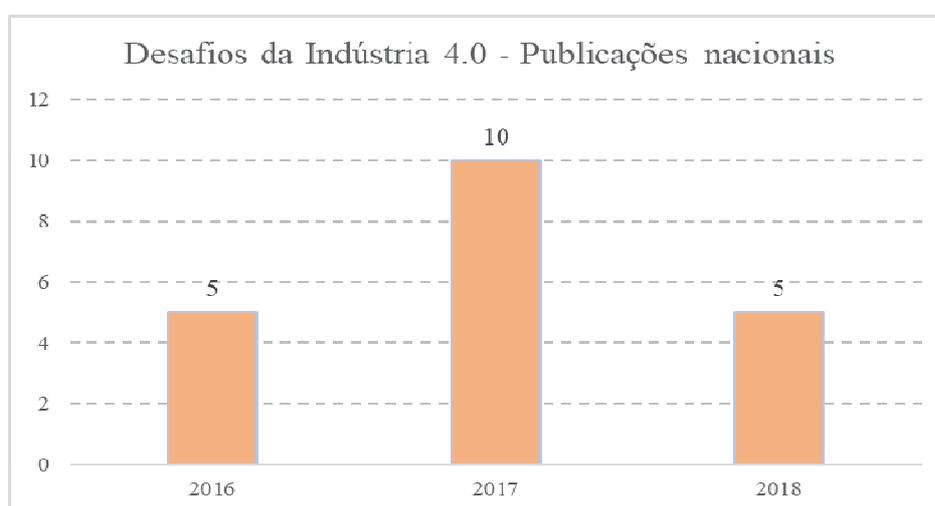
Entre o tipo de publicações realizadas, os artigos publicados em congresso representam a maior quantidade seguida dos trabalhos de conclusão de curso, artigo de revista e teses de doutorado conforme a apresentação do Quadro 8. Entre os anos das publicações encontradas, a representação é maior em 2017 com 10 documentos conforme a apresentação da Figura 20.

Quadro 8 - Tipo de publicação nacional apresentando desafios da Indústria 4.0

Tipo de Publicação	Nº de Publicações
Artigo de Congresso	6
Trabalho de Conclusão	5
Artigo de Revista	4
Tese de Doutorado	3
Tese de Especialização	1
Tese de Mestrado	1

Fonte: Próprio Autor (2019)

Figura 20 - Volume de publicações nacionais evolução anual



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Entre as fontes das publicações, o destaque vai para a revista FAE que possui duas publicações nos documentos selecionados. Porém cabe destacar também que entre as teses e os trabalhos de conclusão de curso, não existe uma tendência de estudos em uma área específica de formação, ou seja, engenharias, economia e informática são os principais cursos que os desafios da Indústria 4.0 são estudados, porém a administração, cursos de design e relações internacionais também aparecem nessas publicações. Entre os autores a Aires R. et al. (2017a, 2017b) publicaram mais de um artigo na área.

Com relação à dimensão dos desafios totais, assim como a literatura internacional, os resultados mostram que a maior parte dos desafios encontrados na literatura nacional, cerca de 55,3% são de origem técnica conforme a Tabela 14.

Tabela 14 - As dimensões relativas aos desafios da Indústria 4.0 da literatura nacional

Dimensão dos desafios totais	Frequência	Frequência (%)
Técnica	62	55,36%
Estratégica	32	28,57%
Organizacional	14	12,50%
Legal e Ética	4	3,57%
Total	112	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Como a amostra de documentos da literatura nacional na base “*Scholar Google*” que apresentam os desafios da Indústria 4.0 é menor do que a da base “*Scopus*”, as tabelas seguintes são apresentadas com os dados totais e não efetuando um recorte como realizado na literatura internacional. Além de ter um maior volume de publicações, a literatura internacional também possui artigos com maior relevância de pesquisa, visto os critérios para ser apresentado na respectiva base, assim o recorte realizado visa explorar uma demanda a ser estudada na busca por soluções e também uma tendência de pesquisas futuras.

A Tabela 15 apresenta a classificação dos desafios em todas as quatro dimensões utilizadas nesse trabalho, sendo o Brasil um país carente ainda de recursos, ou seja, um país ainda em crise e com poucos recursos para o investimento, esse é juntamente com a mão-de-obra as classificações mais frequentes na literatura nacional conforme visto abaixo.

Com relação às tecnologias citadas, a maior frequência fica por conta dos conceitos gerais tratados nos documentos, em que nenhuma tecnologia é associada especificamente, porém a Internet das coisas e as tecnologias de informação e comunicação possuem a maior frequência depois da generalização de tecnologias conforme visto abaixo na Tabela 16.

Tabela 15 - A classificação dos desafios em todas as dimensões

Classificação dos desafios totais	Frequência	Frequência (%)
Investimentos	16	14%
Mão-de-Obra	16	14%
Segurança	14	13%
Redes	9	8%
Demanda por tecnologias	8	7%
Aquisição de dados	7	6%
Mercado de tecnologia	6	5%
Infraestrutura	6	5%
Operacional	6	5%
Maturidade	6	5%
Padronização	5	4%
Integração	5	4%
Produção	3	3%
Demanda por sistemas	2	2%
Segurança Jurídica	2	2%
Mercado de trabalho	1	1%
Total	112	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Tabela 16 - As tecnologias todas as dimensões

Tecnologias Totais	Frequência	Frequência (%)
Indústria 4.0 geral	83	74%
Internet das coisas	16	14%
Tecnologias da Informação/Comunicação	4	4%
Redes sem-fio	3	3%
Big Data	3	3%
Redes com fio	1	1%
Sistema Ciber-Físicos	1	1%
Inteligência Artificial	1	1%
Total	112	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

#### 2.2.1.6 DESAFIOS GERAIS DA INDÚSTRIA 4.0 (LITERATURA NACIONAL)

Foi identificado em 20 documentos um total de 122 registros relacionados aos desafios da Indústria 4.0, no entanto em 60,7% dos registros são representando por desafios com uma

frequência de pelo menos em dois documentos diferentes, sendo esses os mais relevantes. Na Tabela 17, é possível verificar que a capacidade de investimentos e a qualificação de habilidades humanas são os desafios mais frequentes na literatura nacional.

Vale ainda ressaltar que alguns desafios não são encontrados na literatura internacional, tendo em alguns casos relação com a particularidade de país em desenvolvimento como o caso do Brasil em desafios como a falta de infraestrutura para acesso a rede regionalmente, esse muito em função do país ser continental e ter discrepâncias no desenvolvimento entre as regiões. Também a falta de incentivos para adoção de novas tecnologias o que sugere ainda uma baixa maturidade do país com relação a sua estratégia de quarta revolução industrial.

Tabela 17 - Os desafios mais frequentes da Indústria 4.0 presentes na literatura nacional

Desafios presentes na literatura nacional	Frequência	Frequência (%)
Capacidade de Investimentos	12	10,71%
Qualificação de habilidades humanas	9	8,04%
Segurança e propriedade de dados	6	5,36%
Desenvolvimento de habilidades humanas	6	5,36%
Segurança e integridade de dados	5	4,46%
Questões legais	4	3,57%
Falta de gerenciamento baseado em conhecimento humano	4	3,57%
Benefícios de Investimentos não claros	3	2,68%
Falta de Infraestrutura de TIC	3	2,68%
Desenvolvimento de novos modelos de negócios	2	1,79%
Mudanças e cooperação no contexto empresarial	2	1,79%
Introdução e integração de novas tecnologias	2	1,79%
Escalabilidade de rede	2	1,79%
Padronização de protocolos de comunicação	2	1,79%
Padronização em infraestrutura de comunicação	2	1,79%
Incentivo para adoção de novas tecnologias	2	1,79%
Falta de infraestrutura para acesso à rede regionalmente	2	1,79%
Total Geral	112	60,71%

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Esse capítulo foi dedicado ao referencial teórico básico, em que foi apresentado o surgimento Indústria 4.0 bem como seus conceitos fundamentais que são as tecnologias, princípios e fatores habilitadores. Na sequência uma revisão de literatura com as revisões sistemáticas internacionais e nacionais com os desafios de adoção das tecnologias da Indústria 4.0. No próximo capítulo será abordado à metodologia de pesquisa.

### 3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Esse capítulo tem como objetivo apresentar o método de pesquisa, delineado com base no escopo de pesquisa conforme item 3.1, na sequência no item 3.2 a descrição do método utilizado com base nos objetivos a serem alcançados, e no item 3.3 a respectiva estrutura conceitual. O item 3.4 apresenta a caracterização do mercado onde a pesquisa está inserida, na sequência o item 3.5 com a abordagem sobre a condução de pesquisa e do item 3.6 o protocolo e da coleta de dados.

#### 3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Esse trabalho se caracteriza por ser um trabalho com uma abordagem quantitativa e qualitativa do tipo aplicada na identificação dos desafios de adoção da estratégia Indústria 4.0, com uma abordagem mista na compreensão da relevância da Indústria 4.0 a partir dos fornecedores das respectivas tecnologias digitais para a indústria de transformação, que não permitem a modernização industrial como uma estratégia na gestão de operações. Para compreensão de quais são os desafios vivenciados pelas empresas nacionais fornecedoras de tecnologias frente a seus consumidores, foi utilizado com auxílio de especialistas de cada empresa fornecedora, dados coletados através de questionários estruturados enviados por e-mail através sistemas dedicados a realização de pesquisas surveys.

Os especialistas foram selecionados em todos os perfis de empresas fornecedoras de tecnologia da Indústria 4.0, ou seja, de pequeno, médio e grande porte, empresas nacionais e multinacionais com operação no Brasil, e que fornecem variadas soluções da Indústria 4.0, de forma a não generalizar um setor específico.

A amostra de empresas pesquisadas é relevante, pois, além de ter sido selecionada apenas aquelas que apresentavam alguma forma de tecnologia da Indústria 4.0, foram contatadas em três grandes feiras Brasileiras de tecnologias para indústria, realizadas no estado que representa um terço do PIB brasileiro e na maior cidade do país que é São Paulo-SP, entre os anos de 2018 e 2019 em plena reflexão da estratégia Indústria 4.0 no contexto mundial.

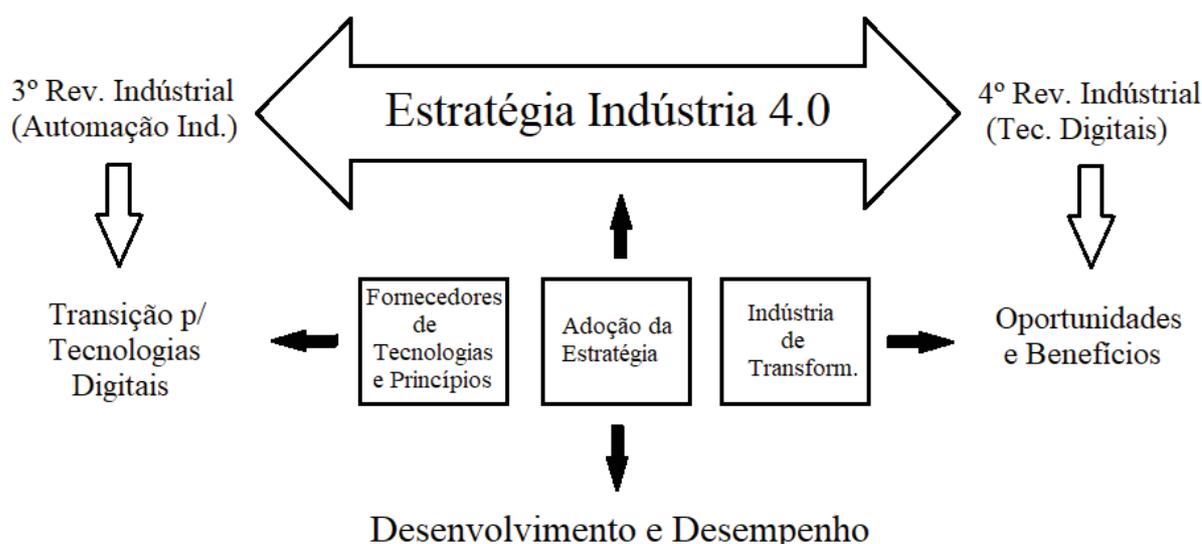
Entretanto, no que diz respeito ao perfil dos respondentes, é importante destacar que estamos vivendo uma transformação digital com uma revolução industrial, e que muitas

informações estão sendo pulverizadas e muitas ainda estão em consolidação, o que pode no processo de coleta de dados ocorrerem desvios em termos de interpretação dos dados, porém são os especialistas de cada empresa fornecedora de pelo menos uma tecnologia da indústria 4.0, os responsáveis por receber, analisar e responder o questionário estruturado.

O planejamento e a execução da coleta de dados, de acordo com Kiel et al. (2017) ao citar Mason (2002), conclui que a pesquisa qualitativa mais comumente se baseia em entrevistas, nesse sentido foram escolhidas entrevistas semiestruturadas com especialistas como engenheiros e técnicos como a principal fonte de material empírico. Além disso, eles facilitam uma coleta de dados estruturada, ainda fornecendo o nível necessário de abertura para permitir o surgimento de novos conhecimentos inesperados, o que corresponde à natureza exploratória deste estudo (KIEL et al., 2017; YIN, 2009; CANNELL e KAHN, 1968). A condução da pesquisa está mais bem detalhada no item 3.5 desse capítulo.

Assim conforme exposto, essa pesquisa visa identificar a importância dos desafios da literatura internacional da Indústria 4.0 por parte das empresas que estão situadas na cadeia de fornecimento de tecnologias em alinhamento com a revisão bibliográfica realizada torno do tema, abaixo segue um modelo conceitual para ilustrar a pesquisa na Figura 21.

Figura 21 - Modelo conceitual simplificado da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 3.2 MÉTODO DE PESQUISA

Um método empírico em uma abordagem mista, foi utilizada para determinar quais são os principais desafios de adoção de novas tecnologias na indústria à luz da quarta revolução industrial, a partir do auxílio de fornecedores de tecnologias para indústria em um *survey* com questionário estruturado e perguntas abertas e fechadas utilizando a escala likert de 5 pontos. Segundo Forza (2002), um *survey* descritivo, tem o objetivo de entender a relevância de certo fenômeno e descrever a distribuição do fenômeno em uma população. Inicialmente os especialistas foram selecionados com base no fornecimento de tecnologias e alinhamento de suas empresas com a estratégia Indústria 4.0 através de um primeiro contato e na sequência submetido um questionário estruturado através da internet.

Com base na experiência recente vivida pelas empresas de tecnologia que estão alinhadas à estratégia Indústria 4.0 e seus respectivos profissionais, identificar através de engenheiros, técnicos e especialistas de modo geral quais são os desafios de adoção da indústria 4.0 no setor industrial. O estudo empírico desse trabalho visa apresentar o conhecimento vivenciado pelos especialistas a partir do modelo conceitual apresentado na Figura 21. Segundo Meuser e Nagel (1991), podemos definir como especialistas: a) aqueles que de alguma forma são responsáveis pela concepção, implementação e controle de um programa; b) aqueles que possuem um acesso privilegiado a informações sobre grupos, conselhos administrativos e sobre processos de decisão.

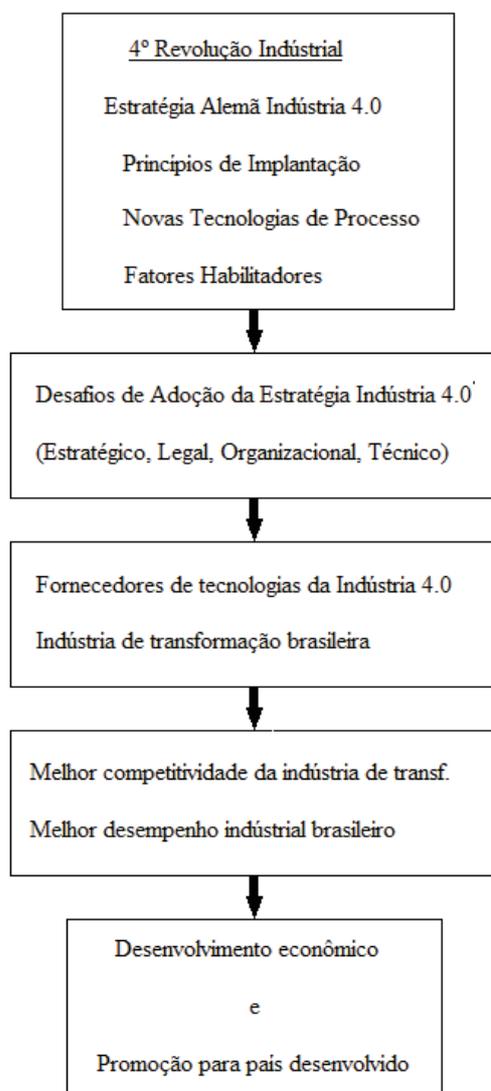
O primeiro teste piloto foi realizado com em loco, ou seja, na feira Expomafe em São Paulo, através de um questionário em instrumento físico estruturado, com um fornecedor. Entendendo a necessidade de coleta através de instrumento de mais fácil acesso, foi criado um novo questionário com algumas inclusões e melhorias em termos das questões utilizadas através da plataforma através do site [www.surveymonkey.com.br](http://www.surveymonkey.com.br).

### 3.3 ESTRUTURA CONCEITUAL

O objetivo final desse estudo é identificar os desafios de adoção da Indústria 4.0 sendo a base conceitual fundamental os desafios gerais identificados na pesquisa preliminar com o método de revisão sistemática. Além disso, através do conhecimento empírico dos respondentes, os desafios expostos serão comparados com os desafios gerais para identificar

algum possível desafio não abordado na literatura. O conceito Indústria 4.0 está em pleno desenvolvimento e apoiado principalmente em seus princípios e tecnologias de adoção, e não apenas é tido com uma estratégia, mas também como a quarta revolução industrial. Uma ideia que deve ser emersa sobre a Indústria 4.0, é que esse conceito foi originado do pioneirismo alemão (KAGERNMANN, et al, 2013), no esforço em determinar a sua própria estratégia industrial tratada como revolução industrial, assim permitiu que outros conceitos através desse contexto pudessem surgir, como no caso da estratégia chinesa “Made-in-China 2015”. A Figura 22 representa a estrutura conceitual dessa pesquisa.

Figura 22 - Estrutura conceitual da pesquisa

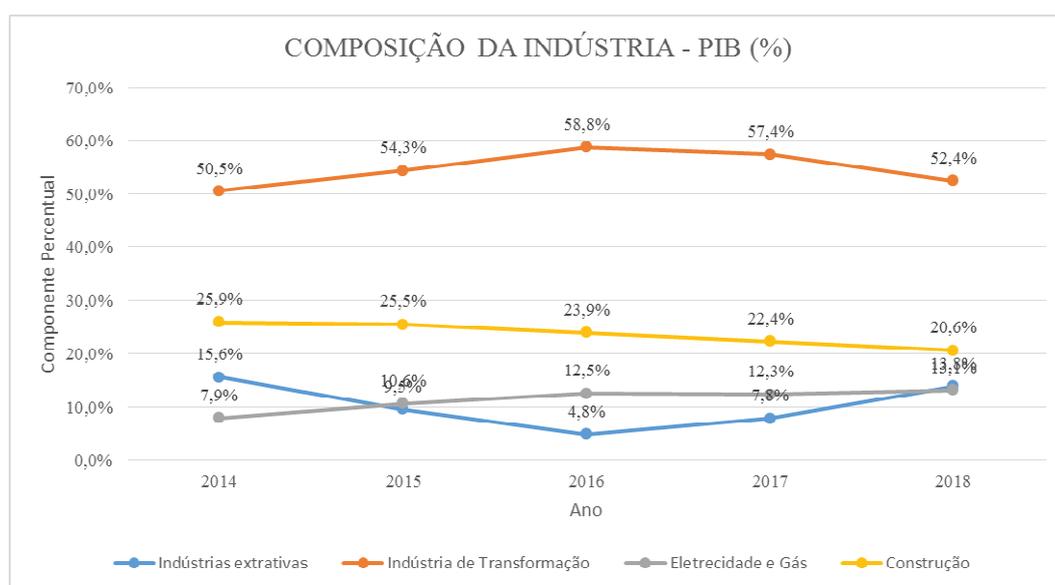


Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO E PLANEJAMENTO DA POPULAÇÃO

Segundo o IBGE (2019), a indústria de transformação possui em sua última apuração com dados de 2018 conforme a Figura 23, uma composição de 52,4% do PIB geral da indústria brasileira, o que faz dessa indústria com maior peso e importante o suficiente para avaliação de seus desafios segundo os fornecedores de tecnologias da indústria 4.0. Como já relatado anteriormente a Indústria 4.0 possui tecnologias para implantação em vários setores e segmentos, porém, à revisão sistemática desse trabalho têm o objetivo de avaliar apenas a indústria de transformação para a determinação do estado da arte dos desafios.

Figura 23 – Composição da indústria brasileira de acordo com o PIB



Fonte: IBGE (2019)

De acordo com a ABIMAQ (2018, 2019) o Brasil possui em média quatro grandes eventos de automação industrial e tecnologias da indústria, sendo os realizados na capital paulista, geralmente sendo internacionais. Nesse sentido, a população dessa pesquisa foi extraída especificamente das feiras internacionais de São Paulo, que entre outros aspectos, é a capital economicamente mais desenvolvida, o que sugere haver uma maior demanda, assim consequentemente a necessidade de mercado com mais ofertas de empresas de grande conhecimento novas tecnologias e alinhadas à indústria 4.0. Na tabela 18 é possível observar as feiras visitadas com o objetivo de identificar empresas que fornecem tecnologias.

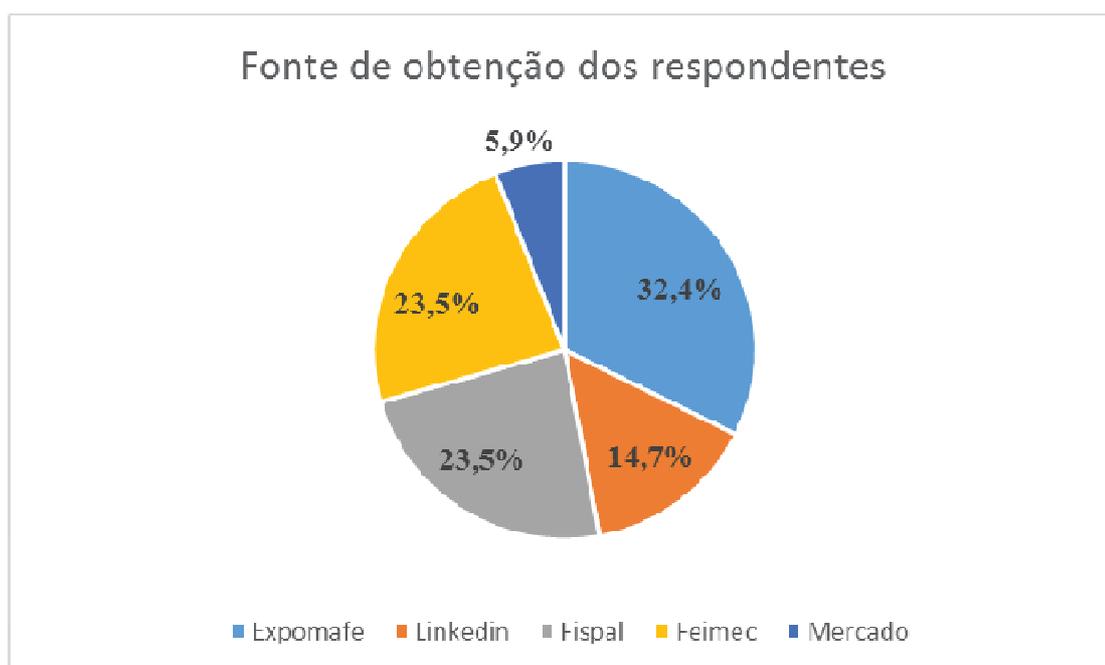
Tabela 18 - Participação em feiras internacionais realizadas no Brasil

Participações em Eventos Internacionais				
Data	Tipo do Evento	Evento	Instituição	Local
25/04/2018 e 26/04/2018	Feira	Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos (16hs)	ABIMAQ-FEIMEC	São Paulo - SP / Brasil
08/05/2019 e 09/05/2019	Feira	Feira Internacional de Máquinas-Ferramentas e Automação Industrial (16hs)	ABIMAQ-EXPOMAFE	São Paulo - SP / Brasil
25/06/2019	Feira	35ª Feira internacionais de tecnologias para indústria de alimentos e bebidas (8 h)	FISPAL TECNOLOGIA	São Paulo - SP / Brasil

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

No entanto, apesar da grande parte dos respondentes terem sido obtidos por contatos realizados por meio de visitas em três grandes feiras internacionais de São Paulo, conforme demonstrado na Tabela 18, outras fontes de obtenção da população da amostra também foram necessários para complemento da pesquisa e estão apresentadas conforme a distribuição na Figura 24. Um destaque importante é que 24,4% dos respondentes foram obtidos através de contatos realizados por meio da rede social LinkedIn, pois apesar de contatado especialistas nas feiras, algumas empresas possuíam funcionários que não participaram, e o LinkedIn proporcionou a aproximação de outros funcionários mais engajados com a Indústria 4.0.

Figura 24 - Composição percentual das fontes de contato dos respondentes



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A amostra de contatos obtidos nas feiras teve um crescimento percentual conforme é possível observar na Tabela 19, isso em função dos objetivos que variaram entre as visitas, ou seja, na Feimec o objetivo foi entender quais eram as principais tecnologias da Indústria 4.0 e como o país estava se preparando para a revolução, sendo nesse momento não definido ainda o método de pesquisa, então a amostra foi de apenas 3% do total da feira, para apenas aqueles fornecedores que estavam claramente fornecendo soluções da Indústria 4.0. Além disso, a média de fornecedores que fornecem alguma solução para indústria 4.0 nas feiras, segundo os organizadores da Feimec e Expomafe é de 20% a 25%. Na Fispal, 8,7% dos fornecedores totais da feira foram contactados, porém essa visita tinha um objetivo claro, identificar fornecedores de soluções para a pesquisa, além disso, o questionário já estava estruturado, e mesmo assim o percentual é baixo, possivelmente por ser uma feira de um segmento ainda em transformação e específico para um segmento, e ou que não desenvolveu soluções nem fornecedores suficientes com os objetivos da Indústria 4.0. Importante desatacar que a taxa de retorno é menor, e está apresentada no item 6.4 desse trabalho. Para os contatos que foram obtidos em pesquisas no LinkedIn e aqueles com fácil acesso no mercado de automação está sendo apresentada a quantidade de consultas realizadas, entre os enviados e não enviados questionário, não existindo um total possível de mensurar.

Tabela 19 – Total da população e amostra de fornecedores contactados.

População em consulta para submissão do questionário				
Evento	Instituição	Total de Expositores Gerais em Feiras / Total de Contatos	Fornecedores Contactados da Indústria 4.0 p/ pesquisa	(%)
Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos (16hs)	ABIMAQ-FEIMEC	303	10	3,3%
Feira Internacional de Máquinas-Ferramentas e Automação Industrial (16hs)	ABIMAQ-EXPOMAFE	464	26	5,6%
35ª Feira internacionais de tecnologias para indústria de alimentos e bebidas (8 h)	FISPAL TECNOLOGIA	252	22	8,7%
Profissionais Contactados	LINKEDIN	n/a	22	-
Profissionais Contactados	MERCADO	n/a	6	-
Total	-	-	86	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Baseado no estudo de Nakayama (2017) o grupo de atores da cadeia de fornecimento de sistemas para automação da manufatura, é composto por fornecedores de tecnologias, provedores de infraestrutura e usuários industriais. Segundo o autor ainda, os dois primeiros são os fornecedores de soluções e o ultimo é consumidor final que também faz parte da cadeia. Nesse sentido esse trabalho se limitou em avaliar somente os respondentes do primeiro componente, ou seja, fornecedores de tecnologias, já que esse tem grande conhecimento sobre as suas tecnologias e conseqüentemente os desafios de adoção das mesmas. Além disso, a nossa indústria historicamente tem um déficit de aplicações envolvendo alto nível de tecnologia empregada, o que inviabilizaria um estudo voltado à Indústria 4.0 nesse momento atual.

