

**UNIVERSIDADE MUNICIPAL DE SÃO CAETANO DO SUL  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO  
DOUTORADO**

**Maria do Socorro de Souza**

**POLÍTICA TECNOLÓGICA PARA A MANUFATURA AVANÇADA NO  
BRASIL:** uma proposição de agenda estratégica no setor de bens de  
capital

**São Caetano do Sul**

**2021**



**MARIA DO SOCORRO DE SOUZA**

**POLÍTICA TECNOLÓGICA PARA A MANUFATURA AVANÇADA NO BRASIL:  
uma proposição de agenda estratégica no setor de bens de capital**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Municipal de São Caetano do Sul como requisito para a obtenção do título de Doutora em Administração.

Área de Concentração: Gestão e Regionalidade

Orientador: Prof. Dr. Luís Paulo Bresciani

**São Caetano do Sul**

**2021**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA, Maria do Socorro de

Política tecnológica para a manufatura avançada no Brasil: uma proposição de agenda estratégica no setor de bens de capital / Maria do Socorro de Souza. – São Caetano do Sul: USCS, 2021.

266 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Luís Paulo Bresciani

Tese (doutorado) – USCS, Universidade Municipal de São Caetano do Sul, Programa de Pós-Graduação em Administração, 2021.

1. Gestão e Regionalidade. 2. Manufatura avançada. 3. Política tecnológica. 4. Setor de bens de capital. 5. Quarta Revolução Industrial. I. Título. II. Bresciani, Luís Paulo. III. USCS - Programa de Pós-Graduação em Administração.

**Reitor da Universidade Municipal de São Caetano do Sul**

Prof. Dr. Leandro Campi Prearo

**Pró-reitora de Pós-graduação e Pesquisa**

Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria do Carmo Romeiro

**Gestor do Programa de Pós-Graduação em Administração**

Prof. Dr. Eduardo de Camargo Oliva



Tese defendida e aprovada em 10/12/2021 pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Luís Paulo Bresciani - Universidade Municipal de São Caetano do Sul

Prof. Dr. João Batista Pamplona - Universidade Municipal de São Caetano do Sul

Prof. Dr. Milton Carlos Farina - Universidade Municipal de São Caetano do Sul

Prof. Dra. Anapátricia Morales Vilha – Universidade Federal do ABC

Prof. Dra. Leda Maria Caira Gitahy – Universidade Estadual de Campinas



Para Renato, meu filho amado.



## Agradecimentos

Agradeço a Deus, por permitir a realização deste projeto que teve uma trajetória totalmente diferente da que eu havia planejado em virtude de muitos contratempos jamais previstos, sobretudo os marcados pela pandemia de coronavírus que mudou significativamente as nossas vidas com perdas, uma profunda insegurança e incertezas quanto às oportunidades do futuro.

Agradeço ao meu amado e único filho que, com o seu olhar, sempre me fez seguir em frente, sobretudo durante a trajetória deste grande projeto.

Agradeço aos meus pais, pelo dom da vida, aos meus irmãos, a minha tia Maria José Batista de Oliveira (*in memoriam*) e a minha avó Josefa dos Santos que sempre me motivaram a seguir em frente nos meus projetos e sonhos.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Luís Paulo Bresciani, pelas orientações, paciência e sabedoria em conduzir da melhor forma todas as etapas desse percurso e aos membros da banca Professores Doutores Milton Carlos Farina, e João Batista Pamplona e às Professoras Doutoradas Anapátricia Morales Vilha e Leda Maria Caira Gitahy pela participação e por suas contribuições para a finalização deste trabalho.

Agradeço aos colaboradores da Universidade de São Caetano do Sul, em especial à Denise Rossito, que sempre com muito profissionalismo colaborou e sempre esteve à disposição para resolução de dúvidas e informações necessárias. Denise, parabéns pela excelência em tratar as pessoas. Também agradeço aos meus amigos do doutorado: Jakeline Rodrigues de Aquino Bezerra, Edimilson Eduardo da Silva e Agnaldo Antonio dos Santos, por estarem sempre presentes e dispostos a ajudar.

Agradeço à Maria Eugênia Macedo, pelo apoio, parceria e motivação que me fizeram chegar até aqui.

Muito obrigada.