### 3.5 CONDUÇÃO DO TESTE PILOTO

De acordo com Gil (2002) a coleta de dados junto às organizações estudadas pode ocorrer por meio de diversas técnicas, tais como: entrevista, questionário, coleta documental, observação, formulário, análise de conteúdo, survey, entre outras. Optou-se nesse estudo realizar uma entrevista através de questionário estruturado, que pode ser encontrado no Apêndice A desse trabalho. O questionário satisfaz os critérios de compreensão das informações para comparação das informações extraídas na literatura e obtenção do conhecimento esperado, porém durante a execução do teste algumas necessidades foram observadas, conforme detalhado a seguir.

O teste piloto ocorreu pessoalmente com um fornecedor de tecnologia por meio de um questionário estruturado em editor de texto e impresso pessoalmente na feira Expomafé realizada em São Paulo-SP em maio de 2019. A partir dessa pesquisa foi possível identificar as dificuldades de aplicação de uma pesquisa através de um questionário estruturado impresso:

- Muitas informações são explicitadas, porém pouco relatadas no instrumento.
- Algumas informações se tornam ilegíveis no instrumento.
- O instrumento não permite a restrição em múltiplas funções.
- Dificuldade na digitalização e análise dos dados.

Com base na experiência adquirida na condução do teste piloto, algumas considerações e melhorias foram realizadas, principalmente como a introdução da plataforma de pesquisa “*SurveyMonkey*” que permitiu restringir respostas e facilitou a coleta, além de melhorias como a inclusão de questões adicionais que surgiram tanto das ideias debatidas no teste piloto quanto dos testes pilotos realizados já após o uso plataforma. Dois professores doutores de instituições diferentes realizaram o teste piloto já na plataforma para melhoria do questionário. Então um projeto de questionário com algumas poucas alterações foi submetido.

De acordo com Forza (2002), os processos para construção de um questionário são: alinhamento com o nível teórico; projeto da pesquisa; teste piloto; coleta de dados; análise dos dados; relatório final.

O segundo piloto foi realizado através da plataforma online *Survey Monkey* com respostas de dois especialistas em Indústria 4.0, para então surgir o questionário final, enviado para os fornecedores e respondido por 34 respondentes.

### 3.6 COLETA DE DADOS

A pesquisa foi realizada com empresas que fornecem pelo menos algum tipo de tecnologia da Indústria 4.0 para a indústria de transformação e que estão inseridas no mercado entre tecnologia da informação e tecnologia de automação industrial. Através de visitas à três grandes feiras voltadas ao setor de tecnologia para processos industriais, utilizando a rede social LinkedIn e também contatos profissionais de maneira geral, foi possível realizar os contatos preliminares com cada respondente, com o objetivo de esclarecer inicialmente os objetivos da pesquisa.

O envio do questionário desenvolvido nessa pesquisa foi enviado por e-mail através de uma mensagem padronizada, com o convite formal de participação da pesquisa, após o contato prévio estabelecido. As questões qualitativas foram desenvolvidas de acordo com o estado da literatura atual e também para o objetivo de analisar se os especialistas compreendem quais são os desafios da Indústria 4.0, contribuem com desafios vividos e conceituem sobre a Indústria 4.0. A coleta de dados em sua versão final foi realizada através de uma plataforma via web específica para aplicações de survey, chamada *Survey Monkey*, que é composta de funções como a criação de múltiplos surveys, o projeto e simulação do

questionário, a gestão da coleta das respostas como personalização do e-mail, criação de grupos e links específico para acesso direto, além de análise de resultados, apresentação de resultados e extração dos dados coletados.

Foram utilizadas as três maneiras para coleta de dados, ou seja, para as empresas contatadas, foi criado um grupo de e-mail que possibilitou o direcionamento único com uma mensagem padrão a todos os e-mails da lista. Para algumas empresas foram criados e-mails dedicados, e foi gerada também o “*web link*” para permitir o envio direto através de redes sociais de profissionais como o LinkedIn.

O instrumento de coleta utilizou para a análise quantitativa, os dez desafios mais frequentes na literatura internacional, para o respondente identificar em uma escala *likert* de 1 a 5, onde 1 é o desafio menos importante e o 5 o desafio mais importante, quais pertenciam a essa escala de importância segundo o seu conhecimento empírico melhor apresentado no item 3.7.

Tabela 20 – Desafios apresentados no questionário quantitativo para medição de sua importância

Desafios mais frequentes da literatura internacional utilizados nas análises quantitativas		
Desafios da Indústria de Transformação	Frequência	Frequência (%)
Segurança e integridade de dados. -	34	4,16%
Qualificação de habilidades humanas. -	21	2,57%
Segurança e propriedade das informações. -	17	2,08%
Capacidade de investimentos em novas tecnologias. -	16	1,96%
Desenvolvimento de habilidades humanas. -	14	1,71%
Escalabilidade de rede. -	13	1,59%
Integração de novas tecnologias em tecnologias/processos existentes. -	12	1,47%
Tecnologias flexíveis para customização. -	11	1,34%
Benefícios de investimentos não claros. -	11	1,34%
Aumento da dinâmica competitiva e mudança do ambiente de mercado. -	10	1,22%
Total	818	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Nesse sentido a tabela 20 apresenta os desafios utilizados para esse entendimento. Importante destacar que uma revisão foi realizada, e os desafios foram atualizados nessa última versão do trabalho, explicando o porquê o desafio “falta de infraestrutura de tecnologias da informação e comunicação” que está entre os dez desafios mais frequente na Tabela 11, não aparece e diverge com a tabela 20. Outro ponto importante é que não apenas os dez desafios mais frequentes foram apresentados, mas também mais quatros desafios chamados de desafios moderadores.

Esses quatro desafios moderadores foram utilizados para medir o nível de conhecimento ou maturidade do respondente, já que na prática, esses desafios não são considerados como desafios reais, e eles foram concebidos de maneira aleatória, esperando-se um baixo nível de importância como resultado da atribuição realizada por parte dos respondentes, a Tabela 21 apresenta os desafios moderadores.

Quadro 9 – Desafios moderadores para avaliação do nível de conhecimento dos respondentes

Desafios Moderadores
Definição da estratégia corporativa nas organizações. -
Supervisão de produção em processos de automação industrial. -
Criação de mecanismos de controle de qualidade. -
Fornecimento de projetos de automação para o mercado interno. -

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

### 3.7 VALIDAÇÃO DA AMOSTRA

A pesquisa quantitativa avalia quais os desafios mapeados pela literatura são mais importantes e demandam um esforço maior em sua solução, classificado através de uma escala “*likert*”. Segundo Mattar (1996) este tipo de escala se destaca por sua simplicidade de emprego em medições ordinais e também por associar valores nominais (conceitos) a valores numéricos. O alpha de conbrach foi usado para validar o questionário. Na pesquisa quantitativa segundo Freitas e Rodrigues (2005) são três os fatores que podem influenciar a

confiabilidade dos questionários, tanto de maneira positiva quanto de maneira negativa: o número de item, o tempo de aplicação do questionário e a amostra de avaliadores.

Foi um total de 14 item, ou seja, um total de 14 desafios sendo perguntado qual o grau de importância dos desafios em uma escala “*likert*” onde o desafio mais importante recebeu o maior valor e o desafio menos importante o menor. A literatura não apresenta um número mínimo de itens, porém Freitas e Rodrigues sugerem não ser excessivo em função ocorrência de respostas impulsivas e relapsas, além de poder aumentar a incidência de itens sem resposta, devido à fadiga/desinteresse do avaliador.

Não houve um tempo médio de aplicação especificamente monitorado para o preenchimento das questões quantitativas, porém de maneira geral o questionário foi respondido em média, para o total das 26 perguntas, em 29 minutos e 38 segundos, sem nenhum declínio por parte da parte quantitativa.

Por fim a amostra é composta de uma população homogênea, fornecedores de tecnologias, porém heterogênea com relação à tecnologia fornecida, atendendo aos requisitos da literatura já que segundo Hayes B., E. (1995), “se desejamos obter medidas com alta confiabilidade, precisamos basear essas medidas em uma amostra de pessoas que sejam heterogêneas no que diz respeito ao conceito que está sendo medido”.

De acordo com os parâmetros estabelecidos na pesquisa uma estimativa de confiabilidade deve ser realizada para que seja validada de acordo com a literatura atual. Segundo Freitas e Rodrigues (2005) existem quatro procedimentos para estimar a confiabilidade de medições: confiabilidade entre avaliadores, confiabilidade de teste/reteste, confiabilidade paralela e confiabilidade de consistência interna. A pesquisa aplica o método de confiabilidade entre avaliadores, utilizada para obter o grau com que diferentes avaliadores fornecem estimativas consistentes sobre o mesmo fenômeno, outras avaliações não são possíveis, pois, apenas foi submetido a relação de importância dos desafios, sem avaliar outras dimensões em torno dos desafios, se tornando uma sugestão para trabalhos futuros.

Segundo Hora et al. (2010) é relevante ressaltar que, apesar da literatura científica a respeito das aplicações do coeficiente nas diversas áreas do conhecimento ser ampla e abrangente, ainda não existe um consenso entre os pesquisadores acerca da interpretação da confiabilidade de um questionário obtida a partir do valor deste coeficiente. Não há um valor

mínimo definido para o coeficiente alfa de Cronbach ser aceito como bom, mas acha-se na literatura o valor de 0,70 como mínimo aceitável.

Com relação à classificação nominal para os desafios da literatura no instrumento de coleta, foram realizados com a seguinte escala nominal:

5 – Desafio MUITO importante.

4 – Desafio importante.

3 – Desafio PARCIALMENTE importante.

2 – Desafio POUCO importante.

1 – Desafio NADA importante.

De acordo com Batista (2004) e Hora et al. (2010) é necessário atribuir valores numéricos para modificar a escala nominal no tratamento das informações coletadas, nesse sentido a escala numérica utilizada foi conforme:

Escala nominal (5 – Desafio MUITO importante) – Escala numérica = 1

Escala nominal (4 – Desafio importante) – Escala numérica = 0,75

Escala nominal (3 – Desafio PARCIALMENTE importante) – Escala numérica = 0,50

Escala nominal (2 – Desafio POUCO importante) – Escala numérica = 0,25

Escala nominal (1 – Desafios NADA importante.) Escala numérica = 0

Esse tratamento foi realizado após o download em planilha eletrônica dos dados, por meio da ferramenta “SurveyMonkey”, o que permitiu também efetuar a análise matemática da confiabilidade através da estimação alfa de Cronbach de acordo com a fórmula abaixo:

$$\alpha = \left( \frac{k}{k-1} \right) \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_t^2} \right)$$

Onde  $k$  é igual ao número de elementos do questionário, nesse caso específico o número de desafios avaliados;

$S^2$  é a variância;

$i$  é o número de elementos do questionário;

$t$  é a soma do total de cada respondente.

O trabalho de análise foi utilizar os resultados em planilha eletrônica conforma o arranjo na Figura 25, com uma amostra de trinta e dois especialistas pesquisados, foi efetuado os cálculos da variância de cada elemento questionado e sua respectiva soma total, na seqüência a soma do total de todos os respondentes com a aplicação da variância da soma dos totais, e por fim aplicado na fórmula acima para encontrar o alfa de Cronbach.

Figura 25 - Matriz de julgamentos dos  $n$  avaliadores à luz dos  $k$  itens do questionário

Avaliadores	Itens						Soma ou Total
	1	2	...	$i$	...	$k$	
1	$X_{11}$	$X_{12}$	...	$X_{1i}$	...	$X_{1k}$	$X_1$
2	$X_{21}$	$X_{22}$	...	$X_{2i}$	...	$X_{2k}$	$X_2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$p$	$X_{p1}$	$X_{p2}$	...	$X_{pi}$	...	$X_{pk}$	$X_p$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$n$	$X_{n1}$	$X_{n2}$	...	$X_{ni}$	...	$X_{nk}$	$X_n$

Fonte: Cronbach (2004)

### 3.8 ANÁLISE DE DADOS

Para a análise dos dados foi utilizado tabela dinâmica do MS Excel para compilamento dos dados e criação de tabelas e gráficos, além do software R para análises estatísticas computadorizadas e também geração de gráficos, com R foundation na versão 3.6.0 de 26-04-2019. No caso do Ms Excel a licença utilizada foi a inicial da compra do microcomputador, e no caso do R, o software é gratuito e pode ser baixado através do site <https://www.r-project.org/>, onde também uma ampla quantidade de informações pode ser encontrada referente à sua utilização.

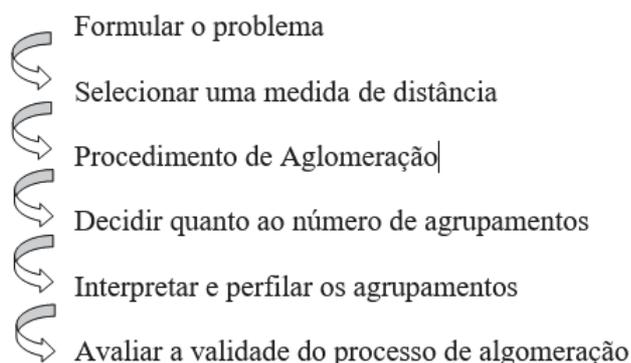
Logo foi utilizada a técnica de agrupamentos de análise multivariada, que objetiva comparar os fornecedores (respondentes) com base nos desafios cujos valores foram obtidos por meio do survey que avaliou o grau de importância dos desafios encontrados na literatura. Para isso o método utiliza uma amostra de trinta e dois fornecedores de tecnologias da Indústria 4.0 no Brasil. Segundo Do Vale (2005), o método de agrupamento de dados pode ser

dividido em duas grandes categorias, cada uma delas compreendendo diferentes tipos de algoritmos, ou seja, os métodos hierárquicos e os métodos particionais.

A análise de agrupamento, ou análise de clusters, é uma técnica usada para classificar objetos ou casos em grupos relativamente homogêneos chamados de agrupamentos ou conglomerados. Assim, os objetos em cada agrupamento tendem a ser semelhante entre si, mas diferentes de objetos em outros agrupamentos (MALHOTRA, 2006; SEIDEL et al. 2008).

Importante destacar as etapas para efetuar a análise de agrupamento conforme é possível identificar na Figura 26.

Figura 26 - Etapas de análise de agrupamento



Fonte – Baseado em Malhotra (2006) e Seidel et al. (2008)

Conforme Hair et al (2005), cada objeto é combinado em uma medida de semelhança, que pode ser de similaridade ou dissimilaridade, calculada para todos os pares de objetos, possibilitando a comparação de qualquer objeto com outro pela medida de similaridade e a associação dos objetos semelhantes por meio da análise de agrupamento. As medidas de distância representam a similaridade, que é representada pela proximidade entre as observações ao longo das variáveis.

Segundo Do Valle (2005) para a análise de agrupamento é necessário a formação de um único padrão dos dados, assim, o grau de similaridade entre os agrupamentos se resume ao grau de similaridade entre os elementos, que nesse caso, pode ser calculado através das medidas de distância vistas como, por exemplo, a distância euclidiana, que é adotada nesse

trabalho. A distância euclidiana é uma das medidas de dissimilaridade entre comunidades mais utilizadas na prática (GAUCH H., G., 1982; BORGES et al., 2007).

Conforme as etapas relacionadas acima, é necessário determinar o procedimento de aglomeração utilizado para agrupar os fornecedores de tecnologias com percepções parecidas dos desafios na adoção de I4.0. Segundo Seidel et al. (2008), a aglomeração hierárquica se caracteriza pelo estabelecimento de uma hierarquia ou estrutura em forma de árvore. A aglomeração hierárquica interliga os objetos por suas associações, produzindo uma representação gráfica chamada de dendrograma, onde os objetos semelhantes, segundo as variáveis estudadas, são agrupados entre si.

Nesse sentido, de acordo com a classificação de Do Valle (2005), foi utilizado o procedimento de aglomeração hierárquica pelo método distância entre grupos conhecido como o método de Ward. Fechine e Galvíncio (2008) acreditam que o método Ward é um método de variância, derivado de um processo hierárquico e aglomerativo e tem por objetivo minimizar o quadrado da distância euclidiana às médias dos conglomerados. Segundo Hair et al (2005), o método de Ward consiste em um procedimento de agrupamento hierárquico no qual a medida de similaridade usada para juntar agrupamentos é calculada como a soma de quadrados entre os dois agrupamentos feita sobre todas as variáveis. Esse método tende a resultar em agrupamentos de tamanhos aproximadamente iguais devido a sua minimização de variação interna. Em cada estágio, combinam-se os dois agrupamentos que apresentarem menor aumento na soma global de quadrados dentro dos agrupamentos.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 PESQUISA SURVEY COM FORNECEDORES DE TECNOLOGIA

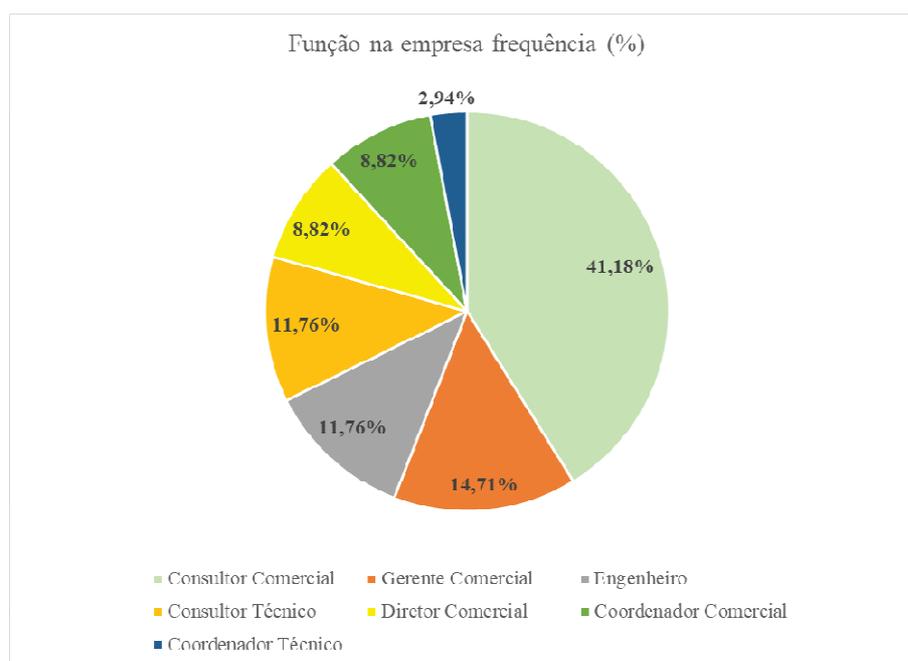
Os resultados apresentados a seguir refletem as análises realizadas através dos dados coletado de trinta e dois respondentes e vinte e seis questões em que parte é de ordem qualitativa e parte é de ordem quantitativa.

#### 4.1.1 ANALISE QUALITATIVA

##### 4.1.1.1 VARIÁVEIS DE CONTROLE

Como forma analisar as variáveis qualitativas e que serão utilizadas como variáveis de controle nas análises multivariadas, e ainda melhor ilustrar as questões utilizadas no questionário, alguns gráficos referentes à essas variáveis serão apresentadas a seguir a partir da Figura 27.

Figura 27 - Distribuição percentual entre a função exercida nas empresas da amostra coletada

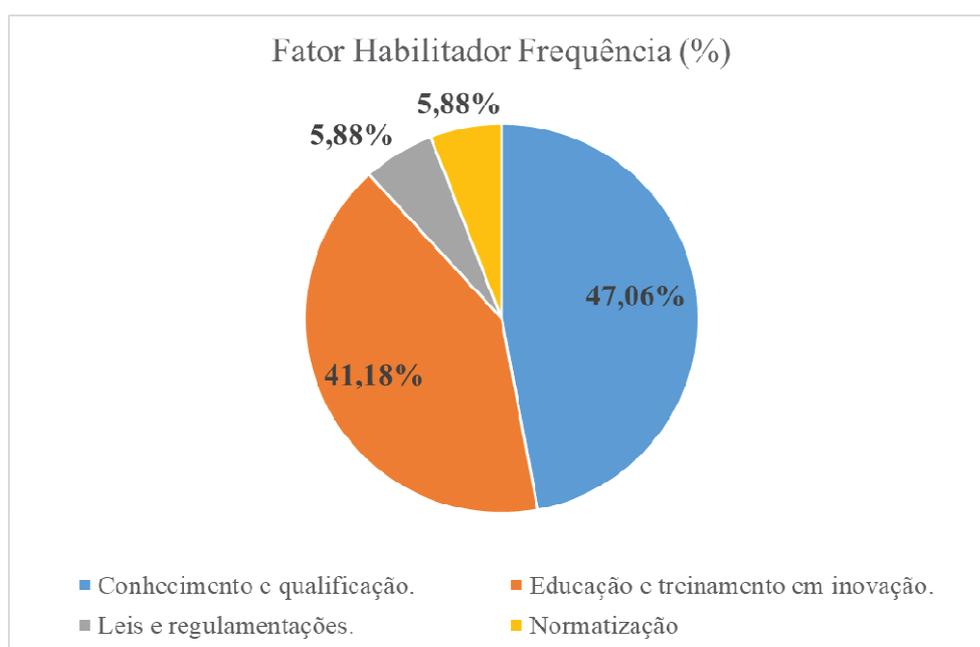


Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Conforme visto na Figura 27, a distribuição percentual por função exercida entre os respondentes da amostra coletada na pesquisa demonstra que a maior parte 41,18% dos respondentes, possuem cargos de consultores comerciais seguido de gerentes comerciais com 14,71%.

A Figura 28 representa a distribuição da frequência dos fatores habilitadores da Indústria 4.0 na amostra dos trinta e dois respondentes. Com esse gráfico é possível perceber que a maioria dos respondentes 47,06% acreditam que Conhecimento e Qualificação é um fator habilitador, porém praticamente empatado com Educação e Treinamento em Inovação com 41,18%.

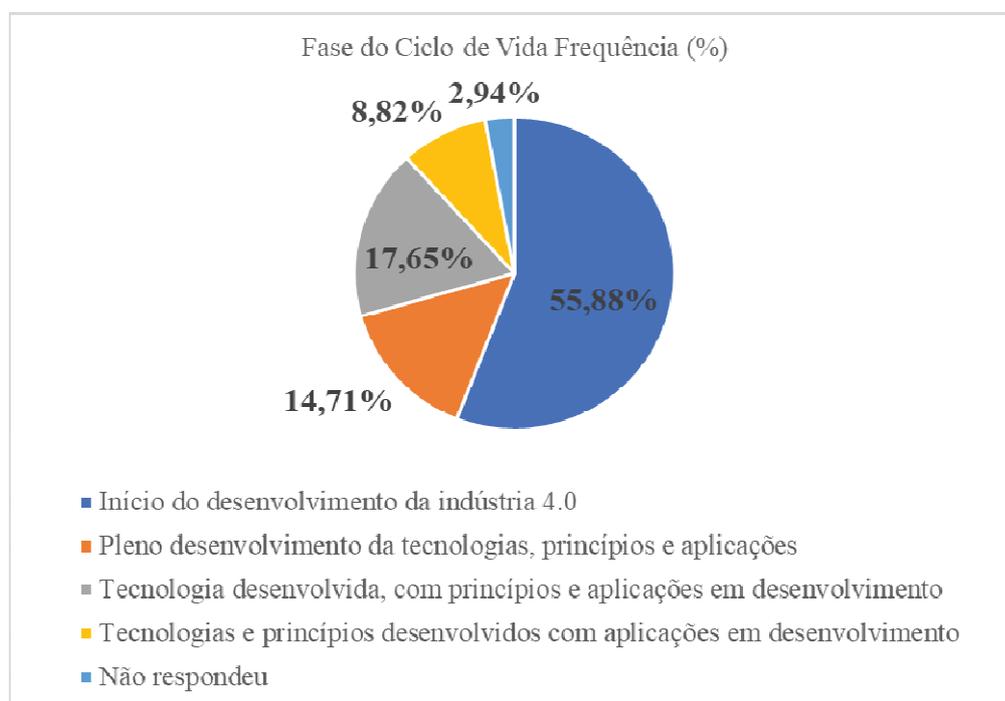
Figura 28 - Distribuição percentual entre os fatores habilitadores da Indústria 4.0



Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

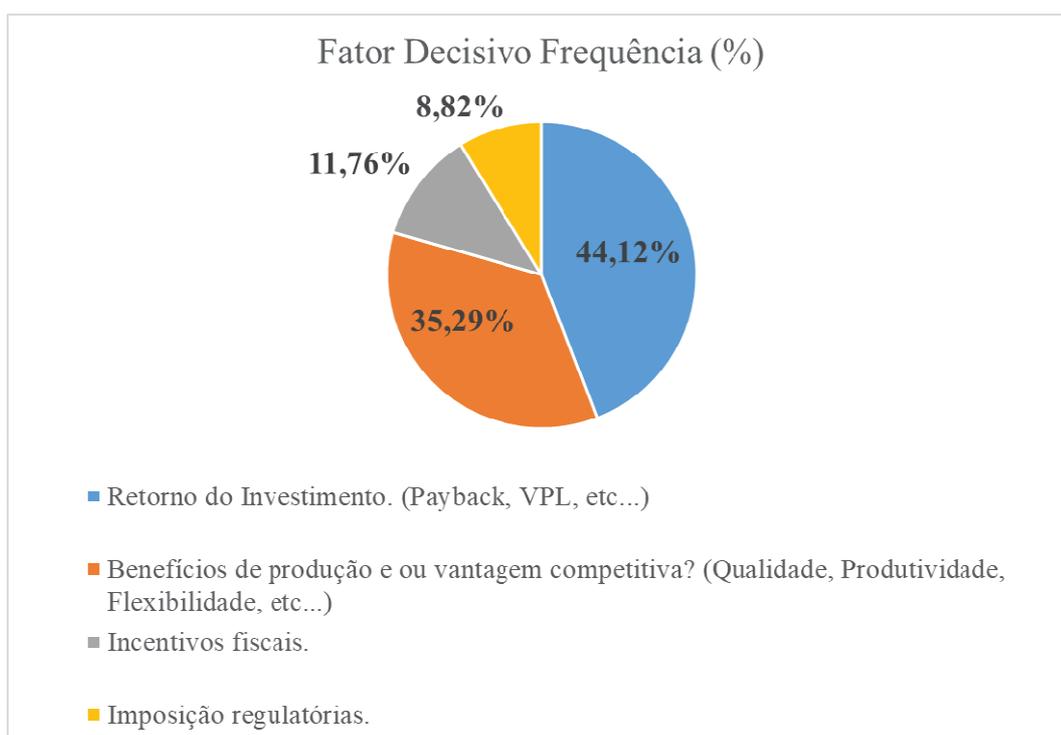
Na Figura 29, está a distribuição da frequência amostral das fases do ciclo de vida Indústria 4.0 na qual com maioria absoluta a concordância que a Indústria 4.0 no Brasil está em seu estágio inicial, ou seja, 55,88% dos respondentes. Já 14,71% acreditam que as tecnologias já estão desenvolvidas, porém os princípios e as aplicações ainda demanda certo desenvolvimento.

Figura 29 - Distribuição percentual entre a fase do ciclo de vida da Indústria 4.0



Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Figura 30 - Distribuição percentual entre o fator decisivo na adoção da Indústria 4.0



Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

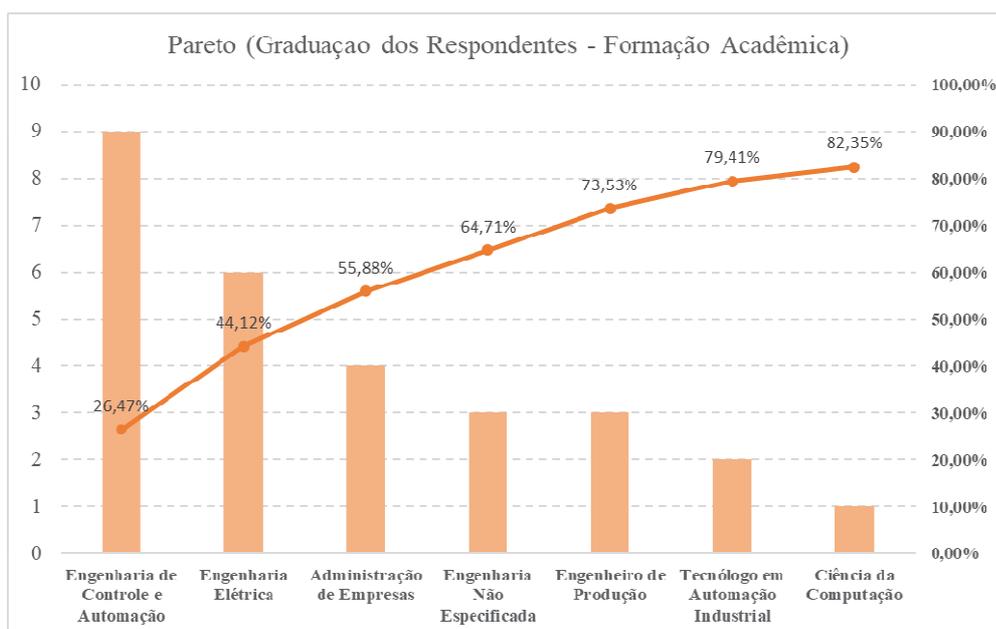
Entre as repostas relacionadas ao fator decisivo na adoção da Indústria 4.0, a Figura 30 apresenta que 44,12% dos respondentes afirmam que o retorno do investimento por algum específico método é mais decisivo que obtenção de benefícios de produção e ou vantagem competitiva com apenas 35,29% do total. Incentivos fiscais aparecem com apenas 11,76% e imposições regulatórias com 8,82%, o que demonstra que a indústria antes de tudo tem que ser economicamente viável de alguma maneira.

As variáveis de controle utilizadas em análises de agrupamentos foram analisadas conforme visto de maneira simplista, observando apenas o contexto amostral, porém além dessas variáveis, outras informações são possíveis extrair através das respostas dos respondentes e serão apresentadas a seguir.

#### 4.1.1.2 VARIÁVEIS GERAIS

A graduação dos respondentes demonstra a formação que sugere qual é o nível de conhecimento referente à Indústria 4.0, já que envolve basicamente conceitos de produção somados com conceitos de tecnologia.

Figura 31 - Pareto de frequência de respostas da graduação dos respondentes

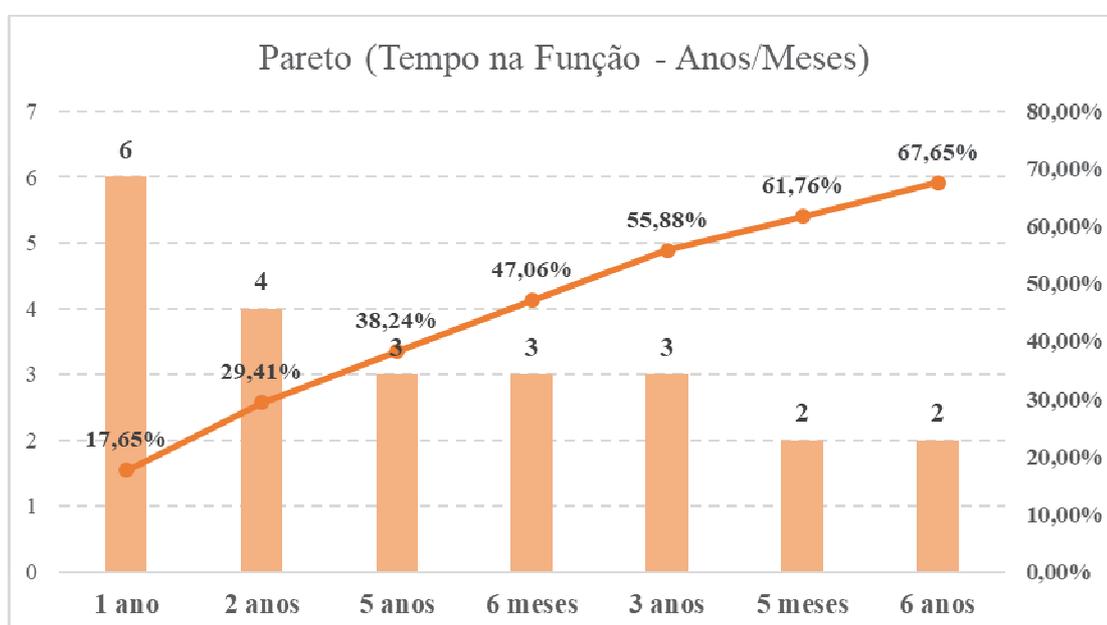


Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Assim, a Figura 31 apresenta a formação em Engenharia de Automação e Controle sendo o mais frequente entre os respondentes, 26,47% do total, seguidos de Engenharia Elétrica e Administração de empresas. As três primeiras já representam a mais que a metade com 55,88%.

Já a Figura 32 apresenta um gráfico de Pareto que relaciona a frequência da quantidade de tempo de trabalho dos respondentes em sua respectiva empresa e o percentual em relação ao total dos respondentes.

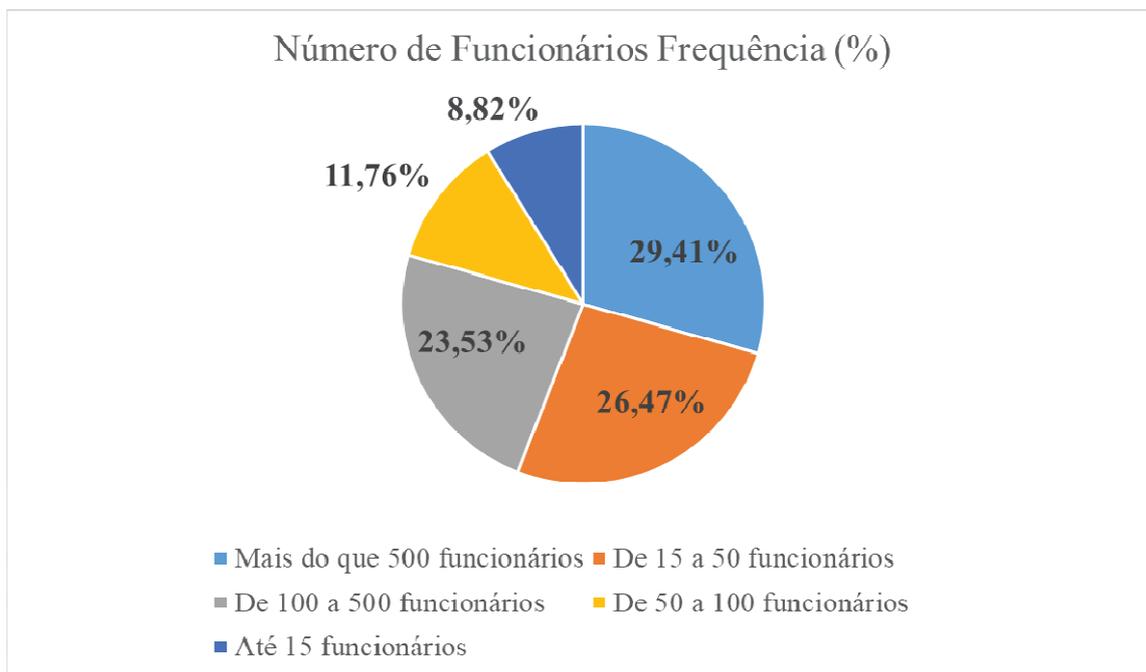
Figura 32 - Pareto da frequência de respostas do tempo de trabalho dos respondentes.



Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

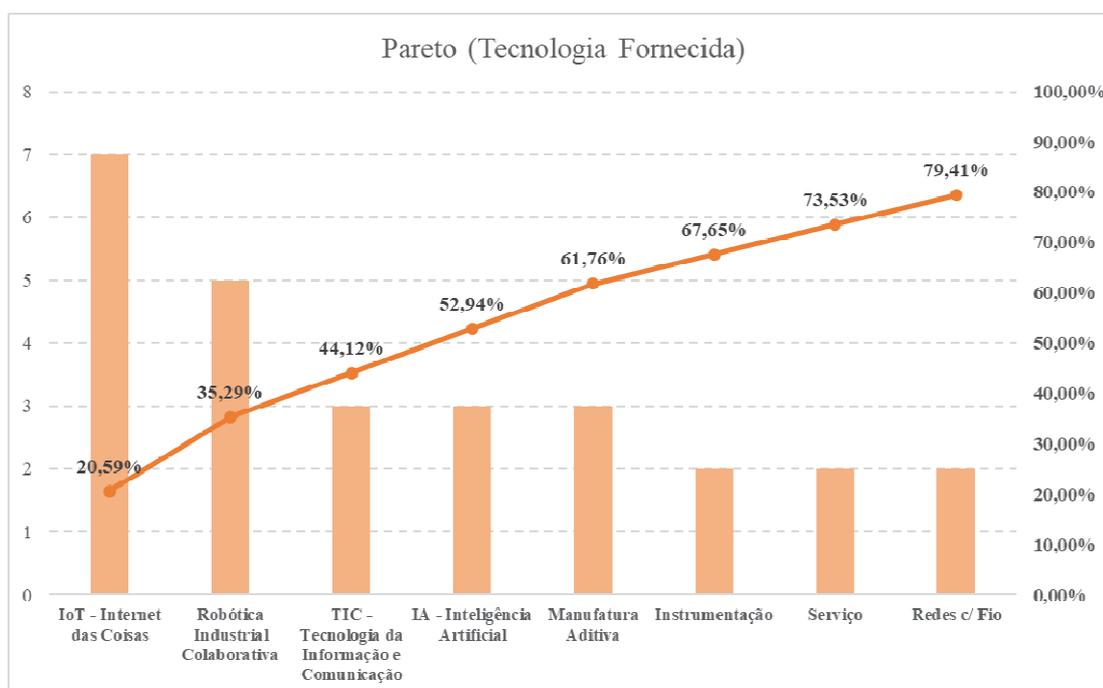
Com relação ao número de funcionários da empresa de cada respondente, a Figura 33 apresenta um perfil bastante homogêneo, já que nenhum grupo se destaca em relação aos demais, sendo as grandes empresas com mais de 500 funcionários estão representadas por 31,25% do total dos respondentes e as empresas pequenas com 28,15% do total.

Figura 33 - Distribuição percentual entre número de funcionários na empresa dos respondentes



Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Figura 34 - Pareto de frequência de respostas das tecnologias de fornecimento

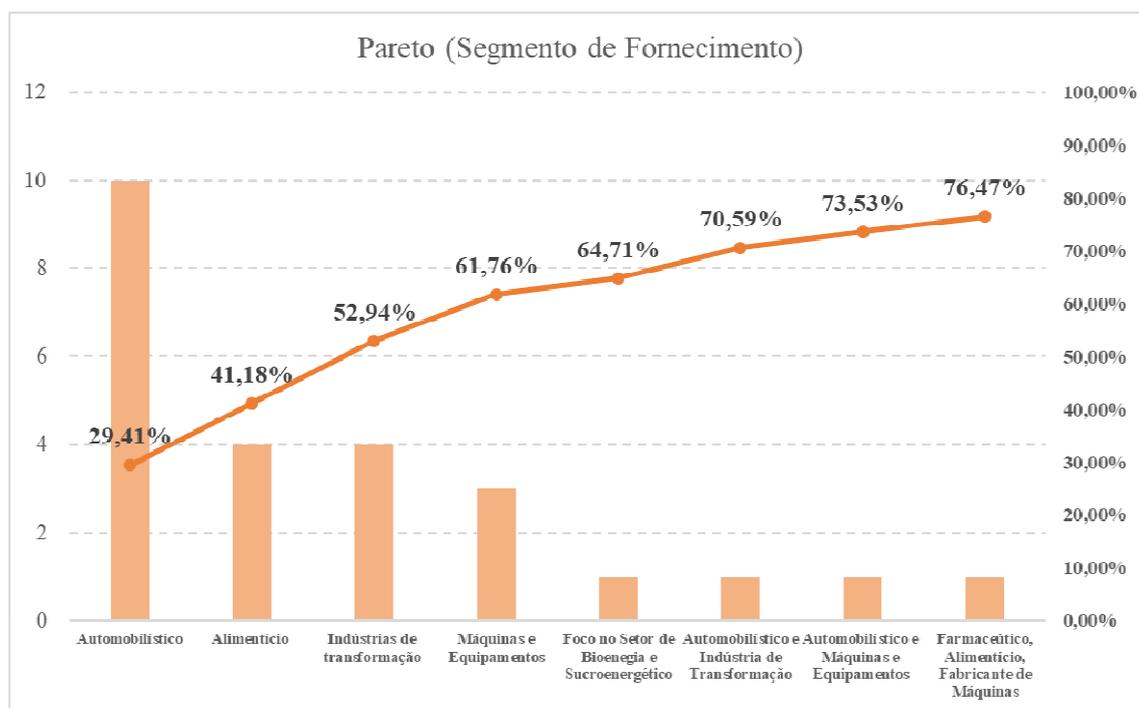


Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Entre as respostas referentes ao perfil de fornecimento de tecnologias, o Pareto da Figura 34 apresenta com maior frequência empresas que fornecem internet das coisas com 20,59%. A robótica colaborativa, tecnologia da informação e comunicação e inteligência artificial completam o perfil representando mais de 50% das empresas.

Na Figura 35, a avaliação do Pareto é referente ao setor de fornecimento das empresas em que os respondentes trabalham, sendo destaque nessa análise o setor automobilístico a indústria de transformação de maneira mais generalista e o setor alimentício representam mais da metade das respostas com 52,94% no acumulado.

Figura 35 - Pareto de frequência de respostas do segmento de fornecimento



Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

As análises qualitativas das demais variáveis do questionário submetido foram agora apresentadas, nessa seção foi possível saber um pouco mais sobre o perfil dos respondentes das empresa, da tecnologia que fornecem e do mercado em que atuam. A seguir estão analisadas as respostas sobre três níveis de desafios.

#### 4.1.1.3 DESAFIOS DE CONHECIMENTO EMPÍRICO

Uma parte do questionário foi dirigida às questões abertas para os respondentes apresentarem os desafios de adoção da Indústria 4.0 segundo sua visão e conhecimento empírico, sendo a primeira questão referente às tecnologias de seu respectivo fornecimento, a segunda questão referente aos desafios brasileiros efetivamente e a terceira questão referente aos desafios globais da Indústria 4.0. A Tabela 21 apresenta os desafios das tecnologias fornecidas de acordo com cada respondente que são encontrados na literatura internacional.

Tabela 21 – Desafios tecnológicos observados empiricamente e encontrados na literatura internacional

Desafios observados empiricamente	Frequência	Frequência (%)
Falta de cultura e treinamento digital	4	8,89%
Falta de infraestrutura de tecnologia da informação e comunicação	3	6,67%
Baixo nível de maturidade em tecnologia	3	6,67%
Integração vertical	3	6,67%
Qualificação de habilidades humanas	2	4,44%
Custos de comercialização de tecnologias	2	4,44%
Empresas resistentes à implantação de novas tecnologias	2	4,44%
Segurança e integridade de dados	2	4,44%
Baixa qualidade dos dados	1	2,22%
Mudança do trabalho no contexto organizacional	1	2,22%
Interoperabilidade	1	2,22%
Falta de entendimento e potenciais benefícios da tecnologia	1	2,22%
Prontidão para receber tecnologias digitais	1	2,22%
Desenvolvimento de dispositivos inteligentes de redes	1	2,22%
Integração vertical e horizontal	1	2,22%
Questões de segurança na implantação, mobilidade e complexidade dos dispositivos	1	2,22%
Introdução de sistemas colaborativos padronizados e ou adaptados	1	2,22%
Benefícios de investimentos não claros	1	2,22%
Aprendizado na operação	1	2,22%
Equilíbrio entre custo e interesse de investimento	1	2,22%
Integração e interoperabilidade de dispositivos	1	2,22%
Capacidade de investimentos	1	2,22%
Falta de suporte governamental em políticas	1	2,22%
Gerenciamento de banco de dados de objetos 3D	1	2,22%
Flexibilidade na modelagem de sistemas de produção	1	2,22%
Integração de diferentes tecnologias	1	2,22%

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Os principais resultados mostram que a falta de cultura e treinamento digital é um grande desafio na adoção de novas tecnologias que deve ser superado juntamente com os desafios baixo nível de maturidade em tecnologia, para que os fornecedores consigam viabilizar e efetivar suas tecnologias na indústria. Ao mesmo tempo ainda é um desafio a falta de infraestrutura básica de informação e comunicação e qualificação de habilidades humanas.

Em síntese, temos um país que não se preocupa com tecnologia e para adoção de novas tecnologias o desafio se torna ainda maior com a falta de estrutura existente no país.

Já a tabela 22 apresenta os desafios não encontrados na literatura, e que demanda estudos mais focados principalmente no que se refere às aplicações práticas, pois a tabela apresenta seis desafios distintos, e entre esses, três desafios são demandas de aplicações práticas, ou seja, sugerindo que do ponto de vista dos respondentes, a Indústria 4.0 está em pleno desenvolvimento tecnológico e ou o país não está tendo acessos a aplicações que satisfazem os requisitos da Indústria 4.0. Além disso, o desafio falta de conhecimento para reestruturação de todo contexto industrial é importante ser destacado, pois uma revolução requer um claro entendimento do seu significado, nesse caso princípios, tecnologias, fatores habilitadores, e para isso o compartilhamento de informações em prol do conhecimento deve ser realizado por canais existentes de comunicação, o que naturalmente demanda certo tempo nesse desenvolvimento.

Tabela 22 – Desafios tecnológicos observados empiricamente e não encontrados na literatura internacional

<b>Desafios observados empiricamente</b>	<b>Frequência</b>	<b>Frequência (%)</b>
Aplicações práticas de tecnologias para aquisição de dados	1	2,22%
Aplicações práticas de tecnologias de redes convencionais	1	2,22%
Prazo extenso na implantação de novas tecnologias	1	2,22%
Falta de conhecimento para reestruturação de todo contexto industrial	1	2,22%
Aplicações práticas de tecnologias da indústria 4.0	1	2,22%
Mudança de cultura dos fornecedores de tecnologia	1	2,22%

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Uma importante contribuição e um dos principais resultados buscados nesse trabalho é entender quais são os desafios brasileiros da Indústria 4.0. Nesse sentido, os resultados empíricos com as respostas da pesquisa das questões abertas estão na Tabela 23, que apresentam os desafios abordados na literatura internacional e na Tabela 24 referente aos desafios não abordados na literatura internacional.

Como resultado, os respondentes da pesquisa em grande parte acreditam que a falta de infraestrutura de informação e comunicação é o desafio principal do país. Porém, em segundo na lista de acordo com a frequência de respostas, a capacidade de investimentos é um desafio generalizado no país, seguido da falta de cultura e treinamento digital, que conseqüentemente

pode ser associado à falta de qualificação e o baixo nível de maturidade e a questão da prontidão do país para receber novas tecnologias. Comparando com os desafios das tecnologias, os principais desafios são os mais frequentes, o que reforça esses desafios como os principais do país de maneira geral.

Tabela 23 - Desafios brasileiros observados empiricamente e encontrados na literatura internacional

<b>Desafios brasileiros observados empiricamente e encontrados na literatura Internacional</b>	<b>Frequência</b>	<b>Frequência (%)</b>
Falta de infraestrutura de tecnologia da informação e comunicação	7	12,50%
Capacidade de investimentos	5	8,93%
Falta de cultura e treinamento digital	4	7,14%
Qualificação de habilidades humanas	4	7,14%
Baixo nível de maturidade em tecnologia	3	5,36%
Prontidão para receber tecnologias digitais	3	5,36%
Desenvolvimento de habilidades humanas	3	5,36%
Empresas resistentes à tecnologias	3	5,36%
Falta de suporte governamental em políticas	3	5,36%
Falta de entendimento e potenciais benéficos da tecnologia	2	3,57%
Investimento em tecnologia da informação e comunicação	2	3,57%
Padronização de protocolos de comunicação	1	1,79%
Segurança e integridade de dados	1	1,79%
Aquisição e disponibilidade de dados na operação de sistemas	1	1,79%
Integração horizontal	1	1,79%
Adaptação do mercado à novas tecnologias	1	1,79%
Investimentos em desenvolvimento de tecnologia	1	1,79%
Desenvolvimento de novos modelos de negócios de produtos de valor agregado	1	1,79%
Investimento em educação	1	1,79%
Questões sociais e culturais no mercado de trabalho	1	1,79%
Investimento em pesquisa e desenvolvimento	1	1,79%
Variação na viabilidade de investimentos	1	1,79%
Desenvolvimento de novos modelos de negócios	1	1,79%
Padronização de dispositivos inteligentes	1	1,79%

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Tabela 24 – Desafios brasileiros observados empiricamente e não encontrados na literatura internacional

<b>Desafios brasileiros observados empiricamente e NÃO encontrados na literatura Internacional</b>	<b>Frequência</b>	<b>Frequência (%)</b>
Falta conhecimento para reestruturação de todo contexto industrial	3	5,36%
Vitimização na adoção de novas tecnologias	1	1,79%
Aplicações práticas de tecnologias de baixo custo	1	1,79%
Aplicações práticas de tecnologias da indústria 4.0	1	1,79%
Reestruturação de todo o contexto industrial	1	1,79%

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Entre os desafios brasileiros que não foram encontrados na literatura internacional, a falta de conhecimento para reestruturação de todo o contexto industrial é o mais frequente e assim como destacado anteriormente, esse é um desafio que demanda tempo para que a Indústria 4.0 seja disseminada na indústria em geral e seja pensada como base para a modernização. Mudança de padrões, de cultura, de maneiras como a indústria é projetada e executada deve ser relevante na atual revolução, e esse conhecimento é de extrema importância para que novas indústrias sejam concebidas adequadamente aos requisitos da indústria 4.0. Além desse desafio, a própria reestruturação de todo o contexto, uma vez conhecido as necessidades a sua execução, pela deficiência infra estrutural existente no país, é um grande desafio para indústria. As aplicações práticas também aparecem como desafios nacionais, nesse caso para tecnologias de baixo custo e tecnologias em geral da indústria 4.0.

Com o objetivo de encontrar resultados de maneira quantitativa para o grau de importância dos desafios apontados pelos trinta e quatro respondentes, e reconhecer um padrão entre eles para essas variáveis, foi realizado uma análise multivariada e seus resultados estão apresentados a seguir.

#### 4.1.2 ANÁLISE QUANTITATIVA

A análise quantitativa realizada nessa sessão é restrita na avaliação da importância dos desafios, que foi atribuída pelos respondentes, por meio de uma escala “likert” de 5 unidades, conforme explicado nos métodos desse trabalho.

##### 4.1.2.1 RESULTADO DA VALIDAÇÃO DA AMOSTRA

O valor encontrado para o alfa de Cronbach foi de 0.6, porém abaixo do dito ideal pela literatura, que segundo o Freitas e Rodrigues (2005), é possível considerar como moderado os valores que apresentem um alpha entre  $0.60 < \alpha \leq 0.75$ . Entretanto, valores superiores de alfa poderão indicar graus de confiabilidade ainda melhores e a decisão a respeito do valor mínimo de confiabilidade de um questionário fica a critério do pesquisador. Esse trabalho manterá satisfatório o questionário, considerando a amostra válida para às análises multivariadas que serão abordadas na sequência.

#### 4.1.2.2 ANÁLISE DAS MEDIDAS DESCRITIVAS

Efetuada uma análise das medidas descritivas de maneira mais ampla em torno da amostra é possível identificar estatisticamente através da média, mediana, variância e desvio padrão, conforme calculado e apresentado na Tabela 25, quais desafios são os mais importantes segundo as atribuições realizadas pelos respondentes. Basicamente para identificar os desafios mais importantes, observa-se àqueles que têm menor variabilidade através do seu desvio padrão, e maior média.

Todas as tabelas a seguir apresentam quatro desafios na descrição com uma cor em destaque, como o caso da Tabela 25, sendo esses desafios representando os desafios moderadores que, explanados em método.

Tabela 25- Análise estatística das medidas descritivas

Descrição	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão
Segurança e integridade de dados. -	0,8382	1,0000	0,04122	0,20303
Qualificação de habilidades humanas. -	0,8382	1,0000	0,05637	0,23743
Definição da estratégia corporativa nas organizações. -	0,7941	0,7500	0,03587	0,18940
Supervisão de produção em processos de automação industrial. -	0,5000	0,5000	0,06061	0,24618
Capacidade de investimentos em novas tecnologias. -	0,7206	0,7500	0,07865	0,28045
Segurança e propriedade das informações. -	0,8162	0,7500	0,03905	0,19761
Desenvolvimento de habilidades humanas. -	0,8088	1,0000	0,05704	0,23883
Escalabilidade de rede. -	0,5809	0,5000	0,05955	0,24402
Criação de mecanismos de controle de qualidade. -	0,5147	0,5000	0,05660	0,23790
Tecnologias flexíveis para customização. -	0,6618	0,6250	0,05637	0,23743
Integração de novas tecnologias em tecnologias/processos existentes. -	0,7353	0,7500	0,05660	0,23790
Fornecimento de projetos de automação para o mercado interno. -	0,5441	0,5000	0,06239	0,24978
Benefícios de investimentos não claros. -	0,5809	0,5000	0,08227	0,28684
Aumento da dinâmica competitiva e mudança do ambiente de mercado. -	0,6324	0,7500	0,06529	0,25551

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Os desafios segurança e integridade de dados (variável 1), qualificação de habilidades humanas (variável 2) e segurança e propriedade da informação (variável 6) possuem as maiores médias e as maiores medianas, porém não possuem o menor desvio padrão, na qual o desafio definição da estratégia corporativa nas organizações (variável 3) se destaca, como é possível observar na tabela. No entanto, estas são as variáveis mais homogêneas, o que sugere afirmar que são as mais importantes na avaliação dos fornecedores de tecnologias brasileiros.

A variável 1 representa os valores do desafio segurança e integridade de dados, que também aparece como o desafio mais frequente na literatura internacional. A variável 2, com a maior média e maior mediana entre as demais, representa o desafio qualificação de habilidades humanas. No entanto é possível afirmar ainda que esse desafio também está presente na opinião de quase 5,36% dos respondentes, como sendo um desafio brasileiro, conforme visto na Tabela 23. Por fim a variável 6 também está relacionada a segurança, ou seja, representa o desafio segurança e integridade de dados.

A segurança não foi uma questão tratada pelos respondentes dos desafios de tecnologias e brasileiros, além de as respostas serem abertas, fica mais complexo afirmar qual segurança de fato quando considerado pelo respondente é a tratada na literatura. Para as considerações finais dessa análise, se torna suficiente entender que qualificação e ambas as seguranças são os desafios mais importantes, conforme a Tabela 26.