....Cada um de nós compõe a sua história, e cada ser em si carrega o dom de ser capaz, e ser feliz... (Renato Teixeira/Almir Sater)



SOUZA, Maria do Socorro de. **POLÍTICA TECNOLÓGICA PARA A MANUFATURA AVANÇADA NO BRASIL:** uma proposição de agenda estratégica no setor de bens de capital. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. São Caetano do Sul, SP, 2021.

## RESUMO

O contexto marcado pela Quarta Revolução Industrial apresenta um arcabouço de mudanças econômicas, sociais e produtivas que envolvem toda a sociedade e atores do setor público e privado, sobretudo o Governo Federal que, por meio de políticas e iniciativas, deveria contribuir para o desenvolvimento econômico e social além de permitir que o país seja mais competitivo do ponto de vista global. Nesse contexto, pesquisas que envolvem, no ambiente macro, as atividades industriais e, no ambiente micro, as atividades dos setores produtivos são essenciais para o progresso industrial e tecnológico no país. Foi a partir dessas afirmativas que se construiu este trabalho de tese de doutorado. Como objetivo geral ficou estabelecido: a proposição de uma agenda tecnológica em nível nacional que oriente estrategicamente os atores do setor de bens de capital, nas esferas pública e privada. A pesquisa, classificada como qualitativa, transversal, descritiva e exploratória foi realizada em três etapas: 1) análise documental; 2) revisão da literatura e 3) análise de conteúdo. A partir da análise dos dados, verificou-se que as múltiplas iniciativas do Brasil são fragmentadas, sem articulação entre os atores das esferas pública e privada e apresentam lacunas com relação ao desenvolvimento, implementação e aplicação das tecnologias da manufatura avançada, as proposições de financiamento não são claras, existe ausência de qualificação profissional para o atendimento das novas demandas produtivas características da manufatura avançada, não existem iniciativas específicas para as startups, para as PMES e para as perspectivas dos sistemas produtivos regionais. Diante deste resultado, foi proposta agenda tecnológica em nível nacional para o setor de bens de capital com dezoito medidas, sendo nove delas norteadoras e nove básicas, que deverão ser conduzidas seguindo uma lógica determinada para que o setor de bens de capital alcance as oportunidades advindas da manufatura avançada.

**Palavras-chave:** Gestão e Regionalidade. Manufatura Avançada. Política Tecnológica. Setor de Bens de Capital. Quarta Revolução Industrial.



SOUZA, Maria do Socorro de. **TECHNOLOGICAL POLICY FOR ADVANCED MANUFACTURING IN BRAZIL**: a proposition of a strategic agenda in the capital goods sector. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. São Caetano do Sul, SP, 2021.

## ABSTRACT

The context stated by the Fourth Industrial Revolution presents a framework of economic, social and productive changes which involve the entire society and actors of the public and private sector, especially the Federal Government, that through policies and initiatives, should contribute to social and economic development, allowing the country to be more competitive from a global point of view. In this context, research involving, in the macro environment, industrial activities; in the micro environment, the activities of the productive sectors are essential for the industrial and technological progress in the country. This doctoral thesis work was built from these statements. As a general objective, it was established: the proposition of a technological agenda in national level that, strategically, orients the actors of the capital goods sector, in the public and private spheres. The research, classified as qualitative, transversal, descriptive and exploratory, was carried out in three stages: 1) document analysis; 2) literature review; 3) content analysis. From the analysis of the data, it was found that the multiple initiatives in Brazil are fragmented, without articulation among the actors in the public and private spheres and they have some gaps in relation to development, implementation and application of advanced manufacturing technologies; the financing propositions are not clear; there is an absence of professional qualification to meet the new productive demands (characteristic of advanced manufacturing); besides, there are no specific initiatives for startups, for SMEs and for the perspectives of regional productive systems. According to this result, a technological agenda was proposed in national level for the capital goods sector, presenting eighteen measures, being nine of them guiding measures and, the others, nine basic measures; which should be conducted following a determined logic, so that the capital goods sector achieves the opportunities arising from the advanced manufacturing.

**Keywords:**. Management and Regionalism. Advanced Manufacturing. Technological Policy. Capital Goods Sector. Fourth Industrial Revolution.