Tabela 26 - Desafios mais importantes pela análise estatística

Grau de Importância	Desafios / Moderadores
1º	Segurança e integridade de dados. -
2º	Qualificação de habilidades humanas. -
3º	Segurança e propriedade das informações. -
4º	Desenvolvimento de habilidades humanas. -
5º	Definição da estratégia corporativa nas organizações. -
6º	Integração de novas tecnologias em tecnologias/processos existentes. -
7º	Capacidade de investimentos em novas tecnologias. -
8º	Tecnologias flexíveis para customização. -
9º	Aumento da dinâmica competitiva e mudança do ambiente de mercado. -
10º	Escalabilidade de rede. -
11º	Benefícios de investimentos não claros. -
12º	Fornecimento de projetos de automação para o mercado interno. -
13º	Criação de mecanismos de controle de qualidade. -
14º	Supervisão de produção em processos de automação industrial. -

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

É esperado que os desafios moderadores, estejam sempre entre os menos importantes, o que ocorreu nessa análise com três de quatro desafios. No entanto, especificamente o desafio definição da estratégia corporativa nas organizações, aparece com certo nível de importância, ou seja, é o quinto desafio mais importantes segundos os fornecedores de tecnologia.

Uma explicação para esse desafio ter sido expressivamente considerado importante é que inicialmente ele foi pensando de acordo com a literatura, em que as decisões sobre adoção de novas tecnologias de processo são realizadas ao nível de estratégia de produção e não ao nível da estratégia corporativa, além do mais, na estratégia de produção existem outras questões adicionais sendo avaliadas não apenas decisões sobre tecnologias, sendo ainda um equivoco ter uma estratégia como um desafio. Os respondentes tiveram essa percepção, talvez porque é comum os investimentos serem aprovados na empresa pelos membros das equipes corporativas, assim eles fizeram uma associação errônea sobre esse desafio moderador.

No entanto, para que possa ser encontrado um padrão específico nas respostas, uma análise multivariada com técnicas de agrupamento é apresentada a seguir.

#### 4.1.2.3 ANÁLISE MULTIVARIADA – ANÁLISE DE AGRUPAMENTO GERAL

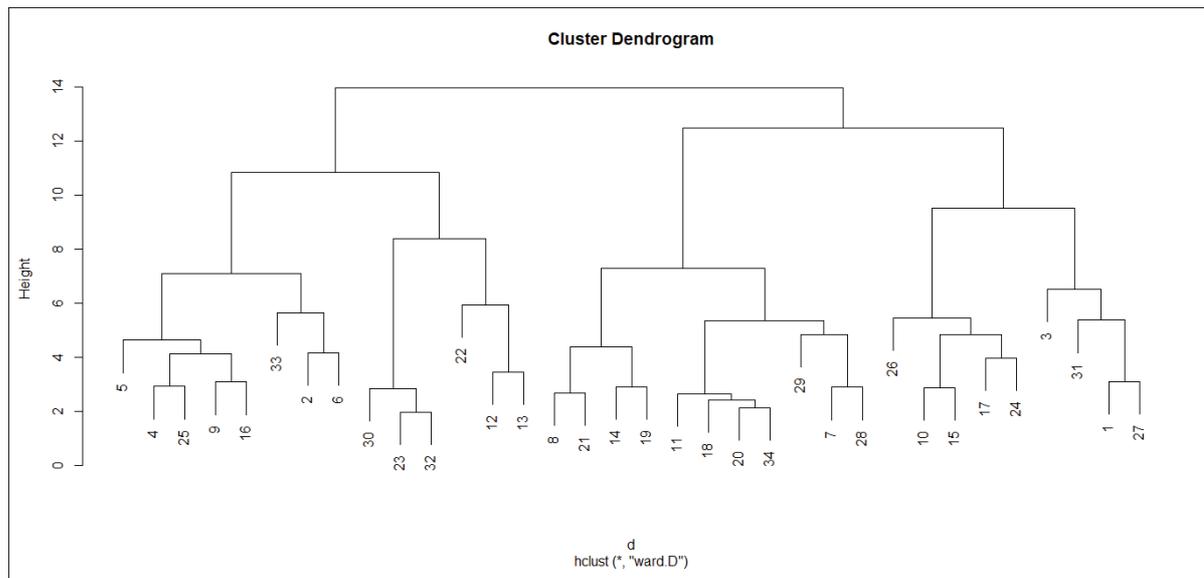
Conforme os resultados obtidos relacionados à atribuição da importância aos desafios da indústria 4.0 pré-estabelecidos com base na literatura, foi realizada uma análise multivariada que resultou em um gráfico dendograma, elaborado para observar a formação dos agrupamentos conforme as linhas verticais representam os conglomerados e as linhas horizontais representa a distância euclidiana entre os mesmos, conforme a Figura 36.

A análise a partir do dendograma é realizada para a obtenção da quantidade de agrupamento ideal que possam ser utilizados para encontrar umas características específica entre cada grupo e, principalmente, demonstrar quais os desafios são mais importantes segundo a avaliação de cada grupo.

A estratégia desse trabalho foi utilizar um dendograma com 4 clusters conforme a Figura 37, principalmente pois o número de variáveis da amostra é limitado em trinta e quatro, o que torna a avaliação restrita em torno, no entanto caso aumente o número de cluster o os grupos ficam com poucas variáveis, não sendo uma opção ideal para avaliação.

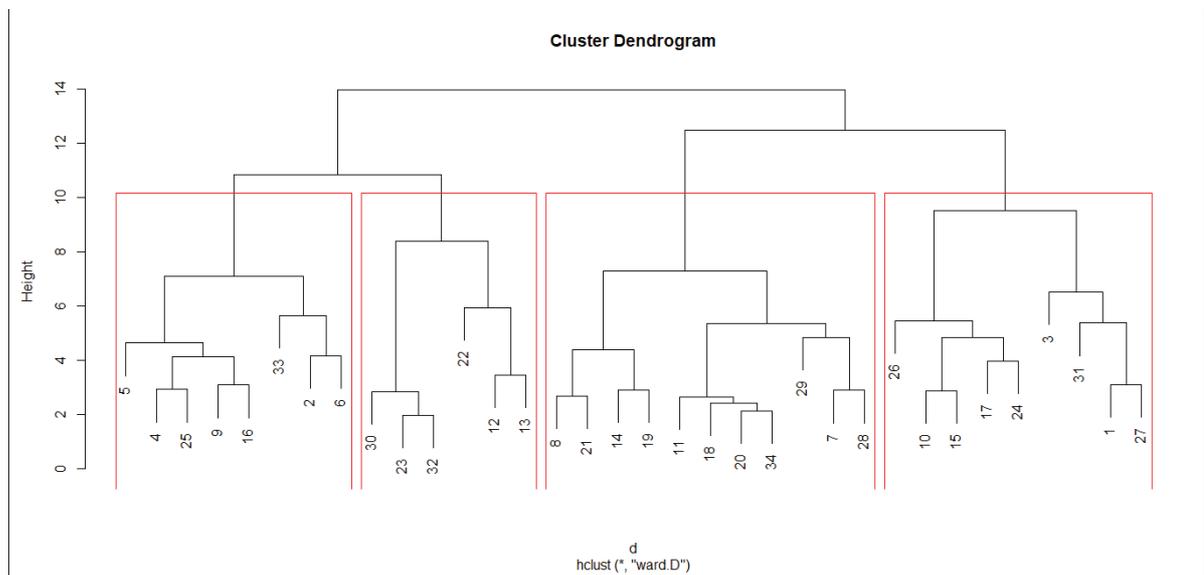
Para buscar uma alternativa de avaliação foi feita a adoção de uma variável dirigida, para descobrir se existem resultados específicos para cada um dos grupos conforme apresentado na próxima sessão. Assim, o objetivo é encontrar características específicas entre cada agrupamento de acordo com a variável mais frequente de cada constructo.

Figura 36 - Dendrograma para os 34 fornecedores de I4.0 no Brasil



Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Figura 37 - Dendrograma com formação de 4 clusters



Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

A Tabela 27 apresenta os desafios mais importantes de acordo com as considerações estatísticas realizadas nas análises de medidas descritivas por cada grupo criado em método multivariado, e apresentam seus desafios mais importantes respectivamente. Observando os resultados obtidos por essa análise é possível perceber que os desafios não se alteram, ou seja, são dez mais quatro diferentes desafios e os mesmos quatro aparecem relacionados.

Tabela 27 - Desafios mais importantes por grupos pela técnica multivariada

Grupo	Desafio
Grupo 1	Segurança e integridade de dados.
Grupo 2	Segurança e integridade de dados; Segurança e propriedade das informações.
Grupo 3	Qualificação de habilidades humanas
Grupo 4	Qualificação de habilidades humanas; Desenvolvimento de habilidades humanas.

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Tabela 28 – Desafios por ordem de importância do grupo 1

Desafios / Moderador - Grupo 1	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão
Segurança e integridade de dados. -	0,88	0,88	0,02	0,14
Integração de novas tecnologias em tecnologias/processos existentes. -	0,83	0,75	0,02	0,13
Segurança e propriedade das informações. -	0,75	0,75	0,03	0,16
Tecnologias flexíveis para customização. -	0,67	0,63	0,04	0,20
Definição da estratégia corporativa nas organizações. -	0,63	0,63	0,02	0,14
Capacidade de investimentos em novas tecnologias. -	0,63	0,63	0,02	0,14
Escalabilidade de rede. -	0,63	0,50	0,09	0,31
Criação de mecanismos de controle de qualidade. -	0,63	0,63	0,07	0,26
Fornecimento de projetos de automação para o mercado interno. -	0,63	0,63	0,07	0,26
Qualificação de habilidades humanas. -	0,58	0,63	0,04	0,20
Benefícios de investimentos não claros. -	0,58	0,63	0,12	0,34
Desenvolvimento de habilidades humanas. -	0,54	0,50	0,04	0,19
Aumento da dinâmica competitiva e mudança do ambiente de mercado. -	0,54	0,50	0,04	0,19
Supervisão de produção em processos de automação industrial. -	0,46	0,50	0,04	0,19

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

A Tabela 28, Tabela 29, Tabela 30 e Tabela 31 apresentam os desafios por ordem de importância de cada grupo respectivamente.

Tabela 29 – Desafios por ordem de importância do grupo 2

Desafios / Moderador - Grupo 1	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão
Segurança e integridade de dados. -	1,00	1,00	0,00	0,00
Segurança e propriedade das informações. -	1,00	1,00	0,00	0,00
Qualificação de habilidades humanas. -	0,92	1,00	0,04	0,20
Desenvolvimento de habilidades humanas. -	0,88	1,00	0,04	0,21
Definição da estratégia corporativa nas organizações. -	0,75	0,75	0,03	0,16
Escalabilidade de rede. -	0,71	0,63	0,06	0,25
Capacidade de investimentos em novas tecnologias. -	0,63	0,63	0,17	0,41
Criação de mecanismos de controle de qualidade. -	0,63	0,63	0,02	0,14
Integração de novas tecnologias em tecnologias/processos existentes. -	0,63	0,50	0,04	0,21
Tecnologias flexíveis para customização. -	0,46	0,50	0,04	0,19
Fornecimento de projetos de automação para o mercado interno. -	0,46	0,38	0,06	0,25
Aumento da dinâmica competitiva e mudança do ambiente de mercado. -	0,42	0,38	0,09	0,30
Supervisão de produção em processos de automação industrial. -	0,38	0,38	0,07	0,26
Benefícios de investimentos não claros. -	0,25	0,25	0,03	0,16

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Tabela 30 – Desafios por ordem de importância do grupo 3

Desafios / Moderador - Grupo 3	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão
Qualificação de habilidades humanas. -	0,98	1,00	0,01	0,08
Definição da estratégia corporativa nas organizações. -	0,95	1,00	0,01	0,10
Desenvolvimento de habilidades humanas. -	0,93	1,00	0,01	0,12
Segurança e integridade de dados. -	0,86	0,75	0,02	0,13
Segurança e propriedade das informações. -	0,86	0,75	0,02	0,13
Tecnologias flexíveis para customização. -	0,82	0,75	0,04	0,20
Aumento da dinâmica competitiva e mudança do ambiente de mercado. -	0,82	0,75	0,03	0,16
Integração de novas tecnologias em tecnologias/processos existentes. -	0,77	0,75	0,04	0,21
Capacidade de investimentos em novas tecnologias. -	0,75	0,75	0,08	0,27
Fornecimento de projetos de automação para o mercado interno. -	0,70	0,75	0,04	0,19
Benefícios de investimentos não claros. -	0,68	0,75	0,05	0,23
Escalabilidade de rede. -	0,66	0,75	0,04	0,20
Supervisão de produção em processos de automação industrial. -	0,57	0,50	0,04	0,20
Criação de mecanismos de controle de qualidade. -	0,52	0,50	0,03	0,18

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Tabela 31 – Desafios por ordem de importância do grupo 4

Desafios / Moderador - Grupo 4	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão
Qualificação de habilidades humanas. -	0,89	1,00	0,03	0,18
Desenvolvimento de habilidades humanas. -	0,89	1,00	0,03	0,18
Definição da estratégia corporativa nas organizações. -	0,81	0,75	0,03	0,17
Capacidade de investimentos em novas tecnologias. -	0,81	1,00	0,07	0,27
Integração de novas tecnologias em tecnologias/processos existentes. -	0,69	0,75	0,11	0,33
Benefícios de investimentos não claros. -	0,69	0,75	0,07	0,27
Segurança e integridade de dados. -	0,67	0,50	0,08	0,28
Segurança e propriedade das informações. -	0,67	0,75	0,06	0,25
Aumento da dinâmica competitiva e mudança do ambiente de mercado. -	0,58	0,75	0,05	0,22
Tecnologias flexíveis para customização. -	0,56	0,50	0,04	0,21
Supervisão de produção em processos de automação industrial. -	0,47	0,25	0,09	0,29
Escalabilidade de rede. -	0,36	0,25	0,02	0,13
Criação de mecanismos de controle de qualidade. -	0,33	0,25	0,08	0,28
Fornecimento de projetos de automação para o mercado interno. -	0,33	0,25	0,03	0,18

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

#### 4.1.2.4 ANÁLISE MULTIVARIADA – ANÁLISE DE AGRUPAMENTO DIRIGIDO

O primeiro constructo a ser analisado é a Função Exercida na Empresa pelos respondentes, foi utilizada a variável “consultores comerciais” já que é a mais frequente e entre o destaque é possível perceber que o grupo quatro tem uma quantidade maior de consultores comerciais do que os demais grupos, o que sugere ser um grupo de profissionais com contato direto com os consumidores de tecnologia, conforme a Tabela 32.

Tabela 32 - Função consultores comerciais percentual por grupo

Função exercida na empresa	
Grupo	Consultores Comerciais (%)
Grupo 1	37,5%
Grupo 2	33,3%
Grupo 3	63,6%
Grupo 4	22,2%
Geral	41,18%

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Uma relação de similaridade com esses consultores comerciais, é que 71% tem muitos anos trabalhando na mesma empresa, ou seja, mais de 5 anos, 57 % são engenheiros, 42% trabalham em empresas com mais de 500 funcionários e 57% acham que a Indústria 4.0 ainda está em seu início. Para esse grupo especificamente, o desafio mais importante da Indústria 4.0 de acordo com as observações estatísticas é o desafio Qualificação de Habilidades Humanas.

O constructo Fator Habilitador para a Adoção da Indústria 4.0, possui a variável “conhecimento e qualificação” como a mais frequente entre os respondentes, na Tabela 33, é possível verificar que essa variável tem o maior percentual entre respondentes do grupo 4, com 77,78%.

Tabela 33 - Conhecimento e qualificação percentual por grupo

Fator Habilitador para Adoção da Indústria 4.0	
Grupo	Conhecimento e Qualificação (%)
Grupo 1	25,00%
Grupo 2	33,33%
Grupo 3	45,45%
Grupo 4	77,78%
Geral	47,06%

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Entre as similaridades do desafio conhecimento e qualificação, 85% dos respondentes são da área comercial distribuídos em várias funções, porém todos os respondentes são também de formação técnica, ou seja, engenheiros e ainda possuem pós-graduação. As empresas que esses profissionais trabalham são para 57,1% microempresas, e 57,1 acreditam que o fator decisivo na adoção da indústria 4.0 é o retorno do investimento. A média de tempo na função desses respondentes é mais de 10 anos. Para esse o grupo o desafio também é Qualificação de Habilidades Humanas.

O constructo Fase do Ciclo de Vida da Indústria 4.0 tem a variável “início do desenvolvimento da Indústria 4.0” como a mais frequente e para o grupo 1 representa o maior percentual conforme a Tabela 34.

Entre as similaridades dos respondentes desse grupo que consideram que a Indústria 4.0 se encontra no início de seu desenvolvimento, está a função de consultores comerciais em 66,6% dos casos, a formação em engenharia também em 66,6% dos casos, uma média de quase cinco anos trabalhando na mesma empresa. Além disso, 50% dos respondentes trabalham em grandes empresas, sendo ainda que para 50% dos respondentes, benefícios de produção e ou vantagem competitiva é um fator decisivo, e também para 50% educação e treinamento em inovação é um fator habilitador. Para esse grupo especificamente o desafio mais importante é o desafio Segurança e integridade de dados.

Tabela 34 - Início do desenvolvimento da Indústria 4.0, percentual por grupo

Fase do ciclo de vida da revolução	
Grupo	Início do Desenvolvimento da Indústria 4.0 (%)
Grupo 1	75,00%
Grupo 2	50,00%
Grupo 3	54,55%
Grupo 4	44,44%
Geral	55,88%

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Tabela 35 - Fator decisivo para adoção da Indústria 4.0

Fator Decisivo para Adoção da Indústria 4.0	
Grupo	Retorno do Investimento. (Payback, VPL, etc...) (%)
Grupo 1	50,00%
Grupo 2	50,00%
Grupo 3	27,27%
Grupo 4	55,56%
Geral	44,12%

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

A Tabela 35 apresenta o constructo Fator Decisivo para Adoção da Indústria 4.0, sendo com a variável que obteve maior frequência nesse constructo, foi o “retorno do investimento”, aparecendo também no grupo 4 com maior percentual.

As similaridades desse grupo, restrito pelo variável retorno do investimento, 80% acreditam que conhecimento e qualificação é o fator habilitador. Já para 60%, a Indústria 4.0 está em seu início na fase do ciclo de vida, sendo que 80% dos respondentes são engenheiros de formação, e 80% possuem pelo menos uma pós-graduação, sendo que um respondente 20% possui mestrado. A média de tempo na função é alta com 7,8 anos. Para esse grupo, são dois os principais desafios avaliados, ou seja, qualificação e desenvolvimento de habilidades humanas.

Sendo a primeira etapa uma análise da variável que apresenta um percentual de destaque em seu construto, e na sequência a que é relevante percentualmente em um grupo específico, é importante destacar que foram avaliados com as variáveis de controle apenas três grupos de fornecedores, pois não foi identificada uma variável de controle para o grupo dois, entre as verificações. No entanto foi considerado duas análises distintas para o agrupamento quatro, observando as dissimilaridades dos grupos, para entender um pouco mais sobre as características formadas. Assim mesmo essas variáveis dirigidas, só nos retornaram três desafios diferentes nos três grupos de fornecedores avaliados, conforme é possível visualizar na Tabela 36.

Tabela 36 - Desafios de maior importância no agrupamento por variáveis de controle

Grupo	Constructo	Variável	Desafios mais Importantes
Grupo 1	Fase do ciclo de vida da revolução	Ínicio do Desenvolvimento da Indústria 4.0	Segurança e integridade de dados.
Grupo 3	Função exercida na empresa	Consultor Comercial	Qualificação de habilidades humanas.
Grupo 4	Fator Decisivo para Adoção da Indústria 4.0	Retorno do Investimento (Payback, VPL, etc...) (%)	Qualificação de habilidades humanas / Desenvolvimento de habilidades humanas
Grupo 4	Fator habilitador conhecimento e qualificação.	Conhecimento e Qualificação	Qualificação de habilidades humanas.

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Assim, com ajuda de análises estatísticas e multivariada é possível considerar que os desafios da Tabela 27 e da Tabela 36 estão como os desafios mais importantes para a adoção

da Indústria 4.0 no Brasil, devendo ser prioridade o desenvolvimento de soluções que possam atender e ou superar esses desafios.

## 5. DISCUSSÕES

### 5.1 DESAFIOS BASEADOS NA LITERATURA

Na Tabela 37 estão em evidência os desafios identificados pelas respostas abertas na primeira coluna, com a respectiva tecnologia informada pelo respondente, e com uma análise comparativa com a literatura nacional e internacional.

Tabela 37 - Desafios tecnológicos apontados pelos fornecedores, comparativo com a literatura

Desafios da tecnologia - respostas abertas	Tecnologias Associadas	Ranking	Ranking na Literatura Nacional	Ranking Literatura Internacional
Falta de cultura e treinamento digital	Realidade Virtual (1); N/R (3)	1°	-	57°
Falta de infraestrutura de tecnologia da informação e comunicação	IoT (1); Virtualização (1); N/R (1)	2°	8°	6°
Baixo nível de maturidade em tecnologia	IoT (1); Robótica Colaborativa (1);	2°	-	14°
Integração vertical	CPS (1); IoT (1); Manufatura Aditiva	2°	-	23°
Qualificação de habilidades humanas	IoT (1); Redes S/ Fio (1)	3°	2°	2°
Custos de comercialização de tecnologias	IoT (1); N/R (1)	3°	-	122°
Empresas resistentes à implantação de novas tecnologias	IoT (1); Ciber Segurança (1)	3°	-	32°
Segurança e integridade de dados	Robótica Colaborativa (2)	3°	5°	1°
Baixa qualidade dos dados	Inteligência Artificial (1)	4°	-	32°
Mudanças do trabalho no contexto organizacional	Robótica Colaborativa (1)	4°	-	123°
Interoperabilidade	Inteligência Artificial (1)	4°	18°	57°
Falta de entendimento e potenciais benefícios da tecnologia	Robótica Colaborativa (1)	4°	-	57°
Prontidão para receber tecnologias digitais	Redes c/ Fio (1)	4°	-	57°
Desenvolvimento de dispositivos inteligentes de redes	Inteligência Artificial (1)	4°	-	32°
Integração vertical e horizontal	Robótica Colaborativa (1)	4°	-	27°
Questões de segurança na implantação, mobilidade e complexidade dos dispositivos	Robótica Colaborativa (1)	4°	-	123°
Introdução de sistemas colaborativos padronizados e ou adaptados	Robótica Colaborativa (1)	4°	-	57°
Benefícios de investimentos não claros	Manufatura Aditiva (1)	4°	8°	9°
Aprendizado na operação	N/R (1)	4°	-	123°
Equilíbrio entre custo e interesse de investimento	Computação em Nuvem (1)	4°	-	123°
Integração e interoperabilidade de dispositivos	Redes c/ Fio (1)	4°	-	123°
Capacidade de investimentos	Robótica Colaborativa (1)	4°	1°	4°
Falta de suporte governamental em políticas	Manufatura Aditiva (1)	4°	-	57°
Gerenciamento de banco de dados de objetos 3D	Big Data (1)	4°	-	123°
Flexibilidade na modelagem de sistemas de produção	Manufatura Aditiva (1)	4°	18°	57°
Integração de diferentes tecnologias	IoT (1)	4°	-	32°

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

A coluna tecnologias associadas, representa as tecnologias que os respondentes sinalizaram como sendo a principal tecnologia da Indústria 4.0 de fornecimento de suas respectivas empresas. Como mais de um fornecedor apresentou um mesmo desafio como resposta, entre parênteses foi incluída a frequência com que a tecnologia está associada à resposta, sendo que na falta de uma resposta foi incluída pela sigla “NR” que significa não respondido. É possível observar que a tecnologia IoT aparece para vários desafios, sendo essa uma das principais tecnologias e principal referência da Indústria 4.0 no Brasil e no mundo. Por outro lado também com uma frequência maior, a robótica colaborativa e a inteligência artificial, pois os respondentes em função das respostas serem abertas, responderam mais de um desafio, porém associado a apenas uma tecnologia.

A literatura nacional, como já abordado anteriormente, ainda está em sua infância, e esse é o motivo por que muitos desafios tecnológicos não aparecem na base de dados dos desafios nacionais, como pode ser observado na coluna respectiva. Já a literatura internacional foi utilizada como referência para a transcrição dos desafios respondidos abertamente, nesse caso existe o preenchimento da frequência relativa para cada um dos respectivos desafios sinalizados pelos respondentes, sendo que alguns se repetem, pois, essa frequência é igual na base de dados para os desafios que contém a mesma frequência.

Para os desafios brasileiros segundo os fornecedores de tecnologia, a comparação foi realizada excluindo a coluna da tecnologia, pois a pergunta foi especificamente direcionada para o entendimento de qual era o desafio brasileiro. A falta de infraestrutura de tecnologias da informação e comunicação está para a maioria dos respondentes, como o maior ou mais importante desafio da Indústria 4.0 no Brasil, principalmente para as tecnologias internet das coisas e virtualização conforme visto na Tabela 37. A literatura aponta esse desafio em oitavo lugar em relação a outros desafios da literatura nacional e em sexto lugar na literatura internacional como pode ser visto na comparação da Tabela 38.

Os desafios da literatura internacional considerados mais importantes na análise quantitativa estão descritos na primeira coluna da Tabela 39. Dos dez desafios submetidos para análise de importância, quatro desafios foram considerados os mais importantes e a sua frequência em comparação com a literatura pode ser observada na segunda coluna da tabela. O resultado da análise das medidas descritivas através do grau de importância está na terceira coluna. Já na aplicação da técnica de análise multivariada pelo método de agrupamento, a quarta coluna apresenta quais grupos os desafios foram os mais importantes.

Tabela 38 – Desafios brasileiros apontados pelos fornecedores, comparativo com a literatura

Desafios brasileiros - respostas abertas	Ranking	Ranking na Literatura Nacional	Ranking Literatura Internacional
Falta de infraestrutura de tecnologia da informação e comunicação	1º	8º	6º
Capacidade de investimentos	2º	1º	4º
Falta de cultura e treinamento digital	3º	-	57º
Qualificação de habilidades humanas	3º	2º	2º
Baixo nível de maturidade em tecnologia	4º	-	14º
Prontidão para receber tecnologias digitais	4º	-	57º
Desenvolvimento de habilidades humanas	4º	4º	5º
Empresas resistentes à implantação de novas tecnologias	4º	-	32º
Falta de suporte governamental em políticas	4º	-	57º
Falta de entendimento e potenciais benéficos da tecnologia	5º	-	57º
Investimento em tecnologia da informação e comunicação	5º	-	123º
Padronização de protocolos de comunicação	6º	11º	19º
Segurança e integridade de dados	6º	5º	1º
Aquisição e disponibilidade de dados na operação de sistemas	6º	-	123º
Integração horizontal	6º	-	32º
Adaptação do mercado à novas tecnologias	6º	-	18º
Investimentos em desenvolvimento de tecnologia	6º	-	57º
Desenvolvimento de novos modelos de negócios de produtos de valor agregado	6º	-	123º
Investimento em educação	6º	-	57º
Questões sociais e culturais no mercado de trabalho	6º	-	57º
Investimento em pesquisa e desenvolvimento	6º	-	32º
Varição na viabilidade de investimentos	6º	-	123º
Desenvolvimento de novos modelos de negócios	6º	8º	19º
Padronização de dispositivos inteligentes	6º	18º	123º

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Os desafios mais importantes, segundo as análises de agrupamento com variáveis dirigidas estão na comparação da quinta coluna e foram identificados através dos quatro constructos que apresentam menor variabilidade entre as variáveis, fazendo surgir a variável com maior frequência, permitindo verificar qual grupo essa variável é percentualmente maior

e consequente mais importante. Então após determinado a análise para quatro principais constructos, apenas três desafios obtiveram importância. Já nas respostas abertas pelos respondentes os mesmo três desafios também foram encontrados conforme a comparação da sexta e ultima coluna, que apresenta a sua frequência em relação às respostas aberta dos mesmos respondentes.

Tabela 39 – Comparação dos desafios mais importantes da análise mista com literatura e observação empírica

Desafio da Literatura Internacional - Indústria de transformação	Literatura Internacional (Ranking)	Medidas Descritivas (Importância)	Multivariada Agrupada (Importância)	Multivariada Agrupada e Dirigida (Importância)	Respostas Abertas - Desafios Brasileiros (Ranking)
Segurança e integridade de dados.	1º	1º	<b>g1, g2</b>	<b>g1'</b>	<b>12º</b>
Segurança e propriedade das informações.	3º	3º	<b>g2</b>	-	-
Qualificação de habilidades humanas.	2º	2º	<b>g3,g4</b>	<b>g3'g4'</b>	<b>3º</b>
Desenvolvimento de habilidades humanas	5º	4º	<b>g4</b>	<b>g4'g4''</b>	<b>4º</b>

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Os desafios mais importantes nas duas principais análises realizadas, ou seja, a análise mista quali-quantitativa e a análise das respostas empíricas dos especialistas fornecedores de tecnologias da indústria 4.0 voltada para olhar dos desafios brasileiros, estão reunidas na Tabela 40 entre os dez desafios mais frequentes da literatura como forma de selecionar os desafios mais relevantes sugerindo como os principais dessa encontrados nessa pesquisa.

Entre esses desafios, algumas considerações pela literatura ainda são importantes ser realizadas no completo entendimento desses desafios:

- Segurança e integridade de dados – Segundo Luthra e Mangla (2018) uma das características da Indústria 4.0 é a capacidade de conectar-se a ambientes organizacionais, com potencial para tornar a cadeia de suprimentos mais eficiente. No entanto, os sistemas da cadeia de suprimentos têm vulnerabilidades de segurança inerentes, que são exploradas pelos invasores. Uma das vulnerabilidades de segurança começa com o fornecedor, que é vulnerável a ataques do *phishing* e roubo de credenciais privilegiadas, resultando em exposição de dados em massa. Normalmente o ataque *phishing* ocorre em acessos a redes que direcionam o usuário para uma página falsa e ou sugerem um aplicativo para ser baixado, em

que em ambas as situações o usuário pode digitar algum dado importante ou deixar o dispositivo totalmente exposto. A principal vulnerabilidade está no topo da cadeia de suprimentos, atingindo o restante dos processos organizacionais por meio de seus atores dependentes. A segurança é o principal requisito para transformar uma fábrica em fator mais inteligente e uma cadeia de suprimentos em cadeias de valor mais inteligentes.

Tabela 40 – Desafios brasileiros mais importantes nas análises entre os dez desafios mais frequentes

	Literatura Internacional (Ranking)	<b>Principais Desafios Brasileiros</b>
		Desafios mais importantes entre os dez mais freqüentes da literatura internacional - análise de agrupamento
Análise Mista	1°	Segurança e integridade de dados
	3°	Segurança e propriedade das informações
	2°	Qualificação de habilidades humanas
	5°	Desenvolvimento de habilidades humanas
		Visão empírica dos especialistas entre os dez mais freqüentes da literatura internacional - análise dos desafios brasileiros
Visão Empírica	6°	Falta de infraestrutura de tecnologia da informação e comunicação
	4°	Capacidade de investimentos
	2°	Qualificação de habilidades humanas
	5°	Desenvolvimento de habilidades humanas

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

- Segurança e propriedade de dados – Segundo Xu et al. (2018) para garantir o uso de novas tecnologias e serviços de IoT, segurança da informação e proteção de privacidade de dados são aspectos críticos que as pesquisas futuras devem considerar. Os problemas difíceis na segurança da IoT incorporam sua implantação, mobilidade e complexidade (LI e XU, 2017). Quando as tecnologias de criptografia existentes emprestadas das redes de sensores em fio e de outras redes são empregadas na construção da IoT, elas devem ser cuidadosamente revisadas e analisadas para garantir a segurança (XU, HE e LI, 2014). Uma quantidade enorme de informações pessoais e privadas seria coletada automaticamente quando a IoT fosse aplicada. Portanto, proteger a privacidade no ambiente de IoT se torna um problema

mais sério do que o ambiente tradicional de TIC, porque o número de vetores de ataque em entidades de IoT é muito maior.

- Qualificação de habilidades humanas – Capacitação e educação foram as palavras mais usadas entre os respondentes no questionário aberto da pesquisa com os fornecedores de tecnologias. Em um contexto voltado para a solução educacional, Fernández-Miranda et al. (2017) concluem que a implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 requer uma alta demanda por especialistas para construir e manter essas novas fábricas. Portanto, os alunos terão cada vez mais que dominar uma combinação de engenharia mecânica clássica e TI. Conseqüentemente, a Indústria 4.0 oferece à engenharia mecânica a oportunidade de expandir ainda mais sua competitividade. Digitalizar a cadeia de valor significa uma mudança na indústria de engenharia mecânica.

- Desenvolvimento de habilidades humanas – No que diz respeito a todas as tecnologias da Indústria 4.0, é necessário que os engenheiros precisem melhorar suas competências profissionais, sociais, metódicas e pessoais (SIMONS et al., 2017; GRONAU et al., 2015) . Eles precisam de um entendimento interdisciplinar de sistemas, processos de produção, tecnologia de automação, tecnologia da informação, princípios ergonômicos e de processos de negócios. Além disso, as habilidades de cooperação e comunicação em grupos interdisciplinares são de importância crucial. O engenheiro moderno da Indústria 4.0 deve ter uma perspectiva holística em sistemas de produção complexos. (SIMONS et al., 2017)

- Falta de infraestrutura de tecnologia de informação e comunicação – Com relação aos desafios de falta de infraestrutura de TIC, Müller e Voigt (2018a), avaliaram os desafios esperados da Implantação bem-sucedida da Indústria 4.0 em sete diferentes áreas de uma empresa, e apenas em duas esse desafio não foi relacionado. Segundo Xu et al. (2018) para muitas empresas de manufatura, as infraestruturas de TIC existentes não estão totalmente prontas para apoiar a transformação digital para a Indústria 4.0, que visa a integração horizontal, a integração vertical e a integração de ponta a ponta. Visto que o Brasil é um país em desenvolvimento, uma mesma comparação sobre infraestrutura pode ser feita em países em desenvolvimento com os resultados do estudo realizado em Bangladesh por Moktadir et al. (2018), segundo o autor a implicação desse resultado para as empresas do setor de couro de Bangladesh é que a falta de infraestrutura tecnológica, o desafio fundamental, central e crítico que dificulta a implantação de tecnologias inteligentes, requer uma atenção urgente durante a adaptação da Indústria 4.0

- Capacidade de investimentos – Segundo Moktadir et al. (2018) a estratégia indústria 4.0 na indústria de transformação requer um grande investimento de capital. Sommer (2015) avaliando estudos alemães sugere que uma de suas análises fornece evidências de que a disposição das empresas em investir em tecnologias digitais é baixa. 47% de todas as empresas entrevistadas para o estudo disseram que só investiriam no máximo 5% do capital de investimento disponível. O estudo do autor conclui que os investimentos nas tecnologias da Indústria 4.0 têm de ser incentivados por financiamento público, a fim de reduzir as barreiras explicitamente para as PME.

Uma pesquisa na Índia de Luthra e Mangla (2018) demonstra que há um entendimento muito baixo das implicações da Indústria 4.0 entre pesquisadores e profissionais. A literatura exige claramente uma pesquisa altamente organizada e focal para uma definição específica da Indústria 4.0. Gerentes industriais e profissionais, sem dúvida, entenderam a importância da adoção da Indústria 4.0 no ambiente de fabricação; no entanto, eles ainda não têm certeza de suas consequências e implicações exatas no cumprimento dos objetivos de sustentabilidade nas cadeias de suprimentos. Os resultados empíricos de Müller e Voigt (2018b), observando PMEs na China e na Alemanha, demonstram que, em geral, são esperados desafios maiores para as PMEs chinesas do que para as alemãs, exceto para desafios relacionados à escassez de habilidades, ou seja, dificuldades para encontrar pessoal adequado necessário para a “Indústria 4.0”, que estão em um nível comparável. Para “dados e informações”, os dois requisitos de padronização, a regulamentação para interfaces comuns e os padrões ao conectar sistemas ERP, além de garantir a segurança dos dados, ou seja, meios técnicos, como criptografia de dados, são considerados mais importantes pelas PME alemãs. Na China, para atingir o objetivo do “Made-in-China 2025”, o desenvolvimento de recursos humanos é essencial. As práticas de recursos humanos com orientação de compromisso ajudam a criar um ambiente de trabalho adequado para aumentar a criatividade e a inovação do capital humano. O capital humano é fundamental para facilitar o surgimento de práticas exploratórias (LI, L., 2018; POPA et al., 2017). Para Li L.(2018) a pesquisa e a inovação dependem do talento humano, portanto, o capital humano deve ser nutrido por uma educação sólida. As pessoas que operam CPSs “Indústria 4.0” ou sistemas de fabricação Internet-Plus no “Made-in-China 2025” precisam ser educados para poder executar os sistemas.

No trabalho de Müller e Voigt (2018b) ainda, em relação a importância de um arcabouço legal que garanta a segurança dos dados e condições legais confiáveis para a troca

de dados, é classificada como igualmente importante pelos participantes dos dois países. Para o segundo item a questão da propriedade dos dados ao trocar dados, especialmente em plataformas, é classificada significativamente mais alta pelas PME alemãs.

## 5.2 DESAFIOS NÃO ENCONTRADOS NA LITERATURA

As Tabelas 22 e 24 apresentam os desafios que não foram encontrados na literatura, são os desafios de sua respectiva tecnologia e brasileiros, enfrentados pelos fornecedores de tecnologia brasileiros. Com relação aos desafios das tecnologias a Tabela 41 abaixo apresenta a relação de desafios e respectiva tecnologia informada. Foi observado que os que não responderam “NR” a tecnologia associada, uma das empresas fornece serviço para a Indústria 4.0 e outro fornece sistemas, ou seja, softwares que são customizáveis em geral, o que poder ter sido esse o motivo da não manifestação de sua resposta.

Tabela 41 – Desafios tecnológicos e sua respectiva tecnologia

Desafios Tecnológicos	Tecnologia Associada
Aplicações práticas de tecnologias para aquisição de dados	Inteligência Artificial
Aplicações práticas de tecnologias de redes convencionais	Redes com Fio
Prazo de implantação de novas tecnologias	NR
Falta de conhecimento para reestruturação de todo contexto industrial	Robótica Colaborativa
Aplicações práticas de tecnologias da Indústria 4.0	NR
Mudança de cultura dos fornecedores de tecnologia	IoT

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

No entanto os demais com respostas é possível obter algumas conclusões: O desafio aplicações práticas de tecnologias para aquisição de dados, de acordo com o respondente é um desafio sentido no desenvolvimento da inteligência artificial. De fato, gerar algoritmos que utilizem os dados de processos e equipamentos, que resultem em ações para que um sistema possa tomar decisões sem a consulta de operacional humana, decidir o que produzir e qual processo utilizar, não é uma tarefa simples e envolve um esforço em termos de desenvolvimento de sistemas e a própria aplicação prática de um algoritmo. Com relação ao desafio aplicação práticas de tecnologia de redes convencionais, as redes inicialmente desenvolvida para aplicações entre computadores, com o desenvolvimento de equipamentos

com conectividade é possível em um ambiente industrial, desenvolver aplicações que podem colaborar com os princípios da Indústria 4.0, como simplesmente a integração vertical e horizontal, aplicações em tempo real, e aquisições de grande volume de dados. A conectividade de muitos equipamentos tem sido ignorada, o que deve ser mudado com essa revolução. A falta de conhecimento para reestruturação de todo o contexto industrial é um desafio para a robótica colaborativa, já que em um ambiente com muitos robôs e constante modernização, que ocorre normalmente no setor automotivo e não restrito a esse setor e ocorre, pois essa falta de conhecimento principalmente dos princípios da indústria 4.0 e do alcance da tecnologia de robótica colaborativa demanda um alto nível de entendimento do que se produz e como é realizada a produção, ou seja, reestruturar requer mudanças em termos de processos e procedimentos e pode exigir maior esforço no desenvolvimento, além de não haver referências empíricas para suporte. O desafio de mudança de cultura dos fornecedores ocorre, pois, as empresas que dominarem a Indústria 4.0, terão vantagem competitiva frente às suas concorrentes, e os fornecedores não podem negligenciar a existência de uma revolução em plena atividade. Nessa pesquisa, alguns dos fornecedores declinaram a participação por falta de engajamento, ou seja, profissionais e fornecedores que fornecem tecnologia em qualquer segmento relacionado à Indústria 4.0, estão correndo um sério risco de mercado não adotando essa estratégia.

A Tabela 42, apresenta os desafios que estão associados com as tecnologias que os respondentes sinalizaram como a do seu escopo de fornecimento para um melhor entendimento.

Tabela 42 – Desafios brasileiro a respectiva tecnologia dos respondentes

Desafios Brasileiros	Tecnologia Associada
Falta conhecimento para reestruturação de todo contexto industrial	Inteligência Artificial (1); Redes c/ Fio (1); Realidade Virtual (1)
Vitimização na adoção de novas tecnologias	IoT (1)
Aplicações práticas de tecnologias de baixo custo	Redes c/ Fio (1)
Aplicações práticas de tecnologias da indústria 4.0	Manufatura Aditiva (1)
Reestruturação de todo o contexto industrial	Robótica Colaborativa (1)

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

Conforme abordado anteriormente o conhecimento é de suma importância em aplicações de robótica colaborativa, porém quando observado inteligência artificial, é necessário compreender em todo o contexto de produção, que reestruturação deve conter conectividade de processo, produto além da interface humana no auxílio das decisões, esse conhecimento deve ser básico para o desenvolvimento dessa tecnologia, o que é desafiado para um país que tem baixo nível de maturidade em tecnologia. De certa maneira as redes com fio dão suporte para a conectividade e outros princípios da Indústria 4.0, mas sem conhecimento de redes dedicadas para aplicações industriais se torna um desafio a Indústria 4.0. Aplicações de realidade virtual envolver conhecimento de fornecedores, desenvolvedores e usuários das tecnologias, além de também demandar uma indústria reestruturada e conectada o que aumenta ainda mais os desafios de utilização dessa tecnologia no Brasil.

Segundo um fornecedor específico às empresas costumam se vitimizar quando o assunto é adoção de novas tecnologias, por vários fatores que impedem que as tecnologias sejam adotadas. Novas tecnologias são vistas como um vilão do emprego, e em alguns casos de fato é em gestões que não desenvolvem as qualificações das habilidades. O barateamento de equipamentos em geral além de sua conectividade está sendo um dos fatores que contribuem com a revolução, porém no contexto industrial ainda é um desafio utilização de aplicações de baixo custo, pois o ambiente não permite e grande parte dos casos. A manufatura aditiva ainda tem limitações em relação aos desenvolvimento de novos materiais, porém quando se refere a produção escalada ainda demanda aplicações que permitem princípios como integração e aquisição de dados, serem utilizados. E por fim e já abordado a reestruturação para aplicações de robótica colaborativa, ou mesmo de modo geral, é um desafio importante em uma indústria ainda não pronta e não madura.

### 5.3 SOLUÇÕES PROPOSTA NA LITERATURA

A Tabela 40 apresenta os principais desafios da Indústria 4.0 no Brasil, porém esses desafios são baseados na literatura internacional que além de ter uma vasta abordagem nesse tema, também fornece para alguns artigos as soluções que podem servir de referência na superação dos desafios e desenvolvimento da indústria brasileira. Assim com o objetivo de contribuir com o país, a Tabela 43 apresenta algumas dessas soluções encontradas para cada um dos principais desafios brasileiros.

Tabela 43 – Soluções encontrada na literatura internacional para os principais desafios brasileiros

Desafios	Solução	Autor	Tipo de Pesquisa
<b>Segurança e Integridade de dados</b>	Haver autenticação de usuário e gerenciamento de acesso a sistemas de automação e TI / - Serviços gerenciados de segurança industrial - Provedor de Serviços de Segurança Gerenciada - Dividido em 3 dimensões (Humano, Organizacional e Técnico)	Jansen e Jeschke (2018)	Revisão da Literatura
<b>Segurança e Propriedade das Informações</b>	No que refere-se ao princípio de integração horizontal, ainda existem desafios em termos de eficiência, proteção da propriedade, o estabelecimento de normas comuns, compartilhamento de conhecimento e assim por diante. Com a implementação de um base avançada de conhecimento e Internet industrial, essas barreiras potencialmente pode ser removidas. Uma plataforma de rede de conhecimento comum com protocolos e padrões práticos é necessário para aprofundar melhorar a eficácia e a qualidade da integração horizontal.	Chen Y. (2017)	Revisão da Literatura
<b>Qualificação de Habilidades Humanas</b>	The European e-Competence Framework (e-CF) fornece uma referência de 40 competências aplicadas no local de trabalho das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), usando uma linguagem comum para competências, habilidades, conhecimentos e níveis de proficiência que podem ser entendidos em toda a Europa.	Fernández-Miranda et al. (2017)	Revisão da Literatura
<b>Desenvolvimento de Habilidades Humanas</b>	Nos últimos anos, muitas abordagens educacionais diferentes foram desenvolvidas para atualizar e melhorar as habilidades das gerações mais jovens e prepará-las para os novos desafios da Quarta Revolução Industrial. Entre elas, aquelas baseadas nas tecnologias de TIC, têm o potencial de apoiar o envolvimento dos alunos e a interação proativa com a atividade, permitindo a exploração pessoal dos conceitos de fabricação. Portanto, várias soluções educacionais foram desenvolvidas tanto para estudantes universitários quanto para trabalhadores, a fim de melhorar seu aprendizado de habilidades avançadas de fabricação. Entre várias abordagens, uma das mais promissoras acabou sendo o uso da aprendizagem digital baseada em jogos, que representa a combinação de interação digital com a aprendizagem baseada em jogos.	Perini et al. (2017)	Revisão da Literatura
<b>Falta de Infraestrutura de TIC</b>	Para construir a infraestrutura e melhorar programas de pesquisa no caminho para uma economia do conhecimento, o Investimento Estrangeiro Direto poderia ser uma ótima solução para países em desenvolvimento como Irã. No entanto, devido às relações internacionais inconvenientes que o Irã tem isso é muito desafiador e menos provável de acontecer.	Nafchi e Mohelská (2018)	Revisão da Literatura
<b>Capacidade de Investimentos</b>	Os investimentos nas tecnologias da indústria 4.0 devem ser incentivados por financiamento público, a fim de reduzir explicitamente as barreiras para as PME / Como solução para mitigar e dirigir a adoção de tecnologias baseada em IoT, o retorno do investimento (ROI) deve justificar a adoção, através de uma análise cuidadosa considerando todos os elementos bem como os benefícios que alcance o ROI.	Sommer (2015) / Illa e Padhi (2018)	Revisão da Literatura / Modelo Conceitual

Fonte - Elaborado pelo autor (2019)

No que se refere a segurança e integridade de dados, no artigo de Jansen e Jeschke (2018) é proposto um modelo de serviços de segurança industrial, os autores propõe que integridade refere-se à confiabilidade de dados ou recursos. A integridade no CPS é a capacidade de manter os objetivos operacionais, impedindo, detectando ou sobrevivendo a ataques de fraude nas informações trocados por sensores, CLPs e atuadores. Isso inclui integridade dos dados enviados e recebidos e autenticidade de partes e componentes de rede. Para manter a proteção atualizada, é obrigatório atualizar continuamente os controles de segurança implementados, como: no nível do dispositivo instalando novos pacotes de segurança, ao nível da rede atualizando assinaturas de firewall para novas ameaças, e ao nível da fábrica, monitorando e analisando as fontes de registros. O projeto de serviços de segurança industrial deve otimizar o conhecimento dos sistemas de automação (próprios) e do ambiente operacional pretendido, ou seja, processos de produção industrial. Os serviços

gerenciados de segurança industrial devem atender muitas necessidades do cliente. Essas necessidades podem ser classificadas em as dimensões das pessoas, organização e tecnologia.

Já para o segundo desafios da tabela, segurança e propriedade da informação, segundo Chen Y. (2017) devido à evolução da tecnologia e dos equipamentos na maioria dos chão-de-fábrica, o IIoT deve está apto a trabalhar com equipamentos e protocolos modernos e legados. Também requer um alto nível de segurança diante de possíveis intrusões, tanto dentro como fora da planta. Para solucionar esse desafio foram desenvolvidas redes industriais reforçadas, que costumam usar *switches* de rede para segmentar um grande sistema em sub-redes lógicas, divididas por endereço, protocolo ou aplicativo. Sistemas de controle lógico sistemático e firewall também são usados quando se torna necessário conectar-se a uma rede de automação de escritório para a integração vertical e horizontal da empresa.

Sobre a lacuna existente em qualificação, Fernández-Miranda et al. (2017) sugerem que as universidades trabalham para fortalecer a relação que deve existir entre os estudantes e os profissionais atuantes. O objetivo é identificar as competências específicas que os futuros engenheiros mecânicos precisarão da perspectiva da Indústria 4.0 com relação ao *benchmarking* do *Big Data*. Por esse motivo, foi levado em consideração o Quadro Europeu de Competência Eletrônica, que é um componente essencial da “Grande Coalizão para os Trabalhos Digitais”, lançada pela Comissão Europeia em março de 2013 para preencher a lacuna digital. É uma estrutura de referência de competências aplicadas no setor de tecnologia da informação e comunicação (TIC). Ele fornece uma estrutura e um conteúdo para aplicação por muitos tipos de usuários, desde organizações do setor público e privado até instituições de ensino, incluindo o ensino superior.

O artigo de Perini et al. (2017) aborda o desenvolvimento de habilidades, e de acordo com a sua pesquisa, os recursos específicos do aprendizado digital baseado em game, o tornam altamente adequado para atender aos requisitos de aprendizado para o ensino e treinamento em fabricação. De fato, graças ao seu alto nível de interação, a colaboração entre os alunos pode ser ativada, atribuindo diferentes funções aos usuários e fazendo-os trabalhar juntos para alcançar um objetivo comum. A proatividade é altamente estimulada através do estabelecimento de um conjunto de metas finais a serem alcançadas seguindo uma sequência de tarefas diferentes. Os comentários sobre as ações dos alunos são continuamente fornecidos por um sistema de pontuação e consultoria em tempo real, que permite ao aluno refletir sobre suas ações e procurar imediatamente soluções alternativas. Além disso, o ambiente digital e a

orientação para a solução de problemas são ideais para propor situações realistas e exemplos atualizados. Em particular, a visualização da dinâmica complexa do sistema e do sistema (por exemplo, logística, gerenciamento de operações), de outra forma difícil de ser representada, pode ser ativada. A variedade de atividades de aprendizagem a serem propostas é garantida pela alta modularidade dos objetos de aprendizagem que podem ser integrados no ambiente virtual.

A falta de infraestrutura de tecnologia de informação e comunicação é um desafio recorrente em países em desenvolvimento, visto que para o Brasil, o desafio está entre os principais. No estudo de Nafchi e Mohelská (2018), em uma comparação entre um país desenvolvido nesse caso o Japão com um país em desenvolvimento, o Iran, a falta de infraestrutura tem sido um desafio que não permite com que a estratégia iraniana Vision 2025, promova o desenvolvimento para o país. No entanto, uma solução para uma melhor infraestrutura entre outros desafios, é a abertura para os investidores estrangeiros que podem trazer recursos financeiros e investir em áreas que o país não desenvolveu e ou não consegue desenvolver, como a tecnologia da informação e comunicação.

O retorno do investimento é uma solução proposta por Illa et al. (2018), segundo o autor as análises dever ser realizadas analisando primeiro o custo da plataforma, caso uma organização decida optar por uma plataforma IoT em “pacote”. Se for para o *PaaS* (Plataforma como Serviço), haverá cobranças recorrentes anuais. Se eles decidem optar por uma plataforma de código aberto, precisam pagar pelo suporte. O segundo é o custo de implantação, que inclui o custo para desenvolver aplicações práticas ou caso de uso. Outros incluem custo de suporte contínuo, custo associado à equipe que aprimorará a solução e o custo para contratar PMEs relevantes (Especialistas no Assunto) que alavancarão a solução. Os benefícios precisam ser medidos em termos de aumento potencial de receita e redução de custos.

De fato essas soluções devem ser adotadas, independente da tecnologia e ou princípio, e são boas práticas que colaboram em uma implantação correta da Indústria 4.0. É importante que gradativamente os desafios sejam tratados e solucionados seja pelos atores que fornecem tecnologias, seja pelos atores que utilizam, seja pelos atores que fornecem serviços. Superando os desafios e aumentando o nível de tecnologias presentes na indústria brasileira, o desenvolvimento industrial e conseqüentemente o desenvolvimento econômico será o resultado da escolha por boas soluções na superação dos desafios.

## 6. CONCLUSÕES

Esse trabalho busca identificar e analisar os desafios da Indústria 4.0 no contexto da indústria de transformação ou indústria de manufatura, de maneira ampla no entendimento de quais são os desafios principais e mais importantes no contexto nacional. Os desafios da Indústria 4.0 dirigidos à indústria de transformação não apenas são exclusivos do contexto organizacional ou técnico, mas também desafios estratégicos, como os investimentos e questões legais são importantes para o desenvolvimento dessa revolução industrial.

### 6.1 OBJETIVOS PROPOSTOS E PRINCIPAIS RESULTADOS

O objetivo geral dessa pesquisa é identificar e analisar os desafios na adoção das tecnologias da Indústria 4.0 na indústria de transformação do Brasil, pesquisando através de um *survey* com os fornecedores de tecnologias, que são os principais atores que lidam com as questões vividas pelos usuários no momento da adoção das soluções tecnológicas e princípios nas empresas brasileiras. O objetivo foi alcançado, os desafios foram identificados e os fornecedores de tecnologias foram fundamentais para as contribuições teóricas e gerenciais desse trabalho.

Para o objetivo em questão, além da revisão sistemática preliminar referente ao estado da arte na literatura nacional e internacional, foram coletados dados através de um *survey* realizado com os fornecedores de tecnologias da Indústria 4.0, para entender quais são os desafios do seu ponto de vista e, além disso, qual o grau de importância que os dez desafios mais frequentes identificados pela literatura possuem em sua perspectiva.

As discussões na sessão anterior apresentaram a comparação dos desafios identificados pelo *survey* com fornecedores de tecnologias baseando em desafios da literatura internacional. Poucos desafios apontados pelos fornecedores de tecnologia aparecem na literatura nacional, uma hipótese é que a literatura nacional é menor e está em desenvolvimento, além dos estudos ainda estarem em um baixo grau de maturidade.

Com as repostas abertas dos fornecedores de tecnologia, do seu ponto de vista foi possível identificar uma tendência dos desafios brasileiros, cerca de 30% dos desafios mais frequentes estão distribuídos em três desafios que representam 20% e estão classificados na dimensão organizacional referente à mão-de-obra e maturidade. Já o mais frequente, que

representa 10% é um desafio que está classificado na dimensão técnica, e é referente a infraestrutura. Uma vez superado o desafio da infraestrutura tecnológica, a indústria brasileira terá um caminho para que os outros desafios sejam enfrentados, resultando em um trabalho com maior capacidade de solucionar as dificuldades ocorridas em cada um dos desafios.

Já para entender quais são os desafios mais importantes entre os dez selecionados na revisão bibliométrica e sistemática apresentada, foram submetidos aos especialistas, para realizar o apontamento em uma escala *likert* de cinco opções, para identificar o grau de importância de acordo com o seu critério e conhecimento. Então foi utilizada a análise das medidas descritivas, para verificar entre os desafios, quais apresentavam a maior média e mediana, além de verificar qual o menor desvio padrão, obtendo ao final os desafios melhores qualificados. O resultado obtido foi o desafio segurança e integridade de dados e qualificação de habilidades humanas.