## Lista de Figuras

Figura 1 - Acumulação de capacidades tecnológicas .....	63
Figura 2 - Objetivo geral, objetivos específicos e métodos utilizados .....	68
Figura 3 - Síntese da metodologia proposta para o estudo.....	75
Figura 4 - Iniciativas para a Manufatura Avançada na Alemanha .....	77
Figura 5 - Alemanha: iniciativas nacionais para a manufatura avançada.....	86
Figura 6 - Alemanha: objetivos das iniciativas para a manufatura avançada .....	87
Figura 7 - Alemanha: Principais temas para a manufatura avançada .....	88
Figura 8 - Iniciativas para a manufatura avançada na China .....	92
Figura 9 - China: iniciativas nacionais para a manufatura avançada .....	104
Figura 10 - Pilares das iniciativas para a manufatura avançada na China .....	104
Figura 11 - China: Principais temas para a manufatura avançada.....	105
Figura 12 - Iniciativas para a manufatura avançada nos EUA.....	110
Figura 13 - EUA: iniciativas nacionais para a manufatura avançada .....	120
Figura 14 - Pilares das iniciativas para a manufatura avançada nos EUA .....	121
Figura 15 - EUA: Principais temas para a manufatura avançada.....	121
Figura 16 - Iniciativas para a manufatura avançada no Japão .....	125
Figura 17 - Japão: iniciativas nacionais para a manufatura avançada .....	130
Figura 18 - Pilares das iniciativas para a manufatura avançada no Japão .....	131
Figura 19 - Japão: Principais temas para a manufatura avançada .....	132
Figura 20 - Principais propósitos das iniciativas para a manufatura avançada .....	135
Figura 21 - Políticas industriais brasileiras no período de 2004 a 2014 .....	137
Figura 22 - Linha do tempo das múltiplas iniciativas para a manufatura avançada	139
Figura 23 - Modelo de estratégias nacionais para inovações disruptivas .....	150
Figura 24 - Pilares das iniciativas para a manufatura avançada no Brasil .....	172
Figura 25 - Múltiplas iniciativas para a manufatura avançada.....	173
Figura 26 – Brasil: Principais temas para a manufatura avançada .....	175
Figura 27 - Múltiplas iniciativas brasileiras para a manufatura avançada .....	177
Figura 28 - Setor de BK - receita líquida no período de 2012 a 2020 em R\$ bilhões .....	186
Figura 29 - Probabilidade das tecnologias de Geração 4 serem dominantes nas empresas do sistema produtivo nacional .....	191
Figura 30 - Mapeamento das maiores empresas por região .....	192

Figura 31 - Tecnologias habilitadoras da manufatura avançada ..... 204

Figura 32 - Tecnologias da manufatura avançada - proximidades e distanciamentos  
..... 207

## Lista de Quadros

Quadro 1 - Indústria de transformação – Setor de BK .....	36
Quadro 2 - Características das tecnologias-chaves da indústria 4.0.....	44
Quadro 3 - Tipos de aprendizado.....	58
Quadro 4 - Dimensões e ações para aquisição do aprendizado .....	59
Quadro 5 - Estratégias e ações.....	61
Quadro 6 - Documentos das iniciativas para a manufatura avançada .....	70
Quadro 7- Base documental.....	70
Quadro 8 - Grupos de trabalho da Plataforma Industrie 4.0.....	80
Quadro 9 - Plano de ação - grupos de trabalho da Plataforma Industrie 4.0 .....	81
Quadro 10 - Forças e fraquezas da Alemanha no contexto da 4RI.....	89
Quadro 11 - MIC 2025: princípios orientadores e princípios básicos .....	95
Quadro 12 - Objetivos das iniciativas nacionais do MIC 2025.....	97
Quadro 13 - MIC 2025 - metas para o período de 2013 a 2025.....	98
Quadro 14 - Forças e fraquezas da China no contexto da 4RI .....	107
Quadro 15 - Rede de institutos de inovação industrial: 2012 a 2017 .....	116
Quadro 16 - Forças e fraquezas dos EUA no contexto da 4RI.....	123
Quadro 17 - Forças e Fraquezas do Japão no Contexto da 4RI .....	133
Quadro 18 - Agenda brasileira para indústria 4.0.....	144
Quadro 19 - Tópicos e campos de atuação abordados no mapa estratégico da indústria.....	197
Quadro 20 - Fatores chaves para a competitividade nacional.....	197
Quadro 21 - Objetivos das iniciativas para a manufatura avançada .....	201
Quadro 22 - Análise das principais tecnologias habilitadoras da manufatura avançada.....	203
Quadro 23 - Tecnologias priorizadas por cada país para a manufatura avançada .	206
Quadro 24 - Incentivos .....	214
Quadro 25 - Presença de iniciativas de qualificação .....	215
Quadro 26 - Atores.....	217
Quadro 27 - Setores.....	219
Quadro 28 - Oportunidades dos países: Alemanha, China, EUA, Japão e Brasil para a manufatura avançada.....	221

Quadro 29 - Barreiras dos países: Alemanha, China, EUA, Japão e Brasil para a manufatura avançada .....	226
Quadro 30 - Proposição de agenda estratégica para política tecnológica no setor de BK.....	231

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Países líderes da produção da indústria de transformação, .....	37
Tabela 2 - Principais países produtores de máquinas e equipamentos .....	39
Tabela 3 - Posição do <i>funding</i> para a manufatura avançada no Brasil .....	181
Tabela 4 - Evolução da receita líquida do setor de BK por segmento de mercado (2020/2019) .....	186
Tabela 5 - Setor de BK – total de empresas instaladas por região .....	187
Tabela 6 - Maiores importadores de BK brasileiros.....	188
Tabela 7 - Importação de BK por origem .....	189
Tabela 8 - Maiores empresas do setor de BK no Brasil (2019) .....	189



## Lista de Siglas

4RI	Quarta Revolução Industrial
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
AMP	<i>Advanced Manufacturing Partnership</i>
ANPEI	Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
CNCT	Catálogo Nacional de Cursos Técnicos
CSTI	Conselho de Ciência, Tecnologia e Inovação
EMBRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
EPT	Educação Profissional e Tecnológica
FBCF	Formação de Capital Fixo
FINEP	Financiadora de Inovação à Pesquisa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEDI	Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial
IEL	Instituto Euvaldo Lodi
IIP	Índice Industrial de Produção
IMT	Instituto Mauá de Tecnologia
INCT	Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
ME	Ministério da Economia
METI	<i>Ministry of Economics, Trade and Industry</i>
MIC	Ministério de Assuntos Internos, e Comunicações
MIIT	Ministério da Indústria da China e Tecnologia da Informação
MVA	<i>Manufacturing Value Added</i>
NSTC	National Science and Technology Council
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PBM	Plano Brasil Maior
PCAST	Conselho de Consultores em Ciência e Tecnologia

PDP	Política de Desenvolvimento Produtivo
PINTEC	Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica
PITCE	Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior
PME	Pequena e Média Empresa
PNE	Plano Nacional de Educação
<i>RIETI</i>	<i>Research Institute of Economy, Trade and Industry</i>
RRI	Iniciativa de Revolução Robótica
SC	Conselho de Estado Chinês
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAC	Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SETEC	Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
SNI	Sistema Nacional de Inovação
STEM	<i>Science, Technology, Engineering and Mathematics</i>
TPP	Tecnológicas em Produtos e Processos
<i>UNIDO</i>	<i>United Nations Industrial Development Organization</i>
<i>WEF</i>	<i>World Economic Forum</i>
ZEES	Zona Econômica Especial de Shenzhen

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	29
1.1	Problema da pesquisa .....	34
1.2	Objetivos da pesquisa .....	34
1.3	Delimitação do estudo .....	35
1.4	Justificativa e relevância do trabalho .....	36
1.5	Organização da tese.....	39
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA: A BASE CONCEITUAL DAS CONDICIONANTES PARA A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL</b> .....	41
2.1	A Quarta Revolução Industrial e suas características básicas .....	41
2.2	A abordagem sistêmica da inovação no contexto da manufatura avançada	50
2.2.1	A base conceitual de sistemas de inovação .....	51
2.2.2	Paradigmas e trajetórias tecnológicas .....	54
2.3	Aprendizado tecnológico .....	57
2.4	Capacidades tecnológicas .....	60
2.5	Considerações finais do capítulo .....	64
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	66
3.1	Caracterização e tipo de pesquisa.....	66
3.2	Técnica de coleta de dados .....	67
3.2.1	Instrumentos de pesquisa.....	68
3.2.1.1	Análise documental .....	69
3.2.1.2	Revisão da literatura.....	71
3.3	Tratamento dos dados e análise .....	73
<b>4</b>	<b>INICIATIVAS NACIONAIS SELECIONADAS PARA A MANUFATURA AVANÇADA: ALEMANHA, CHINA, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA E JAPÃO</b> .....	76
4.1	Política industrial na Alemanha: uma análise do período anterior à 4RI.....	76
4.2	Política industrial na China: uma breve análise no período anterior à quarta revolução industrial.....	91
4.3	Política industrial nos Estados Unidos da América (EUA): uma breve análise no período anterior à Quarta Revolução Industrial .....	109
4.4	Política industrial no Japão: uma breve análise no período anterior à Quarta Revolução Industrial .....	124