No entanto com os mesmos dados coletados, foi realizada uma análise multivariada para efetuar uma análise de agrupamentos através do método de Ward, para então verificar se algum dos desafios submetidos aos especialistas, pudessem se destacar de acordo com a estratégia de agrupamento utilizada, ou seja, surgindo apenas quatro grupos em função do número reduzido de amostras. Segurança e integridade de dados e qualificação de habilidades humanas aparecem em pelo menos dois grupos, além disso, os desafios segurança e propriedade da informação e desenvolvimento de habilidades humanas completam os desafios mais importantes da Indústria 4.0. Ainda na análise de agrupamento, algumas variáveis que foram submetidas no questionário aos fornecedores, ou seja, foram utilizadas para moderar os grupos na tentativa de encontrar algum resultado diferente, porém apenas segurança e propriedade dos dados não aparecem nessa nova condição.

## 6.2 CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS

A Indústria 4.0, ainda é uma estratégia com muitas questões a serem discutidas, que em um primeiro momento as discussões parecem avançar em torno de questões técnicas, mas ao aprofundar o contexto teórico fica notório que essa estratégia, de fato pode ser considerada como uma verdadeira revolução industrial, como muitos contextos sendo abordados. Esse trabalho revisou a literatura através dos fundamentos econômicos e da origem da automação

industrial através da manufatura avançada e a sua evolução, ou seja, a estratégia Indústria 4.0 e suas tecnologias e princípios.

Esse trabalho considera que a adoção da Indústria 4.0 está diretamente relacionada com o desenvolvimento econômico, já que uma vez que a estratégia da indústria seja adotada através das tecnologias e princípios, seu desempenho e competitividade melhoram, podendo aumentar a contribuição para os resultados do PIB industrial e conseqüentemente com o PIB total do país. O país com um melhor PIB representa a existência de uma melhor condição de vida e conseqüentemente a possibilidade do desenvolvimento.

A revisão de literatura em torno dos desafios da Indústria 4.0, forneceram os insumos para que a pesquisa *survey* pudesse ser realizada, pois permitiu elaborar um questionário com elementos auxiliares da Indústria 4.0. Foi possível encontrar os principais desafios e em alguns casos as soluções. Publicações importantes permitiram desenvolver uma base de dados com as dimensões conforme Luthra e Mangla (2018). E uma classificação foi também desenvolvida através da leitura das publicações para aumentar o poder de avaliação dos desafios a exemplo da demanda por sistemas. Além de apresentar os conceitos dos princípios e dos fatores habilitadores no entendimento geral da Indústria 4.0.

No *survey*, utilizando questões abertas para identificar os desafios da Indústria 4.0, foi solicitado aos respondentes entender quais são os desafios brasileiros, assim seis principais desafios foram relacionados e comparados com a literatura. Nas atribuições de importância pelos fornecedores de tecnologias nos desafios da literatura, a análise das medidas descritivas identificou os quatro desafios mais importantes segundo os respondentes. Já a análise de agrupamento e a análise de agrupamento utilizando variáveis dirigidas que são parte das respostas do *survey*, foram encontrados também quatro desafios mais importantes, os mesmos encontrados na análise das medidas descritivas, em função do número reduzido com dez mais quatro opções.

Importante destacar que novos desafios não presentes na literatura foram encontrados por meio das respostas abertas. Em síntese são desafios relacionados à necessidade de identificar aplicações práticas em geral. Alguns respondentes acreditam que as empresas não sabem o que deve ser feito para a Indústria 4.0 contribuir com sua organização, se tornando um desafio para adoção das tecnologias. Outra questão que possa estar ligada as aplicações práticas é a reestruturação das empresas, existe uma falta de conhecimento generalizado para

que as empresas se reestruturem para a Indústria 4.0, além de a própria reestruturação ser um grande desafio. Por fim, podemos destacar o prazo de implantação de novas tecnologias, o que na prática uma organização pode estar em um constante desenvolvimento se não houver um escopo de adoção claro.

### 6.3 CONTRIBUIÇÕES GERENCIAIS

De acordo com os índices científicos encontrados na literatura, existe uma alta demanda por novos sistemas que efetuem a gestão autônoma e inteligente tanto de produção quanto de máquinas e equipamentos de produção, demandando novos algoritmos e o desenvolvimento e aplicação prática de sistemas ciber físicos.

Para as empresas brasileiras que fornecem tecnologias da Indústria 4.0 para o setor automobilístico, indústria de transformação em geral, alimentício, usinagem e farmacêuticos, sendo esses os mais frequentes entre os respondentes, não se restringindo a esses setores, esse trabalho apresenta informações relevantes referente aos desafios da adoção da estratégia Indústria 4.0 no Brasil. Os principais resultados apontados nesse trabalho estão relacionados à tabela 40, que apresenta os desafios brasileiros segundo o grau de importância e segundo a visão empírica.

Percebe-se através desses resultados que o Brasil está representado por grandes desafios técnicos e organizacionais, ou seja, questões de segurança e a falta de infraestrutura de tecnologias da informação e comunicação, e que em colaboração para que esse desenvolvimento não se acelere, desenvolvimento de habilidades humanas em tecnologia auxilia na complexidade do país. Além desses desafios, questões estratégicas como a capacidade de investimentos das indústrias brasileiras e a qualificação de habilidades no país, potencializam as barreiras e dificuldades nacionais. Consequentemente em um ambiente de baixa maturidade organizacional e sem estratégia clara e definida para adoção de novas tecnologias, por parte da indústria, porém, não menos importante, por parte de ações governamentais, o país não avança em prol de uma indústria competitiva o suficiente, para colaborar com a economia e consequentemente com o desenvolvimento do país como um todo.

A estratégia Indústria 4.0 se tornou a grande esperança para melhores resultados na indústria por meio de decisões em adoção das novas tecnologias. Porém os desafios a serem enfrentados pela produção são de grande esforço, principalmente por ser um país onde falta qualificação necessária para adoção da estratégia e os debates devem ser realizados primeiramente em questões técnicas como a falta de infraestrutura e segurança. Além do mais, o país é bastante extenso e enquanto algumas empresas ainda vivem na revolução passada, outras como o caso das empresas automobilísticas podem estar chegando perto de um maior nível de maturidade em novas tecnologias.

#### 6.4 LIMITAÇÕES

A indústria 4.0, assim como as tecnologias atualmente tem uma evolução de maneira muito acelerada, nesse sentido, uma estratégia desse trabalho foi realizar uma revisão bibliométrica e sistemática limitando-se às publicações até o ano de 2018, já que ainda no mês de outubro de 2019, nos parâmetros estabelecidos conforme item 2.2 desse trabalho, a quantidade de publicações de 2019 já somavam 139, contra 136 do total de 2018, além de três publicações de 2020.

Outra limitação da literatura é com relação às publicações nacionais, que não apresentam muitos trabalhos relevantes relacionados aos estudos dos desafios da Indústria 4.0, não colaborando com o desenvolvimento da literatura e da pesquisa e desenvolvimento do país em uma área bastante importante nesse momento no contexto industrial.

O prazo para o planejamento, execução e encerramento das atividades que cominaram na obtenção dos resultados do *survey*, exatamente cinco meses, pode ser considerado como restrito apesar de ter sido possível obter informações relevantes para a busca dos desafios brasileiros, principalmente com relação às respostas abertas dos respondentes nesse tema, que foram de grande auxílio para as conclusões desse estudo.

Além do mais, a taxa de retorno dessa pesquisa *survey* foi de 45,2%, buscando fornecedores de tecnologias em três grandes feiras internacionais no Brasil, através de contatos profissionais e através da rede social LinkedIn. Segundo Jabbour (2009) e Trez (2000), uma pesquisa no Brasil alcançou, com uma base de dados da empresa (ABINEE), alcançou uma taxa de retorno de 44,2%.

Porém, para conseguir essa taxa expressiva de retorno, foi solicitada a participação aos respondentes em grande parte dos casos de maneira presencial, ou seja, nos seus estandes nas feiras. Outro ponto positivo nesse aspecto, é que para efetuar lembranças para as respostas da pesquisa, além de ter o contato telefônico dos respondentes, a plataforma web de coleta utilizada, também efetuava esse procedimento por e-mail. No entanto, mesmo assim, houve negativas nas respostas de contatos que se prontificaram em responder o questionário.

## 6.5 TRABALHOS FUTUROS

É importante que esse estudo tenha continuidade primeiramente realizando as revisões bibliográficas através de novos parâmetros nas pesquisas como as palavras-chave barreiras e ou dificuldades, além de adicionar novas bases de estudo como a *Web of Science*. Ainda é necessário adicionar resultados de pesquisas que observem os desafios dos CPSs e relacionados à dimensão organizacional e não somente à técnica.

Uma vez obtidos dados atualizados sobre os desafios, sugere-se incluir novos recortes de pesquisa como não só relacionados a outras tecnologias que demandam sistemas, mas também a demanda por tecnologias.

Esse estudo observou o grau importância dos dez desafios mais frequentes da Indústria 4.0 segundo a literatura internacional, conforme referencial teórico básico desse trabalho, porém, o importante para os próximos passos é aumentar o número de desafios para se medir a importância, já que os resultados demonstram um grau de importância para apenas quatro desafios. Uma vez adicionado um maior número de desafios, sugere-se adicionar outra medida de avaliação como o grau de urgência que o desafio demanda para sua solução e efetiva adoção da Indústria 4.0.

Em se estruturando uma avaliação com maior número de desafios e em duas medidas de avaliação, sugere-se como próximo passo submeter para as avaliações, os desafios de acordo com as dimensões utilizadas, ou seja, técnica, organizacional, estratégica e legal e ética e se possível selecionar dois grupos de respondentes, ou seja, já que como resultado dessa pesquisa os respondentes mais frequentes foram os das áreas comerciais, a segunda opção mais frequente que pode ser utilizada é a áreas técnica como os engenheiros.

Essa pesquisa apresentou as relações entre terceira e quarta revolução de maneira literal contribuindo para o vasto entendimento da quarta revolução industrial e suas estratégias com a Indústria 4.0. Enquanto a fronteira do conhecimento em Indústria 4.0 demanda tecnologias mais robustas como os sistemas CPSs, talvez a tecnologias mais complexas de todo o contexto técnico, o Brasil se depara ainda com questões técnicas menos complexas talvez, como a infraestrutura.

## REREFERÊNCIAS

AAZAM, M.; ZEADALLY S.; HARRAS K., A. Deploying Fog Computing in Industrial Internet of Things and Industry 4.0. IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 14, Issue 10, pp. 4674 – 4682, 2018.

ABIMAQ - 2018: <<http://abimaq.org.br/site.aspx/Feiras-2018-Metal-Mecanico>>. Acesso em 17/10/2019

ABIMAQ - 2019:<<http://www.abimaq.org.br/site.aspx/Feiras-2019-Metal-Mecanico>>. Acesso em 17/10/2019

ADAM, E., E. e SWAMIDASS, P., M. Assessing operations management from a strategic perspective. Journal of Management, Vol.15, n.2, pp.181-203, 1989.

AIRES, R.; MOREIRA, F.; FREIRE, P. Indústria 4.0: Competências requeridas aos profissionais da quarta revolução. VII Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação, 2017b.

AIRES, R.; MOREIRA, F.; FREIRE, P. Industrial 4.0: Desafios e tendências para a gestão do conhecimento. Seminário Universidades Corporativas e Escolas do Governo, Vol 1, pp. 224-247, 2017a.

ALLEN, R. C. The industrial Revolution in Miniature: The Spinning Jenny in Britain, France, and India, Vol. 69, Issue 4, pp. 901-927, 2009.

ALVES FILHO A. G.; NOGUEIRA E.; GOMES BENTO P. E. Análise das Estratégias de Produção de Seis Montadoras de Motores para Automóveis. Gestão e Produção, Vol. 18, n. 3, pp. 603-618, maio 2011.

ARMBRUST, M.; FOX, O.; GRIFFITH, R.; JOSEPH, A., D.; KATZ, Y.; KONWINSKI, A.; LEE, G.; PATTERSON, D.; RABKIN, A.; SOTOICA; I. Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing, Technical Report. University of California Berkeley, 2009.

ASHTON, T. S. Economic Flutuations, 1790-1850. JSTOR, Vol. 7, n. 3, pp. 377-381, 1955.

ASHTON, K. That 'internet of things' thing. Thing RFID Journal, vol. 22, 2009.

BABICEANU R., F.; SEKER, R. Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. Computers in Industry, Vol. 81, pp. 128-137, 2016.

BAHETI, R. e GILL, H. Cyber-physical systems. The Impact of Control Technology, Vol. 12, pp. 161-166, 2011.

BANGEMANN, T.; RIEDL, M.; THRON, M.; DIEDRICH, C. Integration of Classical Components into Industrial Cyber-Physical Systems. Proceedings of the IEEE, Vol. 104, Issue 5, 2016.

BASL, J. Pilot study of readiness of Czech companies to implement the principles of Industry 4.0. Manage. Prod. Eng. Rev. 8 (2), pp. 3–8, 2017.

BATISTA, S., C., F. SOFTMAT: um repositório de ensino médio - um instrumento em prol de posturas mais conscientes na seleção de software. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia). Campos dos Goytacazes, RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UEN, 229p. 2004.

BÉCUE, A.; FOURASTIER, Y.; PRAÇA, I.; SAVARIT, A. et al. "CyberFactory#1 — Securing the industry 4.0 with cyber-ranges and digital twins," 2018 14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS), Imperia, pp. 1-4, 2018.

BCB: Banco Central do Brasil. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/content/publicacoes/boxrelatoriosinf/ri201903b1p.pdf>>. Acesso em: 07/02/2019

BEDEKAR, A.; Opportunities & Challenges for IoT in India, Disponível em: <<http://www.startupcity.com/leaders-talk/-opportunities-challenges-for-iot-in-india-nid-3444.html>> Acessado em: 12 outubro 2017.

BENESOVÁ, A.; HIRMAN, M.; FRANTISEK, S.; TUPA, J. Analysis of Education Requirements for Electronics Manufacturing within Concept Industry 4.0. 41st International Spring Seminar on Electronics Technology, 2018.

BENITEZ, E. M2M (Machine to Machine) Cloud Gateway: aquisição de dados na nuvem. CONTROLE & Instrumentação, São Paulo, Ed. 181, pp.72-73, 2012.

BERG, L., P.; VANCE, J., M.; Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey. *Virtual Reality*, Vol. 21, pp. 1–17, 2017.

BIRAL, A.; CENTENARO, M.; ZANELLA, A.; VANGELISTA, L.; ZORZI, M. The challenges of M2M massive access in wireless cellular networks. *Digital Communications and Networks*, Vol 1, Issue 1, pp. 1–19, 2015.

BLATTGERSTE, J.; RENNER, P.; STRENGE, B.; PFEIFFER, T. In-Situ Instructions Exceed Side-by-Side Instructions in Augmented Reality Assisted Assembly. *PETRA '18 Proceedings of the 11th PErvasive Technologies Related to Assistive Environments Conference*, pp. 133-140, 2018.

BNDS, Banco Nacional de Desenvolvimento. Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-o-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil>>. Acesso em: 07/02/2019.

BORGES, R.; SILVA, R.; CASTRO, S. Utilização da classificação por distância euclidiana no mapeamento dos focos de arenização no setor sul da alta bacia do Rio Araguaia. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, INPE, pp. 3777-3784, 2007.

BOYER, K., K. Evolutionary Patterns of Flexible Automation and Performance: A Longitudinal Study. *Management Science*, Vol. 45, Issue 6, pp. 824-842, 1999b.

BOYER, K., K.; LEONG, G., K.; WARD, P., T.; KRAJEWSKI, L., J. Unlocking the Potential of Advanced Manufacturing Technologies. *Journal of Operations Management*, Vol. 15, Issue 4, pp. 331–347, 1997.

BOZARTH, C.; McDERMOTT, C. Configurations in manufacturing strategy: a review and directions for future research. *Journal of Operations Management*, Vol. 16, Issue 4, pp. 427–439, 1998.

BRANGER, J.; PANG, Z. From Automated Home to Sustainable, Healthy and Manufacturing Home: A New Story Enabled the Internet-of-Things and Industry 4.0. *Journal of Management Analytics*, Vol. 2 Issue4, pp. 314–332, 2015.

BRIZZI, F.; PEPPOLONI, L.; GRAZIANO, A.; DI STEFANO, E.; AVIZZANO, C., A.; RUFFALDI, E. Effects of Augmented Reality on the Performance of Teleoperated Industrial Assembly Tasks in a Robotic Embodiment. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, Vol. 48 , Issue 2 , pp. 197-206, 2018.

CANIZO, M.; CONDE, A.; CHARRAMENDIETA, S.; MIÑÓN, R.; CID-FUENTES, R., G.; ONIEVA, E. Implementation of a large-scale platform for cyber-physical system real-time monitoring. *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 52455-52466, 2019.

CAMPBELL, I.; BOURELL, D.; GIBSON, I.; Additive Manufacturing: Rapid Prototyping Comes of Age. *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 18, n. 4, pp. 255-258, 2012.

CANNELL, C., F.; KAHN R., L. Interviewing. In the handbook of social psychology, G Lindzey and E Aronson (Eds.), pp. 526–595. Reading: Addison-Wesley, 1968.

CETRULO, A.; NUVOLARI, A. Industry 4.0: revolution or hype? Reassessing recent technological trends and their impact on labour. *Journal of Industrial and Business Economics*, Vol. 46, pp. 391-402, 2019.

CHAÂRI, R.; ELLOUZE, F.; KOUBÂA, A.; QURESHI, B.; PEREIRA, N.; YOUSSEF, H.; TOVAR, E. Cyber-physical systems clouds: A survey. *Computer Networks*, Vol. 108, pp. 260–278, 2016.

CHEN, Y. Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers. *Engineering*, Vol. 3, Issue 5, pp. 588-595, 2017.

CHIANTELLA, N., Achieving integrated automation through computer networks. *SME/CASA Computer Integrated Manufacturing Series*, Vol. 1 n. 2, pp. 2-21, 1982.

CHIEN, -FU., HONG, -Y., GUO, -Z. A Conceptual Framework for “Industry 3.5” to Empower Intelligent Manufacturing and Case Studies. *Procedia Manufacturing* Vol. 11, pp. 2009-2017, 2017.

CHIN-FU Ho. Information technology implementation strategies for manufacturing organizations: A strategic alignment approach. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 16, Issue: 7, pp.77-100, 1996.

COLOMBO, A., W.; SCHLEUTER, D.; KIRCHER, M. An Approach to Qualify Human Resources Supporting the Migration of SMEs into an Industry 4.0-compliant

Company Infrastructure. 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp. 3761-3766, 2015.

CONSTANTINE, C.; Big data: an information security context. Network Security, Vol. 2014, Issue 1, pp. 18-19, 2014.

CONTAS NACIONAIS IBGE. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas\\_Nacionais](ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais)> Acesso em: 05 dez. 2017.

CNI Sondagem: Indústria 4.0: novo desafio para a indústria brasileira. Confederação Nacional da Indústria. – Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/sondesp-66-industria-4-0/>> Acesso em: 10/04/2018.

DALENOGARE, L., S.; BENITEZ, G., B.; AYALA, N., F.; FRANK, A., G. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. International Journal of Production Economics, Vol. 204, pp. 383-394, 2018.

DAWSON, T.; Industry 4.0 Opportunities and Challenges for Smart Manufacturing. Disponível em: <<http://blog.ihs.com/q13-industry-40-opportunities-and-challenges-for-smart-manufacturing>>. Acesso em: 14 de Novembro de 2017.

DAVENPORT, T., H. Big Data at Work: Dispelling the Myth, Uncovering the Opportunities. Harvard Business School Publishing Company, Boston, MA: Harvard, 2014.

DE SILVA, R., K., J.; RUPASINGHE, T., D.; APEAGYEI, P. A collaborative apparel new product development process model using virtual reality and augmented reality technologies as enablers. International Journal of Fashion Design, Technology and Education, Vol 12, Issue 1, pp. 1-11, 2019.

DEAN, J., W., Jr.; SNELL, S. A. The strategic use of integrated manufacturing: an empirical examination. Strategic Management Journal, Vol. 17, pp.459-480, 1996.

DEAN, J. W., Jr. e SUSMAN, G. I. Strategic responses to global competition: Advanced technology, organization design, and human resource practices'. In C. C. Snow (ed.) Strategy, Organization Design, and Human Resource Management. JAI Press, Greenwich, CT. pp. 297-332, 1989.

DELOITTE. Industry 4.0, Challenges and Solutions for the Digital Transformation and Use of Exponential Technologies; Deloitte: Swiss, Zurich, pp. 1-30, 2015.

DEMCHENKO Y., GROSSO, P., DE LAAT, C., MEMBREY P. Addressing Big Data issues in scientific data infrastructure. Proceedings of the International. Conf. on Collaboration Technologies and Systems, pp. 48-55, 2013.

DEVARAJ, S.; HOLLINGWORTH, D., G.; SCHROEDER, R., G. Generic manufacturing strategies: an empirical test of two configurational typologies. Journal of Operations Management, Vol. 19, Issue 4, pp. 427–452, 2001.

DEVARAJ, S.; HOLLINGWORTH, D., G.; SCHROEDER, R., G. Generic manufacturing strategies and plant performance. Journal of Operations Management. Vol. 22, Issue 3, 313-333, 2004.

DO VALE, M., N.; Agrupamento de Dados: Avaliação de Métodos e Desenvolvimento de Aplicativo para Análise de Grupos. Dissertação de Mestrado (Mestre em Ciência em Engenharia Elétrica). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), Rio de Janeiro, RJ, 2005.

DÖRNER, R.; BROLL, W.; GRIMM, P.; JUNG, B. Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2013.

DUAN, Q. Cloud service performance evaluation: status, challenges, and opportunities – a survey from the system modeling perspective. Digital Communications and Networks, Vol. 3, pp. 101–111, 2017.

DUARTE, S., CRUZ-MACHADO, V. Exploring linkages between lean and green supply chain and the industry 4.0. In: International Conference on Management Science and Engineering Management, Springer, Cham, July, pp. 1242–1252, 2017.

EHMANN, D.; WITTENBERG, C. The idea of Virtual Teach-In in the field of industrial robotics. 2018 IEEE 14th International Conference on Control and Automation, June 12-15, Anchorage, Alaska, USA, 2018.

ESMAEILIAN, B.; BEHDAD, S.; WANG, B. The evolution and future of manufacturing: a review. Journal of Manufacturing System, Vol. 39, pp. 79-100, 2016.

FECHINE, J.; GALVÍNCIO, J. Agrupamento da precipitação mensal da bacia hidrográfica do rio Brigida-Pe, através da multivariada. Revista Brasileira de Geografia Física Recife-PE. Vol. 1 n. 1, Mai/Ago, pp. 39-46, 2008.

FERNÁNDEZ-MIRANDA, S.; MARCOS, M.; PERALTA, M., E.; AGUAYO, F. The challenge of integrating Industry 4.0 in degree of mechanical engineering. *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, pp. 1229-1236, 2017.

FITE-GEORGEL, P. Is there a Reality in Industrial Augmented Reality? 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 26 -29 October, pp. 201-210, 2011.

FLORES ITUARTE, I.; SALMI, M.; BALLARDINI, R., M.; TUOMI, J.; PARTANEN, J. Additive manufacturing in Finland recommendations for a renewed innovation policy. *Physics Procedia*, Vol. 89, pp. 70-79, 2017.

FORZA, C. Survey research in operations management: a process-based perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22 n. 2, pp. 152-194, 2002.

FRANCALANZA, E.; BORG, J.; CONSTANTINESCU. A knowledge-based tool for designing cyber physical production systems. *Computers in Industry*, Vol. 84, pp. 39-58, 2017.

FRANK, A., G.; DALENOGARE, S., L.; AYALA, N., F.; Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, Vol. 210, pp. 15–26, 2019.

FREITAS, A., L., P.; RODRIGUES, S., G. A avaliação da confiabilidade de questionário: uma análise utilizando o coeficiente alfa de Cronbach. XII SIMPEP, 2005

FROHM, J.; STAHR, J.; WINROTH, M. Levels of automation in manufacturing. *Ergonomia – Na International Journal of Ergonomics and Human Factors*, Vol. 30, Issue 3, 2008.

GAO, W.; ZHANG, Y.; RAMANUJAN, D.; RAMANI, K.; CHEN, Y. et al. The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *Computer-Aided Design*, Vol. 69, pp. 65–89, 2015.

GARCÍA, M., V.; IRISARRI, E.; PÉRES, F.; ESTÉVEZ, E.; MARGA, M. OPC-UA communications integration using a CPPS architecture. *IEEE Ecuador Technical Chapters Meeting*, 2016

GATTULLO, M.; SCURATI, G., W.; FIORENTINO, M.; UVA, A., E.; FERRISE, F.; BORDEGONI, M. Towards augmented reality manuals for industry 4.0: A methodology. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 56, pp. 276–286, 2019.

GAUCH, H., G. *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 298p, 1982.

GEISSBAUER, R.; VEDSO J.; SCHRAUF S. *Industry 4.0: building the digital enterprise: 2016 global industry 4.0 survey*; PwC, Munich, 2016. Disponível em: <<https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>> Acesso em: 07/02/2019.

GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management* Vol. 29, n. 6, 2018 pp. 910-936, 2018.

GIL, A.C. “Como elaborar projetos de pesquisa”. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GILCHRIST, A. *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*, Springer, Heidelberg, 2016.

GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F.; Uma análise dos sistemas de planejamento e controle da produção em uma grande empresa de materiais de escrita. *Anais do XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP*, 2002.

GÖLZER, P.; CATO, P.; AMBERG, M.; Data processing requirements of industry 4.0. *Twenty-Third European Conference on Information Systems (ECIS)*, Münster, Germany, pp. 1-13, 2015.

GROOVER, M., P. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Second ed. Prentice Hall, 2001.

GRONAU, N.; ULLRICH, A; VLADOVA, G. Prozessbezogene und visionäre Weiterbildungskonzepte im Kontext Industrie 4.0, in H. Meier pub.: *Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt*, Gito-Verlag, pp. 125-143, 2015.

GTAI (Germany Trade & Invest). *Industries 4.0-Smart Manufacturing for the Future*. 2014.

GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANISWAMI.; Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, Vol. 29, Issue 7, pp. 1645-1660, 2013.

GUO, N.; LEU, M., C. Additive manufacturing: technology, applications and research needs. *Frontiers of Mechanical Engineering*, Vol. 8, Issue 3, pp. 215–243, 2013.

HABIB, M., K.; CHIMSOM, C. Industry 4.0: Sustainability and Design Principles. 20th International Conference on Research and Education in Mechatronics, 2019.

HAIR JR., J., F.; BLACK, W., C.; ANDERSON, R., E.; THATHAM, R., L. Análise multivariada de dados. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAYES, B., E. Medindo a satisfação do cliente: desenvolvimento e uso de questionários. *Quality Mark*, Rio de Janeiro, 1995.

HAYES, R. H.; PISANO, G.; UPTON, D.; WHEELWRIGHT, S. Em busca da vantagem competitiva: produção, estratégia e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2008.

HAYES, R., H.; WHEELWRIGHT S., C. Link Manufacturing Process and Product Life Cycles. *Harvard Business Review*, pp. 133-140, 1979a.

HAYES, R., H.; WHEELWRIGHT S., C. Restoring our Competitive Edge: Competing Through Manufacturing. New York, NY: John Wiley & Sons, 1984.

HAYES, R., H.; WHEELWRIGHT S., C. The Dynamics of Product-Process Life Cycles. *Harvard Business Review*, pp. 127-136, 1979b.

HAVLE, C., A.; ÜÇLER, Ç. Enablers for Industry 4.0. 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 2018.

HECKLAU, F.; GALEITZKE, M.; FLACHS, S.; KOHL, H. Holistic approach for humanresource management in industry 4.0. *Procedia CIRP*, Vol. 54, pp. 1–6, 2016.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Working Paper, n. 01, 2016.