4.5	Considerações finais do capítulo 4 .....	134
<b>5</b>	<b>AS MÚLTIPLAS INICIATIVAS PARA A MANUFATURA AVANÇADA NO BRASIL.....</b>	<b>136</b>
5.1	Políticas industriais no Brasil de 2004 a 2014.....	136
5.2	Múltiplas iniciativas brasileiras rumo à manufatura avançada .....	138
5.2.1	Plano Nacional de Internet das Coisas ( <i>IoT</i> ).....	139
5.2.2	Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil - ProFuturo.....	141
5.2.3	Estratégia brasileira para a transformação digital – E-Digital.....	142
5.2.4	Programa rota 2030 .....	143
5.2.5	Agenda brasileira para a indústria 4.0 no Brasil.....	143
5.2.6	Plataforma Câmara Brasileira da Indústria 4.0.....	147
5.2.7	Programa “Brasil Mais” .....	148
5.2.8	Projeto Indústria 2027 .....	148
5.3	Organizações em ação para a trajetória rumo à manufatura avançada.....	152
5.3.1	Iniciativas dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia .....	152
5.3.2	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII).....	153
5.3.3	Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras (ANPEI) .....	154
5.3.4	Confederação Nacional da Indústria (CNI) .....	155
5.3.5	Instituto Euvaldo Lodi (IEL) .....	155
5.3.6	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).....	156
5.3.7	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).....	157
5.3.8	Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) .....	159
5.4	Organizações em ação rumo à manufatura avançada.....	160
5.4.1	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI.....	161
5.4.2	Programa novos caminhos .....	161
5.5	Iniciativas de universidades e empresas para o contexto da manufatura avançada .....	163
5.5.1	Centro Universitário FEI.....	164
5.5.2	Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).....	166
5.5.3	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).....	166
5.5.4	Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) .....	167
5.5.5	Universidade de Campinas (UNICAMP) .....	168
5.5.6	Universidade de São Paulo (USP) .....	169

5.5.7	Universidade Federal do ABC (UFABC).....	171
5.6	Considerações finais do capítulo .....	172
<b>6</b>	<b>SETOR DE BENS DE CAPITAL: CARACTERIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA PARA O CONTEXTO DA MANUFATURA AVANÇADA NO BRASIL .....</b>	<b>183</b>
6.1	Caracterização do setor de BK.....	183
6.2	Análise setorial – BK.....	185
6.3	Oportunidades tecnológicas e a competitividade do setor de BK.....	191
6.3.1	O sistema BK na perspectiva de clusters tecnológicos .....	193
<b>7</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS DADOS .....</b>	<b>200</b>
7.1	Objetivos apresentados nas iniciativas para a manufatura avançada .....	200
7.2	Tecnologias habilitadoras da manufatura avançada.....	203
7.3	Incentivos para a trajetória da manufatura avançada .....	213
7.4	A existência de planos piloto para a manufatura avançada.....	215
7.5	Qualificação profissional.....	215
7.6	Fontes de financiamento para a manufatura avançada.....	216
7.7	Participação de atores nas iniciativas da manufatura avançada .....	217
7.8	Setores de atividades selecionados nas iniciativas para a manufatura avançada .....	219
7.9	Oportunidades e Barreiras: Alemanha, China, EUA, Japão e Brasil .....	220
7.10	Proposição de agenda estratégica para política tecnológica no setor de BK.....	229
7.11	Considerações finais sobre o capítulo .....	236
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>238</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>244</b>
	ANEXO A - Matriz de Síntese.....	262



## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças econômicas e sociais inerentes ao século XXI têm-se intensificado em virtude do amplo uso das tecnologias digitais, que contribuem para que as interações entre indivíduos, empresas, organizações nacionais e internacionais estabeleçam-se de forma rápida e cíclica.