HOFMANN, W.; ULRICH, J., H.; LANG, S.; REGGELIN, T.; TOLUJEW, J. Simulation and Virtual Commissioning of Modules for a Plug-and-Play Conveying System. IFAC-PapersOnLine, Vol. 51, Issue 11, pp. 649-654, 2018.

HOLDREN, J. P. A national strategic plan for advanced manufacturing. A national advanced manufacturing portal, 2012. Disponível em: <[https://www.manufacturing.gov/sites/default/files/2018-01/nstc\\_feb2012.pdf](https://www.manufacturing.gov/sites/default/files/2018-01/nstc_feb2012.pdf)>. Acessado em: 07/02/2019.

HOMPEL, M. OTTO, B. Technik für die wandlungsfähige Logistik. Industrie 4.0. 23. Deutscher Materialfluss-Kongress, 2014

HORA, H.; MONTEIRO, G.; ARICA, J. Confiabilidade em questionários para qualidade: Um estudo com o coeficiente alfa de Cronbach. Produto & Produção, vol. 11, n. 2, p. 85-103, 2010.

HWANG. Kay Distributed and Cloud Computing from Parallel Processing to the Internet of Things. Massachusetts, USA: Editora ELSEVIER, 2012.

HUXTABLE, J.; SCHAEFER, D. On Servitization of the Manufacturing Industry in the UK. Procedia CIRP. Vol. 52, pp. 46-51, 2016.

IBM: VM History and Heritage. Disponível em: <<http://www.vm.ibm.com/history/>> Acesso em 05/02/2015

ILLA P.K., PADHI N. Practical Guide to Smart Factory Transition Using IoT Big Data and Edge Analytics. IEEE Access, Vol 6, pp. 55162 – 55170, 2018.

INAGAKI, T. Adaptive Automation: Sharing and Trading of Control. In: Hollnagel, E. (Ed.), Handbook of Cognitive Task Design. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, London, 2003.

INFOESTER: O que é virtualização e pra que serve? Disponível em: <<http://www.infowester.com/virtualizacao.php>> Acesso em 06/02/2015

ISLAM, S.; AL-MOHAMMED, M.; ISLAM, R.; BHATTACHARYA, M.; ALKHARABI, T., M.; BUHARI, S., M. Design of an Augmented Telerobotic Stereo vision System and Associated Security Concerns, IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications, pp. 1809-1814, 2015.

ISO/ASTM 52900. Additive manufacturing [online]. Online Browsing Platform. 2015. Acesso em 10/06/2018. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-astm:52900:ed-1:v1:en>>

IVANOV, D.; DOLGUI A.; SOKOLOV, B.; WERNER F.; IVANOVA M. A Dynamic Model and an Algorithm for Short-term Supply Chain Scheduling in the Smart Factory Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, Vol. 54, Issue 2, pp. 386–402, 2016.

JABBOUR, A. B. L. S. Prioridades competitivas da produção e práticas de gestão da cadeia de suprimentos: uma survey no setor eletroeletrônico brasileiro. 2009. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

JANSEN, C.; JESCHKE, S. Mitigating risks of digitalization through managed industrial security services. *AI and Society*, Vol. 33, Issue 2, pp. 163-173, 2018.

JAZDI, N. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. *IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, pp. 1-4, 2014.

JESCHKE, S.; BRECHER, C.; MEISEN, T.; ÖZDEMİR, D.; ESCHERT, T. Industrial internet of things and cyber manufacturing systems. *Industrial Internet of Things*, Springer, Heidelberg, pp. 3-19, 2016.

JIRKOVSKÝ, V.; OBITKO, M.; MARIK, V. Understanding data heterogeneity in the context of cyber-physical systems integration. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 13, Issue 2, pp. 660-667, 2017.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Alemanha, 2013.

KANG, H., S.; LEE, J., Y.; CHOI, S.; KIM, H.; PARK, J., H.; SON, J., Y.; KIM, B., H.; NOH, S., D. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing Green Tech*. Vol.3, n.1, pp. 111–128, 2016.

KANG, W.; KAPITANOVA, K.; SON, S., H. RDDS: a real-time data distribution service for cyber-physical systems. *IEEE Trans Ind Inf*, Vol. 8, Issue 2, pp. 393–405, 2012.

KAPLINSKY, R. *Automation: The technology and society*, Harlow, Longman, 1984.

KARAKÖSE, M.; YETIS, H. A cyberphysical system based mass-customization approach with integration of industry 4.0 and smart city. *Wireless Communications and Mobile Computing*, pp. 1-9, 2017.

KHAN, I.; BELQASMI, F.; GLITHO, R.; CRESPI, N.; MORROW, M.; POLAKOS, P. Wireless Sensor Network Virtualization: A Survey. *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, Vol. 18, n. 1, 2016.

KHAN, M., WU, X., XU, X., DOU, W. Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0. In: *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, May, IEEE, pp. 1–6, 2017.

KIEL, D., MÜLLER, J.M., ARNOLD, C., VOIGT, K.-I. Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. *International Journal of Innovation Management*, Vol. 21, Issue 08, pp.3–10, 2018.

KLOSE, M. Project “FlexiMon”: HARTING is researching into the production of the future. Harting KGaA, Espelkamp, Germany, 2014.

KOTHA, S. e ORNE, D. Generic manufacturing strategies: a conceptual synthesis. *Strategic Management Journal*, Vol.10, n.3, pp. 211–231, 1989.

KUMAR, V. The state of functional safety in Industry 4.0. Texas Instruments, p. 10, 2018.

KUSIAK, A. Smart Manufacturing. *International Journal of Production Research*, Vol. 56, Issue 1-2, pp. 508-517, 2017.

LASI, H.; FETTKE, P., KEMPER, H., -G., FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, Vol. 6, No. 4, pp. 239-242, 2014.

LEE, C., K., M.; ZHANG, S., Z.; NG, K., K., H. Development of an industrial Internet of things suite for smart factory towards re-industrialization. *Advances in Manufacturing*, Vol. 5, Issue 4, pp 335–343, 2017.

LEE, H., Real-time manufacturing modeling and simulation framework using augmented reality and stochastic network analysis. *Virtual Reality*, Vol. 23, Issue 1, pp 85–99, 2019.

LEE, J.; DAVARI, H.; SINGH, J.; PANDHARE, V. Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems, *Manufacturing Letters* Vol. 18, pp. 20-23, 2018.

LEITÃO, P.; COLOMBO, A., W.; KARNOUSKOS, S.; Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: prototype implementations and challenges. *Computers in Industry*, Vol. 81, pp. 11-25, 2016.

LENZ, J., WUEST, T., WESTÄMPER, E. Holistic approach to machine tool data analytics. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 48(C), pp.,180-191, 2018.

LI, L. China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of “Made-in-China 2025” and “Industry 4.0”. *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 135, pp. 66-74, 2018.

LI, S., e XU, L. *Securing the Internet of Things*. Syngress: Elsevier, 2017.

LI, X.; LI, D.; WAN, J.; VASILAKOS, A., V.; LAI, C-F.; WANG, S. A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0. *Wireless Networks*, Vol. 23, Issue 1, pp. 23-41, 2017.

LI, X; WAN, J. Proactive caching for edge computing-enabled industrial mobile wireless networks. *Future Generation Computer Systems*, Vol. 89, pp. 89–97, 2018.

LIAO, Y.; DESCHAMPS, F.; LOURES E.; RAMOS, L. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, Vol. 55, Issue 12, pp. 3609–3629, 2017.

LINDSTRÖM, V.; WINROTH, M. Aligning manufacturing strategy and levels of automation: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management*, Vol. 27, Issue 3-4, pp.148–159, 2010.

LINN, C., BENDER, S., PROSSER, J., SCHMITT, K., WERTH, D. Virtual Remote Inspection – A new Concept for Virtual Reality enhanced real-time Maintenance. 23rd International Conference on Virtual System & Multimedia, 2017.

LIU, C.; XU, X. Cyber-Physical Machine Tool – the Era of Machine Tool 4.0. The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems, *Procedia CIRP*, Vol. 63, pp.70 – 75, 2017.

LIU, J.; WANG, Q.; WAN, J.; XIONG, J. Towards Real-Time Indoor Localization in Wireless Sensor Networks. *IEEE 12th International Conference on Computer and Information Technology*, pp. 877-884, 2012

LOPES NUNES, M.; PEREIRA, A. C.; ALVES, A., C. Smart products development approaches for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, pp. 1215-1222, 2017.

LOVELAND, S.; DOW, E., M.; LEFRERE, F.; BEYER, D.; CHAN, P., F. Leveraging virtualization to optimize high-availability system configurations. *IBM Systems Journal*, Vol. 47, n 4, pp. 591–604, 2008.

LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, Vol. 6, pp. 1–10, 2017.

LU, Y.; XU, X. Resource virtualization: A core technology for developing cyber-physical production systems, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 47, pp. 128–140, 2018.

LUTHRA, S. e MANGLA, S., K. Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 117, pp. 168-179, 2018.

MACCARTHY, B. L.; FERNANDES, F. C. F. A multi-dimensional classification of production systems for the design and selection of production planning and control systems. *Production Planning and Control*, v. 11, n. 5, pp. 481-496, 2000.

MAEDA, Y.; KIKUCHI, H.; IZAWA, H.; OGAWA, H.; SUGI, M; ARAI, T. Plug & produce functions for an easily reconfigurable robotic assembly cell. *Assembly Automation*, Vol. 27, pp. 253–260, 2007.

MALHOTRA, N. *Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada*. Trad. Laura Bocco. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

MALÝ, I.; SEDLÁČEK, D.; LEITÃO, P. Augmented reality experiments with industrial robot in industry 4.0 environment. *IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics*, pp. 176-181, 2016.

MAJCHRZAK, A. e BORYS, B. Computer-aided technology and work: Moving the field forward.

International review of industrial and organizational psychology, Vol. 13, pp. 305–354, 1998.

MASON, J. . Qualitative Researching. Thousand Oaks: Sage, 2002.

MATTAR, F., N. Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento. 3. ed. Vol. 1, São Paulo: Atlas, 1996.

MAYER, S., H. Development of a completely decentralized control system for modular continuous conveyor systems. Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2009. Wissenschaftliche Berichte des Institutes für Fördertechnik und Logistiksysteme der Universität Karlsruhe (TH), 73. Karlsruhe: Univ.-Verl. Karlsruhe.

MELCHER, A. J., KHOUJA, M.; BOOTH, D., E. Toward a production classification system. Business Process Management Journal, Vol. 8, Issue: 1, pp.53-79, 2002.

MELL, P.; GRANCE, T. The NIST Definition of Cloud Computing, Tech. Rep., National Institute of Standards & Technology, 2011.

MEREDITH, J., R.; HILL, M., M. Justifying new manufacturing systems: A managerial approach. Sloan Management. Vol 28, Issue 4, pp. 49 61, 1987.

MEUSER, M.; NAGEL, U. ExpertInneninterviews — vielfach erprobt, wenig bedacht. Qualitativ-empirische Sozialforschung, pp. 441-471, 1991.

MICHE, M.; SCHREIBER, D.; HARTMANN, M. Core services for smart products. 3rd European Workshop on Smart Products. pp. 1–4, 2009.

MITTAL, S.; KHAN, M., A.; ROMERO, D.; WUEST, T. Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 233, Issue 5, pp. 1342-1361, 2017.

MOHAMED, M. Challenges and benefits of industry 4.0: An overview. International Journal of Supply and Operations Management, Vol. 5, Issue 3, pp. 256-265, 2018.

MOKTADIR, M., A.; ALI, S., M.; KUSI-SARPONG, S.; SHAIKH, M., A., A. Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. Process Safety and Environmental Protection, Vol. 117, pp. 730-741, 2018.

MOKYR, J. Editor's Introduction: The New Economic History and the Industrial Revolution. In *The British Industrial Revolution: An Economic Perspective*. Westview Press, pp. 1–127, 1999.

MONOSTORI, L. Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, Vol 17, pp. 9–13, 2014

MORENO, A.; VELEZ, G.; ARDANZA, A.; BARANDIARAN, I.; De INFANTE, Á., R.; CHOPITEA, R. Virtualisation process of a sheet metal punching machine within the Industry 4.0 vision. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, Vol. 11, n. 2, pp. 365-373, 2017.

MOSTERMAN, P., J.; ZANDER, J. Industry 4.0 as a Cyber-Physical System study. *Software and Systems Modeling*, Vol. 15, Issue 1, pp. 17-29, 2016.

MOURADIAN, C.; ERROUNDA, F., Z., BELQASMI, F., GLITHO, R. An Infrastructure for Robotic Applications as Cloud Computing Services. *IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, pp. 377-382, 2014.

MOURADIAN, C.; SAHA, T.; SAHOO, J.; ABU-LEBDEH, M.; GLITHO, R.; MORROW, M.; POLAKOS, P. Network Functions Virtualization Architecture for Gateways for Virtualized Wireless Sensor and Actuator Networks. *IEEE Network*, pp. 72-80, 2016.

MÜHLHÄUSER, M. *Smart Products: An Introduction*. Constructing Ambient Intelligence, pp. 158–164. Springer Berlin Heidelberg (2008).

MÜLLER, J. M. e VOIGT, K. –L. Sustainable Industrial Value Creation in SMEs: A Comparison between Industry 4.0 and Made in China 2025. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, Vol. 5, Issue 5, pp 659–670, 2018.

MÜLLER, J., M.; BULIGA, O.; D., VOIGT, K. –L. Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 132, pp. 2–17, 2018.

MÜLLER, J., M.; KIEL, D., VOIGT, K. –L. What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 10, Issue 1, pp. 1-24, 2018.

MURAUER, N. Design Thinking: Using Photo Prototyping for a user-centered Interface Design for Pick-by-Vision Systems. *PETRA '18 Proceedings of the 11th PErvasive Technologies Related to Assistive Environments Conference*, pp. 126-132, 2018.

NAFCHI, M., Z.; MOHELSKÁ, H. Effects of industry 4.0 on the labor markets of Iran and Japan. *Economies*, Vol. 6, Issue 3, pp. 1-13, 2018.

NAGY, J., OLÁH, J., ERDEI, E., MÁTÉ, D., POPP, J. The role and impact of industry 4.0 and the internet of things on the business strategy of the value chain — The case of Hungary. *Sustainability*, Vol. 10, Issue 10, pp. 3491, 2018.

NAKAYAMA, R. S. Oportunidades de atuação na cadeia de fornecimento de sistemas de automação para a Indústria 4.0 no Brasil. Tese (Doutorado em Ciências) Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 235p, 2017.

NAIR, A. e SWINK, M. Linking Internal Process Technology Development and the Use of AMT with Manufacturing Plant Performance—an Examination of Complementarities and Redundancies. *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol 54, Issue 4, pp. 742–755, 2007.

NEW, C. Word class manufacturing vs. Strategic trade-offs. *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 12, n. 6, pp. 19-31, 1992.

NICOLETTI, B. The future: procurement 4.0. In: *Agile Procurement*. Palgrave Macmillan, Cham, pp. 189–230, 2018.

NOGUEIRA, E.; ALVES FILHO, A. G.; TORKOMIAN, A. L. V. Empresas de revestimento cerâmico e suas estratégias competitivas e de produção. *Revista Gestão e Produção*, v. 8, n. 1, pp. 84-99, 2001.

NTIC, National Telecommunications and Information Administration. United States Department of Commerce. Disponível em: < <https://www.ntia.doc.gov/other-publication/2017/green-paper-fostering-advancement-internet-things>>. Acesso em: 07/02/2019.

NUZZI, C.; PASINETTI, S.; LANCINI, M.; DOCCHIO, F.; SANSONI, G. Deep Learning based Machine Vision: first steps towards a hand gesture recognition set up for Collaborative Robots. *Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT*, pp. 28-33, 2018.

OLIVEIRA, L.; ÁLVARES, A. Axiomatic Design Applied to the Development of a System for Monitoring and Teleoperation of a CNC Machine through the Internet.” *Procedia CIRP*, Vol. 53, pp. 198–205, 2016.

ONG, S., K.; YUAN, M., L.; NEE, A., Y., C. Augmented reality applications in manufacturing: a survey. *International Journal of Production Research*, Vol. 46, n. 10, pp. 2707–2742, 2008.

ONORI, M.; LOHSE, N.; BARATA, J.; HANISCH, C. The IDEAS project: plug & produce at shop-floor level. *Assembly Automation*, Vol. 32, pp. 124–134, 2012.

OSTERTAG, A. *Industry 4.0: Flexible production with Plug & Produce*. Festo AG & Co. KG, Esslingen am Neckar, Germany, 2014.

OZTEMEL, E. e GURSEV, S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, pp. 1-56, 2018.

PAELKE, V. *Augmented Reality in the Smart Factory: Supporting Workers in an Industry 4.0. Environment*. Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation, 2014.

PAL, D.; PATIL, N.; NIKOUKAR, M.; ZENG, K.; KUTTY, K., H.; et al. Na Integrated Approach to Cyber-Enabled Additive Manufacturing using Physics Based, Coupled Multi-Scale Process Modeling. *Proc. of SFF Symposium*, pp. 12-14, 2013.

PARK, -C. The Fourth Industrial Revolution and implications for innovative cluster policies. *AI & Society*, Vol 33, pp. 433–445, 2018.

PATCHA, A.; PARK, -M. An overview of anomaly detection techniques: Existing solutions and latest technological trends. *Computer Networks*, Vol. 51, pp. 3448–3470, 2007.

PEREIRA, T., BARRETO, L., AMARAL, A. Network and information security challenges within Industry 4.0 paradigm. *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, pp. 1253–1260, 2017.

PERES, R., S.; ROCHA, A., D.; LEITAO, P.; BARATA, J. IDARTS–Towards intelligent data analysis and real-time supervision for industry 4.0. *Computers in Industry*, Vol. 101, pp. 138–146, 2018.

PERINI, S.; LUGLIETTI, R.; MARGOUDI, M.; OLIVEIRA, M.; TAISCH, M.; Training advanced skills for sustainable manufacturing: A digital serious game. *Procedia Manufacturing*, Vol. 11, pp. 1536–1543, 2017.

PFOHL, H., C.; YAHSI, B.; KURNAZ, T. Concept and diffusion-factors of Industry 4.0 in the supply chain. In: *Dynamics in Logistics*. Springer International Publishing, pp. 381–390, 2016.

POPA, S.; SOTO-ACOSTA, P.; MARTINEZ-CONESA, I. Antecedents, moderators, and outcomes of innovation climate and open innovation: an empirical study in SMEs. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* Vol. 118, pp. 134–142, 2017.

PILLONI, V. How data will transform industrial processes: Crowdsensing, crowdsourcing and big data as pillars of industry 4.0. *Future Internet*, Vol. 10, Issue 3, pp. 1–14, 2018.

PRIGGEMEYER, M., LOSCH, D., ROßMANN, J. Interactive Calibration and Visual Programming of Reconfigurable Robotic Workcells. *Proceedings of the 2018 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, Auckland, New Zealand, July, pp. 9-12, 2018.

RIBEIRO, L.; BJORKMAN, M. Transitioning from Standard Automation Solutions to Cyber-Physical Production Systems: An Assessment of Critical Conceptual and Technical Challenges. *IEEE Systems Journal*, Vol. 12, No. 4, pp. 3816-3827, 2018.

RIBEIRO, L.; HOCHWALLNER, M. On the design complexity of cyberphysical production systems. *Complexity*, pp. 1-13, 2018.

RIEL, A.; RIO, M. Design to environment: modelling approaches to support environmental integration in the design process. *Conference proceedings at the 15<sup>th</sup> AIP la plagne Colloque*, France, 2017.

RIO, M. A framework for ecodesign: An interface between LCA and design process. *Annals of faculty engineering*. Vol. 1, n. 1, 2011.

RITZMAN, L. P., SAFIZADEH, M. H. Linking process choice with plant-level decisions about capital and human resources. *Production and Operations Management*, Vol 8, Issue 4, pp. 374-392, 1999.

ROESSLER, D. Aprimorando o Desempenho da Manufatura com Aplicativos Móveis de Gerenciamento de Informação. *MECATRÔNICA Atual*, São Paulo, Ed. 62, pp. 20-23, 2013.

ROMERO-GÁZQUEZ J., L.; BUENO-DELGADO M. V. Software architecture solution based on SDN for an industrial IoT scenario. *Wireless Communications and Mobile Computing*, pp. 1-12, 2018.

RÖSCHINGER, M.; KIPOURIDIS, O.; GÜNTNER, W., A. A service-oriented cloud application for a collaborative tool management system. *International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application*, 2016.

ROSSMANN, J., SCHLUSE, M. Virtual Robotic Testbeds: A foundation for e-Robotics in Space, in Industry – and in the woods. *Developments in E-systems Engineering*, pp. 496-501, 2011.

ROY, R., STARK, R., TRACHT, K., TAKATA, S., MORI, M. Continuous maintenance and the future – Foundations and technological challenges. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 65, Issue 2, pp. 667-688, 2016.

SADEGHI, A.-R., WACHSMANN, C., WAIDNER, M. (2015). Security and privacy challenges in industrial internet of things. In *Proceedings of the 52Nd Annual Design Automation Conference, DAC '15*, pp. 54:1–54:6, New York, NY, USA. ACM, 2015.

SÄFSTEN, K.; WINROTH, M.; STAHR, J. The content and process of automation strategies. *International Journal of Production Economics*, Vol. 110, n. 1, pp. 25-38, 2007.

SALVADOR, M., R.; CRUZ, J., J., M. Presence of industry 4.0 in additive manufacturing: technological trends analysis. *Dina Ingenieria e Industria*, Vol. 93. pp. 597-601, 2018.

SAURABH, V.; PRASHANT, A.; SANTOSH, B. Industry 4.0 – A Glimpse. 2nd *International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering. Procedia Manufacturing*, Vol. 20, pp. 233–238, 2018.

SCHLAEPFER, R., C. e KOCH, M. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. *Industry 4.0 Deloitte*, 2014. Vol 1, Issue 10, pp. 32, 2015.

SCHLEICH, B., ANWER, N.; MATHIEU, L.; WARTZACK, S. Shaping the digital twin for design and production engineering. *CIRP Annals*, Vol. 66, n. 1, pp. 141-144, 2017.

SCHLEIPEN, M.; LÜDER, A.; SAUER, O. et al. Requirements and concept for Plug-and-Work: Adaptivity in the context of Industry 4.0. *Automatisierungstechnik*, Vol. 63, Issue 10, pp. 801–20, 2015.

SCHMIDT, R.; MÖHRING, M.; HÄRTING, R., -C.; REICHSTEIN, C.; NEUMAIER, P.; JOZINOVIC, P. Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results. *BIS 18th International Conference on Business Information Systems*, Poznań, Springer International, pp. 16-27, 2015.

SCHWAB, K. “The Global Competitiveness Report 2017–2018” Disponível em: <<https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2017-2018>> Acesso em: 07/02/2019.

SEETHA LAKSHMI, R.; SIVAKUMAR, A.; RAJARAM, G.; SWAMINATHAN, V.; KANNAN, K. A novel hypergraph-based feature extraction technique for boiler flue gas components classification using PNN – A computational model for boiler flue gas analysis. *Journal of Industrial Information Integration* Vol. 9, pp. 35-44, 2018.

SEIDEL, E.; MOREIRA JR., F.; ANSUJ, A.; NOAL, M. Comparação entre o método Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. *Ciência e Natura*, UFSM, Vol. 30, Issue 1, pp. 7- 15, 2008.

SEITZ, -F.; NYHUIS, P. Cyber-Physical Production Systems Combined with Logistic Models – A Learning Factory Concept for an Improved Production Planning and Control. *Journal of Intelligent and Manufacturing* Vol. 32, pp. 92-97, 2015.

SELIGER, G. Nachhaltige industrielle Wertschöpfungsnetze, Tagungsband 12. *Produktionstechnisches Kolloquium PTK 2007*.

SEURING, S.; MÜLLER, M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 16, pp. 1699-1710, 2008.

SHERIDAN, T. Task analysis, task allocation and supervisory control. In: Helander, M., Landauer, T.K., Prabhu, P. (Eds.), *Handbook of Human–Computer Interaction*, second ed. Elsevier, Amsterdam, 1997.

SHI, X.; LI, X., L.; YANG, L.; LI, Z.; CHOI, J.; Y. 2012. Information Flow in Reverse Logistics: An Industrial Information Integration Study. *Information Technology and Management*, Vol. 13, Issue 4, pp. 217–232, 2012.

SKINNER, W. Manufacturing – The missing link in corporate strategy. *Harvard Business Review*, pp. 12-25, 1969.

KINNER, W. The focused factory. *Harvard Business Review*, pp.113-121, 1974.

LACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. Edição compacta. São Paulo: Atlas, 1999.

ŚLUSARCZYK, B. Industry 4.0—Are we ready? *Polish Journal of Management Studies*, Vol. 17, Issue 1, pp. 232-248, 2018.

SILVA, E. M.; SANTOS, F. C. A. Análise do alinhamento da estratégia de produção com a estratégia competitiva na indústria moveleira. *Revista Produção*, Vol. 15, n. 2, pp. 286-299, 2005.

SILVA E. M.; SANTOS F. C. A.; CASTRO M. Análise das Relações entre Estratégia de Produção, Práticas e Desempenho Operacional. *Revista Produção* v. 21, n. 3, pp. 502-516, 2012.

SILVA, F., L.; BARRIGA, G., D., C.; TORKOMIAN, A., L., V. Estratégia digital 'Indústria 4.0' e os desafios de adoção das tecnologias lideradas pelo sistemas Ciber-Físicos. II Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação, 2019, Águas de Lindóia. Anais do Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação, 2019. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/sengi/143692-estrategia-digital-industria-40-e-os-desafios-de-adocao-das-tecnologias-lideradas-pelos-sistema-ciber-fisicos/>> Acesso em: 21/10/2019.

SMALL, M., H.; CHEN, I., J. Investment justification of advanced manufacturing technology: An empirical analysis. *Journal of Engineering and Technology Management*, Vol. 12, pp. 27- 55, 1995.

SMALL, H., M.; YASIN, M., M. Advanced manufacturing technology: Implementation policy and performance. *Journal of Operations Management*, Vol. 15, Issue 4, pp. 349-370, 1997.

SIMONS, S.; ABÉ, P.; NESER, S. Learning in the AutFab – The Fully Automated Industrie 4.0 Learning Factory of the University of Applied Sciences Darmstadt. *Procedia Manufacturing*, Vol. 9, pp. 81-88, 2017.

SIMPSON, T., W.; WILLIAMS, C., B.; HRIPKO, M. Preparing industry for additive manufacturing and its applications: Summary & recommendations from a national science foundation workshop. *Additive Manufacturing*, Vol. 13, pp. 166-178, 2016.

SOLTANALI, H.; GARMABAKI, A., H., S.; THADURI, A.; PARIDA, A.; KUMAR, U.; ROHANI, A. Sustainable production process: An application of reliability, availability, and maintainability methodologies in automotive manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, pp. 1-16, 2018.

SOMMER, L. Industrial revolution-industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? *Journal Ind. Eng. Management*, Vol 8, Issue 5, pp.1512–1532, 2015.

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0, 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use, *Procedia CIRP* Vol. 40, pp. 536–541, 2016.

SUBAKTI, H.; JIANG, -R. Indoor Augmented Reality Using Deep Learning for Industry 4.0 Smart Factories. 42nd IEEE International Conference on Computer Software & Applications, pp. 63-68, 2018.

SULLIVAN D. *Industrial Automation*. National University of Ireland Galway, 2009  
Disponível em:  
<<https://pdfs.semanticscholar.org/9198/9bc786ff72868772d19d703acb450dc57bc7.pdf>>  
Acesso em: 07/02/2019.

TAO, F.; CHENG, J.; QI, Q.; ZHANG, M., ZHANG, H.; SUI, F. Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 94, No. 9-12, pp. 3563-3576, 2018.

TAO, F.; QI, Q. New IT driven service-oriented smart manufacturing: framework and characteristics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems (forthcoming)*, Vol. 49, Issue 1, pp. 81-91, 2017.

TARALLO, A.; MOZZILLO, R.; DiGIRONIMO, G.; DeAMICIS, R. A cyber-physical system for production monitoring of manual manufacturing processes. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, Vol. 12, pp. 1235–1241, 2018.

TERZIYAN, V.; GRYSKO, S.; GOLOVIANKO, M. Patented intelligence: Cloning human decision models for Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 48, pp. 204-217, 2018.

THAMES, L. e SCHAEFER, D. Industry 4.0: an overview of key benefits, technologies, and challenges. *Cybersecurity for Industry 4.0*, In: Thames L., Schaefer D. (eds), pp. 1-33, 2017.

THAMES, L. e SCHAEFER, D. Software-Defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, Vol. 52, pp. 12 – 17, 2016.

THEORIN, A.; BENGTSSON, K.; PROVOST, J.; LIEDER, M.; JOHNSON, C.; LUNDHOLM, T.; LENNART-SON, B. An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0. *International Journal of Production Research*. Vol. 55, Issue 5, 2017.

THOBEN, -D.; WIESNER, S.; WUESTT. “Industrie 4.0” and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. *Int. J. of Automation Technology*, Vol. 11, n.1, pp. 4-16, 2017.

TREZ, G. Alternativas estratégicas em marketing para o setor eletrônico no Rio Grande do Sul. *Revista eletrônica de administração*, Vol 6, n. 4, pp. 1-20, 2000.

TUPTUK, N.; HAILES, S. Security of smart manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems* Vol. 47, pp. 93–106, 2018.

TWIGG, D.; VOSS, C., A.; GRAHAM, M., W. Implementing Integrating Technologies: Developing Managerial Integration for CAD/CAM. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 12 Issue 7/8, pp.76-91, 1992.

UDO, G., J.; EHIE, I. C. Advanced manufacturing technologies. Determinants of implementation success. *Int J Operation Production Management*, Vol. 16, Issue 12, pp.6–26, 1996.

UNGER, H.; BÖRNER, F.; MÜLLER, E. Context Related Information Provision in Industry 4.0 Environments. *Procedia Manufacturing*, Vol. 11, pp. 796-805, 2017.

VADOUDI, K.; TROUSSIER, N.; ZHU, T., W. Toward sustainable manufacturing through PLM, GIS and LCA interaction. International Conference on Engineering, Technology and Innovation, 2014.

VARGHESE, A.; TANDUR, D. Wireless requirements and challenges in Industry 4.0. International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I), 2014.

VERBA, N.; CHAO, -M.; LEWANDOWSKI, J.; SHAH, N.; JAMES, A.; TIAN, F. Modeling industry 4.0 based fog computing environments for application analysis and deployment. Future Generation Computer Systems, Vol. 91, pp. 48–60, 2019.

WAN, J.; TANG, S.; SHU, Z.; LI, D.; WANG, S.; IMRAN, M.; VASILAKOS, A. V. Software-defined industrial Internet of Things in the context of industry 4.0. IEEE Sensors J., vol. 16, n. 20, pp. 7373–7380, 2016.

WAN, J.; YANG, J.; WANG, Z.; HUA, Q. Artificial intelligence for cloud-assisted smart factory. IEEE Access, Vol. 6, pp. 55419- 5430, 2018.

WAN, J.; YIN, B.; LI, D.; CELESTI, A.; TAO, F.; HUA, Q. An Ontology-Based Resource Reconfiguration Method for Manufacturing Cyber-Physical Systems. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 23, n. 6, pp. 2537-2546, 2018c.

WANG, B. The Future of Manufacturing: A New Perspective. Engineering, Vol. 4, pp. 722–728, 2018.

WANG, G.; GUNASEKARAN, A., NGAI, E.W. and PAPADOPOULOS, T. Big data analytics in logistics and supply chain management: certain investigations for research and applications. International Journal of Production Economics, Vol. 176, n. 1, pp. 98-110, 2016.

WANG, O., S., K., X., e NEE, A.Y.C. A comprehensive survey of augmented reality assembly research. In Advances in Manufacturing, Vol. 1, Issue 4, pp. 1-22, 2016.

WANG S.; OUYANG, J.; LI, D.; e LIU, C. An Integrated Industrial Ethernet Solution for the Implementation of Smart Factory. IEEE Access, Vol. 5, pp. 25455–25462, 2017.

WANG, S.; WAN, J.; LI, D.; ZHANG, C. Implementing smart factory of industrie 4.0:an outlook. International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol 12, Issue 1, 2016.

WANG, X., ONG, S., K.; NEE, A., Y., C. A comprehensive survey of augmented reality assembly research. Advances in Manufacturing, Vol. 4, Issue 1, pp 1–22, 2016.

WANT, R.; SCHILIT, B., N.; JENSON, S. Enabling the Internet of Things. *Computer*, Vol. 48, pp. 28-35, 2015.

WBG, Word Bank Group. Disponível em: <<https://data.worldbank.org>>. Acesso em: 17/10/2019.

WEE, D.; KELLY, R.; CATTEL, J.; BREUNIG, M. *Industry 4.0-How to Navigate Digitization of the Manufacturing Sector*, McKinsey & Company, 2015.

WEYER, S.; SCHMITT, M.; OHMER, M.; GORECKY, D. Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 48, Issue 3, pp. 579-584, 2015.

WILLIG, A.; MATHEUS, K.; WOLISZ, A. Wireless Technology in Industrial Networks. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 93, n. 6, 2005.

WINROTH, M. "On manufacturing strategies — Competing through inter-organizational collaboration". Ph.D. Thesis, Linköping Studies in Science and Technology, Dissertation No. 860, Linköping, Sweden. 2004.

WOLLSCHLAEGER, M.; SAUTER, T.; JASPERNEITE, J. The Future of Industrial Communication: Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0. *IEEE industrial electronics magazine*, pp. 17-27, 2017.

WOODWARD, J. *Industrial Organization*. Oxford University Press, Oxford. 1965.

WOODWARD, J. *Management and technology. Problems of Progress in Industry*. Series No. 3. Her Majesty's Stationery Office, London, 1958.

WU, D.; GREER, M., J.; ROSEN, D., W.; SCHAEFER, D. Cloud manufacturing: Strategic vision and state-of-the-art. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 32, pp. 564–579, 2013.

XU, L. D.; HE, W.; LI, S. Internet of Things in Industries: A Survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 10, n. 4, pp.2233-2243, 2014.

XU, L. D.; XU, E.L., Li, L. Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, Vol. 56, Issue 8, pp. 2941-2962, 2018.

XU, X. From cloud computing to cloud manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 28, pp. 75-86, 2011.

YIN, R., K. Case Study Research: Design and Methods. Thousand Oaks: Sage, 2009.

YIN, Y., STECKE, K., E.; LI, D. The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, Vol. 56, Issue 1–2, pp. 848–861, 2018.

YUE, X.; CAI, H.; YAN, H.; ZOU, C.; ZHOU, K. Cloud-assisted industrial cyber-physical systems: An insight. *Microprocessors and Microsystems*, Vol. 39, Issue 8, pp. 1262–1270, 2015.

ZEYDAN, E.; BASTUG, E.; BENNIS, M.; KADER, M., A.; KARATEPE, I., A.; ER, A., S.; DEBBAH, M. Big data caching for networking: moving from cloud to edge. *IEEE Communications Magazine*, Vol. 54, Issue 9, 2016.

ZHANG, L. A Framework to Model Big Data Driven Complex Cyber Physical Control Systems, *Proceedings of the 20th International Conference on Automation & Computing*, Cranfield University, Bedfordshire, UK, 12–13 September, 2014.

ZHANG Y.; QIAN, C.; LV, J.; LIU, Y. Agent and cyber-physical system based self-organizing and self-adaptive intelligent shopfloor. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 13, No. 2, 2017.

ZHANG, Y.; ZHANG, G.; LIU, Y.; HU, D. Research on services encapsulation and virtualization access model of machine for cloud manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 28, Issue 5, pp 1109–1123, 2017.

ZHONG, R., Y.; XU, X.; KLOTZ, E.; NEWMAN, S., T. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, Vol. 3, 616–630, 2017.

ZHOU, H.; SHOU, Y.; ZHAI, X.; LI, L.; WOOD, C.; WU, X. Supply Chain Practice and Information Quality: A Supply Chain Strategy Study. *International Journal of Production Economics*, Vol. 147 (Part C), pp. 624–633, 2014.

ZHOU, K.; LIU, T.; ZHOU, L. Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges. *12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, pp. 2147–2152, 2016.

## APÊNDICE A

1.QUAL É A TECNOLOGIA MAIS IMPORTANTE DE FORNECIMENTO DA SUA EMPRESA PARA A INDÚSTRIA 4.0?

( ) Principal Tecnologia Desenvolvida/Fornecida

( ) Segunda Principal Tecnologia Desenvolvida/Fornecida

( 1 ) IoT – Internet of Things

( 2 ) CPS - Sistemas Ciber-Físicos

( 3 ) Big Data

( 4 ) Redes s/ Fio

( 5 ) Redes c/ Fio

( 6 ) Cibersecurity

( 7 ) Computação em Nuvem

( 8 ) Inteligência Artificial

( 9 ) Manufatura Aditiva

(10) Virtualização

2.QUAL O PRINCÍPIO ASSOCIADO À TECNOLOGIA FORNECIDA/DESENVOLVIDA POR SUA EMPRESA?

( ) Principal Princípio Desenvolvido/Fornecido

( ) Outra Princípio Desenvolvido/Fornecido

( 1 ) Fabrica Inteligente

( 2 ) Capacidades em Tempo Real

( 3 ) Modularidade



b) Qualificação de habilidade humanas. Sim ( ) Não ( )

( ) 5      ( ) 4      ( ) 3      ( ) 2      ( ) 1

c) Capacidade de investimento em tecnologias industriais. Sim ( ) Não ( )

( ) 5      ( ) 4      ( ) 3      ( ) 2      ( ) 1

d) Segurança e propriedade das informações. Sim ( ) Não ( )

( ) 5      ( ) 4      ( ) 3      ( ) 2      ( ) 1

e) Desenvolvimento de habilidades humanas. Sim ( ) Não ( )

( ) 5      ( ) 4      ( ) 3      ( ) 2      ( ) 1

f) Escalabilidade de rede. Sim ( ) Não ( )

( ) 5      ( ) 4      ( ) 3      ( ) 2      ( ) 1

g) Flexibilidade de tecnologias para customização. Sim ( ) Não ( )

( ) 5      ( ) 4      ( ) 3      ( ) 2      ( ) 1

h) Integração de novas tecnologias em processos existentes. Sim ( ) Não ( )

( ) 5      ( ) 4      ( ) 3      ( ) 2      ( ) 1

i) Fornecimento de equipamentos para o mercado externo. Sim ( ) Não ( )

( ) 5      ( ) 4      ( ) 3      ( ) 2      ( ) 1

j) Benefícios de investimentos não claros. Sim ( ) Não ( )

( ) 5      ( ) 4      ( ) 3      ( ) 2      ( ) 1

k) Aumento da dinâmica competitiva e mudança do ambiente de mercado.

Sim ( ) Não ( )

( ) 5      ( ) 4      ( ) 3      ( ) 2      ( ) 1

9.ESCREVA DOIS DESAFIOS, ALÉM DESTES QUE VOCÊ CONSIDERA PELA SUA EXPERIÊNCIA NA EMPRESA ATUAL E MARQUE COM O X QUAL A ESCALA DE IMPORTÂNCIA (1-5) DO DESAFIO.

---

5       4       3       2       1

---

5       4       3       2       1

10.MARQUE COM O X QUAL A CORRETA DIMENSÃO QUE ADEQUA A CADA UM DOS DESAFIOS.

a) Segurança e Integridade de dados.

Técnica     Organizacional     Estratégica     Questões Legais / Éticas

b) Qualificação de habilidade humanas.

Técnica     Organizacional     Estratégica     Questões Legais / Éticas

c) Capacidade de investimento em tecnologias industriais.

Técnica     Organizacional     Estratégica     Questões Legais / Éticas

d) Segurança e propriedade das informações.

Técnica     Organizacional     Estratégica     Questões Legais / Éticas

e) Desenvolvimento de habilidades humanas.

Técnica     Organizacional     Estratégica     Questões Legais / Éticas

f) Escalabilidade de rede.

Técnica     Organizacional     Estratégica     Questões Legais / Éticas

g) Flexibilidade de tecnologias para customização.

Técnica     Organizacional     Estratégica     Questões Legais / Éticas

h) Integração de novas tecnologias em processos existentes.

( ) Técnica ( ) Organizacional ( ) Estratégica ( ) Questões Legais / Éticas

i) Fornecimento de equipamentos para o mercado externo

( ) Técnica ( ) Organizacional ( ) Estratégica ( ) Questões Legais / Éticas

j) Benefícios de investimentos não claros.

( ) Técnica ( ) Organizacional ( ) Estratégica ( ) Questões Legais / Éticas

k) Aumento da dinâmica competitiva e mudança do ambiente de mercado.

( ) Técnica ( ) Organizacional ( ) Estratégica ( ) Questões Legais / Éticas

l) \_\_\_\_\_.

( ) \_\_\_\_\_

m) \_\_\_\_\_.

( ) \_\_\_\_\_

11. MARQUE COM O X EM QUAL CLASSIFICAÇÃO CORRETA SE ENQUADRA OS DESAFIOS.

a) Segurança e Integridade de dados.

( ) Produção ( ) Mercado de Tecnologia ( ) Segurança ( ) Integração

b) Qualificação de habilidade humanas.

( ) Mercado de Tecnologia ( ) Mão-de-Obra ( ) Investimentos ( ) Padronização

c) Capacidade de investimento em tecnologias industriais.

( ) Redes ( ) Demanda por Sistemas ( ) Investimentos ( ) Mercado de Trabalho

d) Segurança e propriedade das informações.

( ) Segurança ( ) Integração ( ) Demanda por Tecnologias ( ) Redes

e) Desenvolvimento de habilidades humanas.

( ) Aquisição de dados ( ) Mão-de-Obra ( ) Integração ( ) Mercado de Trabalho

f) Escalabilidade de rede.

( ) Redes ( ) Padronização ( ) Segurança ( ) Virtualização

g) Flexibilidade de tecnologias para customização.

( ) Pesquisa e Desenvolvimento ( ) Produção ( ) Virtualização ( ) Redes

h) Integração de novas tecnologias em processos existentes.

( ) Demanda por Tecnologia ( ) Redes ( ) Demanda por Tecnologia ( ) Integração

i) Fornecimento de equipamentos para o mercado externo

( ) Produção ( ) Mercado de tecnologia ( ) Mercado de trabalho ( ) Segurança

j) Benefícios de investimentos não claros.

( ) Investimentos ( ) Aquisição de dados ( ) Integração ( ) Virtualização

k) Aumento da dinâmica competitiva e mudança do ambiente de mercado.

( ) Mercado de Tecnologia ( ) Mão de Obra ( ) Produção ( ) Mercado de Trabalho

l) \_\_\_\_\_.

( ) \_\_\_\_\_

m) \_\_\_\_\_.

( ) \_\_\_\_\_

12.SUA EMPRESA DESENVOLVEU OU ESTÁ ATUALMENTE DESENVOLVIMENTO NOVAS SOLUÇÕES PARA A INDÚSTRIA 4.0? QUAIS TECNOLOGIAS?

13.A INDÚSTRIA BRASILEIRA ESTÁ REALMENTE DISPOSTA E ABERTA PARA INVESTIR NAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0?

14.QUAL FATOR É DECISIVO PARA QUE OCORRA A ADOÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0, LEGISLAÇÃO, BENEFÍCIOS DE PRODUÇÃO OU RETORNO DO INVESTIMENTO? QUAIS BENEFÍCIOS?

15. EM QUE FASE DO SEU CICLO DE VIDA A INDÚSTRIA 4.0 ESTÁ VIVENDO APÓS 8 ANOS DO SEU SURGIMENTO E 6 ANOS DA PRIMEIRA ESTRATÉGIA APRESENTADA?

- Início do desenvolvimento da indústria 4.0.
- Pleno desenvolvimento das tecnologias, princípios e aplicações.
- Tecnologias desenvolvidas, com princípios e aplicações em desenvolvimento.
- Tecnologias e princípios desenvolvidos c/ aplicações em desenvolvimento.
- Todo o contexto da Indústria 4.0 em maturidade.

16. MARQUE COM O X EM QUAL TECNOLOGIA SE ENQUADRA OS DESAFIOS.

a) Desenvolvimento de mecanismos reconfiguráveis e auto organizáveis.

- Cibersecurity
- CPS - Sistemas Ciber-Físicos
- TIC-Tecnologia de Informação/Comunicação
- Inteligência Artificial
- IoT – Internet das Coisas

b) Capacidade de auto avaliação do sistema em normalidade e em perturbações.

- IoT – Internet das Coisas
- CPS - Sistemas Ciber-Físicos
- Realidade Virtual
- TIC-Tecnologia de Informação/Comunicação
- Inteligência Artificial

c) Capacidade semântica de explorar um conjunto de dados.

- Virtualização

( ) Redes c/ Fio

( ) CPS - Sistemas Ciber-Físicos

( ) Redes s/ Fio

( ) IoT – Internet das Coisas

d) Gerenciamento de dados heterogêneos com desempenho.

( ) TIC-Tecnologia de Informação/Comunicação

( ) Manufatura Aditiva

( ) IoT – Internet das Coisas

( ) Virtualização

( ) CPS - Sistemas Ciber-Físicos

e) Capacidade de integração de dados utilizando métodos ontológicos.

( ) Big Data

( ) Realidade Aumentada

( ) Cybersecurity

( ) IoT – Internet das Coisas

( ) CPS - Sistemas Ciber-Físicos

f) Integração e análise de dados em arquiteturas mistas.

( ) CPS - Sistemas Ciber-Físicos

( ) Cybersecurity

( ) TIC-Tecnologia de Informação/Comunicação

( ) Inteligência Artificial

( ) Computação em Nuvem

g) Interação de recursos no compartilhamento de funções.

Realidade Aumentada

CPS - Sistemas Ciber-Físicos

IoT – Internet das Coisas

Redes s/ Fio

Virtualização

h) Informações atravessadas em arquiteturas complexas de recursos de produção.

Realidade Virtual

Redes c/ Fio

CPS - Sistemas Ciber-Físicos

IoT – Internet das Coisas

Redes s/ Fio

i) Comunicação paralelas em arquiteturas complexas de recursos de produção.

CPS - Sistemas Ciber-Físicos

Virtualização

Redes s/ Fio

TIC-Tecnologia de Informação/Comunicação

IoT – Internet das Coisas

j) Instabilidade de sistema em análise de dados.

CPS - Sistemas Ciber-Físicos

Manufatura Aditiva

IoT – Internet das Coisas

Big Data

Robótica Industrial

k) Diferentes características de tempo entre sistemas de automação e sistemas de informação.

IoT – Internet of Things

Computação em Nuvem

TIC-Tecnologia de Informação/Comunicação

Virtualização

CPS - Sistemas Ciber-Físicos

l) Desenvolvimento de sistemas para avaliar variabilidades.

CPS - Sistemas Ciber-Físicos

Realidade Aumentada

Redes s/ Fio

IoT – Internet das Coisas

Cibersegurança

m) Cobertura limitada no processo de simulação do Sistema.

Redes s/ Fio

CPS - Sistemas Ciber-Físicos

Inteligência Artificial

IoT – Internet of Things

Big Data

n) Funções de modelagem para programação para a operação da produção no sistema.

TIC-Tecnologia de Informação/Comunicação

( ) Redes s/ Fio

( ) IoT – Internet das Coisas

( ) CPS - Sistemas Ciber-Físicos

( ) Realidade Aumentada

o) Padronização do controle e monitoramento do processo.

( ) Cybersecurity

( ) TIC-Tecnologia de Informação/Comunicação

( ) Realidade Virtual

( ) CPS - Sistemas Ciber-Físicos

( ) Manufatura Aditiva

p) Capacidade de verificação e validação no processo envolvendo transações automáticas entre sistemas integrados.

( ) Manufatura Aditiva

( ) IoT – Internet das Coisas

( ) Big Data

( ) Cybersecurity

( ) CPS - Sistemas Ciber-Físicos

## APÊNDICE B

Framework dos desafios técnicos em demanda por sistemas para CPS (Sistemas Ciber-Físicos)							
Autor	Tecnologia	Desafios para os CPSs	Benefícios	Solução	Tecnologias Associadas	Princípios Associados	Tipo de Pesquisa
Karaköse, M., Yetiş, H. (2017)	Abordagem autônoma para produção customizada integrada com o cliente	Verificação e validação de sistemas em transações automáticas.	Customização, flexibilidade e novos modelos de lucrar com o processo autônomo / Sistemas mais rápidos e com segurança.	Rotinas de verificação de processos não completos / Arquitetura integrada com o cliente final.	Wireless Network / Cloud Computing	Integração Horizontal	Conceitual
Glück et. al (2015)	Controle de Processos de Qualidade	Desenvolvimento de mecanismos reconfiguráveis e auto organizáveis.	Cordenação autônoma de decisões (Fluxo de Produção).	Novas abordagens para a produção e gestão da qualidade.	Big Data	Decentralização	Revisão
Mohamed, M.(2018)	Sistemas de Modelagem e Analises	Desenvolvimento de mecanismos reconfiguráveis e auto organizáveis.	Redução da dinâmica matemática do processo/ concluir um modelo de controle apropriado.	Sistema complexos.	Big Data	Smart Factory	Revisão Sistemática
Mueller et. al (2017)	Sistema semi autônomo com planejamento e suporte centrada no ser humano	Gerenciamento de dados heterogêneo com desempenho.	Interação de sistemas existentes.	Modelo de produção síncrono semi autônomo e integrado.	Wired / Wireless Network / Cloud Computing	Integração Horizontal / Vertical	Revisão / Conceitual
Yue et. al (2015)	CPS assistida em Nuvem	Gerenciamento de dados heterogêneo com desempenho.	Aquisição de dados ocultos.	Uso de diferentes algoritmos para análise	Wired / Wireless Network / Cloud Computing	Integração Vertical	Revisão / Conceitual
Wan J. et. al (2018c)	Método de Reconfiguração de recursos para CPS baseado em Ontologia	Modelagem de cronograma em sistemas de produção.	Consumo de energia dos recursos / Eficiência de produção / Aumento do nível de inteligência dos equipamentos	Linguagem de descrição lógica / Linguagem ontológica web	Cloud Computing / Big Data	Capacidade de Tempo Real	Modelagem e Simulação
		Desenvolvimento de mecanismos reconfiguráveis e auto organizáveis	Gerenciamento centralizado de dados dos recursos.	Método de reconfiguração de recursos de produção baseada em ontologia.	Wired / Wireless Network / Inteligência Artificial	Integração Vertical / Interoperabilidade	Modelagem e Simulação
Mosterman e Zander (2016)	Sistemas Colaborativos para CPS	Interações de recursos no compartilhamento de funções.	Desenvolvimento de sistemas de maneira proativa e compartilhada para uma visão multidisciplinar dos sistemas.	Modelagem Automática Multiparadigmática	Wired / Wireless Network	Capacidade de Tempo Real	Modelagem e Simulação

Framework dos desafios técnicos em demanda por sistemas para CPS (Sistemas Ciber-Físicos) - continuação							
Autor	Tecnologia	Desafios para os CPSs	Benefícios	Solução	Tecnologias Associadas	Princípios Associados	Tipo de Pesquisa
Jiang Y. et al. (2018)	Controle Seguro para CPS	Capacidade de auto avaliação do sistema em normalidade e em perturbações	Melhoria de desempenho do sistema.	Sistema CPS colaborativo e sistema de gerenciamento.	Cyber Security	Smart Factory	Revisão de Literatura
Bangemann et. al (2016)	Integração de Recursos de Produção com sistemas CPSs	Padronização de Sistemas de Monitoramento	Facilidade em obter acessos à dados de sistemas de varios fornecedores / Interpretação semântica dos dados padronizadas para o operador.	Integração baseada em modelos de informações de nível de automação em processos de negócios	TIC / Cloud Computing	Integração Horizontal / Vertical	Conceitual
Jirkovsky et. al (2017)	Aplicações com dados heterogêneos em CPSs	Integração de dados Heterogêneos em CPSs através de métodos ontológicos.	Sistemas sem falhas e interação correta com sistemas adjacentes.	Utilização de sistemas para descrição da ontologia automática e semi-automática.	Big Data	Integração Horizontal / Vertical	Conceitual
		Arquitetura de sistemas para integração de dados em CPSs.	M1 - Fácil gestão e nenhum esforço adicional para armazenamento / M2 - Alto desempenho na consulta de dados	Abordagem natural para manuseio de dados baseado no modelo ontológico / Abordagem Híbrida de compartilhamento ontológica	Big Data	Integração Horizontal / Vertical	Conceitual
Ribeiro L., Hochwallner M. (2018)	Requisitos de projetos de CPS	Capacidade semântica de explorar um conjunto de dados.	Emissões de comandos globais para diversos sistemas e processos	Adesão à níveis mais elevados de utilização de diferentes requisitos de CPS.	Wired / Wireless Network	Modularidade	Revisão Sistemática
		Capacidade de auto avaliação do sistema em normalidade e em perturbações.	Deteção autonoma de de falhas e rastreabilidade das causas de defeitos de produção.	Requisito de diagnosabilidade - Melhor esforço na capacidade de diagnóstico em operação no modo de rastreabilidade.	Big Data	Smart Factory	Revisão Sistemática
Ribeiro L., Bjorkman M. (2018)	Transição de Tecnologias de Automação para CPS	Informação atravessadas em arquiteturas complexas de recursos de produção	Correto comportamento no processo de decisões / Coordenação de agentes em níveis inferiores	Agentes lógicos de Supervisão / Agente único / Algoritmo Distribuído de Tomada de Decisões	Wired / Wireless Network	Integração Vertical	Conceitual
		Comunicações paralelas em arquiteturas complexas de recursos de produção.	Sistemas com melhor desempenho sem inconsistências / Coordenação de agentes em níveis inferiores	Agentes lógicos de Supervisão / Agente único / Algoritmo Distribuído de Tomada de Decisões	Wired / Wireless Network	Integração Vertical	Conceitual
		Capacidade semântica de explorar um conjunto de dados.	Melhora a resposta dos sistemas em distúrbio	Soluções -Heterárquico com ajuste dinâmico no controle de estados das hierarquias	Big Data	Virtualização	Conceitual
		Instabilidade de sistema em análise de dados.	Melhora a resposta dos sistemas em distúrbio	Soluções -Heterárquico com ajuste dinâmico no controle de estados das hierarquias	Big Data	Virtualização	Conceitual

Framework dos desafios técnicos em demanda por sistemas para CPS (Sistemas Ciber-Físicos) - continuação							
Autor	Tecnologia	Desafios para os CPSs	Benefícios	Solução	Tecnologias Associadas	Princípios Associados	Tipo de Pesquisa
Ribeiro L., Bjorkman M. (2018)	Transição de Tecnologias de Automação para CPS	Diferentes características de tempo entre sistemas.	Clificação e o estabelecimento das expectativas de execução para ambos os lados do projeto	Definição e Implantação de projetos baseado em tempo com requisitos de ambos os lados.	Wired / Wireless Network	Real Time Capability	Conceitual
		Desenvolvimento de sistemas de avaliação de variabilidades de CPS.	Identifica comportamentos emergentes positivos e ou negativos	Utilização da simulação no processo para descrever o comportamento emergente	Simulação	Virtualização	Conceitual
		Cobertura Limitada na operação dos sistemas CPSs.	Identifica comportamentos emergentes positivos e ou negativos	Sem solução aparente	Simulação	Virtualização	Conceitual