Diante desse contexto, as participações do governo, de instituições públicas e privadas, são essenciais nas iniciativas e ações voltadas à criação de políticas tecnológicas e de inovação que promovam o bem-estar social, o crescimento e o desenvolvimento econômico de um país. Essa afirmativa vem ao encontro das mudanças já estabelecidas em países desenvolvidos e fazem parte do novo contexto marcado pela Quarta Revolução Industrial (4RI).

No contexto da 4RI, o termo “indústria 4.0” ou “manufatura avançada”<sup>1</sup> refere-se ao avanço tecnológico, provocado pelas políticas científicas, tecnológicas que convergem a uma trajetória relacionada à formação de sistemas cyber-físicos (cyber = internet e físicos = coisas) em conjunto com as Tecnologias de Informação e Comunicação – TICs, possibilitando o diálogo entre a dimensão virtual e a dimensão física (ROCHA, 2021).

Esse diálogo ficou mais intenso e cíclico no ano de 2020, em virtude da pandemia da COVID-19, que limitou as ofertas e demandas nas cadeias de suprimentos além de aumentar o uso intensivo das tecnologias digitais para produzir de forma segura seguindo todos os protocolos determinados mundialmente (CAGNIN, 2021).

Na indústria, a aplicação das tecnologias relacionadas a esse avanço tecnológico contribui para que o processo produtivo seja mais flexível e os ganhos de produtividade sejam elevados (CAGNIN, 2021).

---

<sup>1</sup> Para Howaldt, Kopp e Schultze (2017), embora os termos “Indústria 4.0” e “Manufatura Avançada” sejam tratados como sinônimos e estarem relacionados aos esforços para acelerar os processos de digitalização, na Alemanha o conceito é utilizado para se referir à integração da produção fabril. Já nos EUA a abordagem é mais ampla e envolve a participação de atores e a integração entre universidade-empresa para o desenvolvimento de tecnologias emergentes em setores estratégicos. Em virtude das várias nomenclaturas utilizadas na literatura, nesta tese de doutorado, os termos “Quarta Revolução Industrial - 4RI”, “Indústria 4.0”, “manufatura avançada”, “manufatura inteligente” e “transformação digital”, serão utilizados como sinônimos para se referir às mudanças preconizadas pela Quarta Revolução Industrial no que se refere ao desenvolvimento, implementação e aplicação das tecnologias digitais no setor industrial.

Com relação ao desenvolvimento da economia verde, a implementação e aplicação das tecnologias digitais permitem a convergência com a agenda de sustentabilidade ambiental, pois favorece a modernização das cadeias produtivas, a redução do uso de transportes e uma trajetória sustentável de desenvolvimento industrial (CAGNIN, 2021).

O termo “indústria 4.0” remete a um contexto de competição global dos Estados Unidos da América e da Alemanha na busca da liderança inovadora frente ao posicionamento estratégico e competitivo da China.

Nesse sentido, os EUA e a Alemanha iniciaram estratégias de reposicionamento associadas ao uso intensivo das tecnologias digitais e as possibilidades de *reshoring*, para reduzir as dependências de insumos e componentes importados de outros países (COSTA; ROCHA; GALA, 2021).

Na Alemanha, o termo "Indústria 4.0" foi utilizado pela primeira vez na Feira de Hannover em abril de 2011 (DRATH; HORCH, 2014). A partir de então, o termo atraiu cada vez mais atenção no país até se tornar oficialmente um dos dez projetos que compõem o plano de ação “High-Tech Strategy 2020”, elaborado em março de 2012 (LIAO *et al.*, 2017).

Em junho de 2011, nos Estados Unidos, esforços em nível nacional foram realizados para a trajetória rumo à 4RI. O documento denominado *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP) foi recomendado pelo Conselho de Consultores em Ciência e Tecnologia (PCAST), com o objetivo de reunir o Governo Federal, as indústrias e universidades para: (1) criar um ambiente fértil para a inovação, e (2) investir em novas tecnologias e metodologias de design para reduzir o tempo da fabricação de produtos (*President’s Council of Advisors on Science and Technology, 2014*). Em setembro de 2013, um segundo AMP foi lançado identificando uma série de etapas necessárias e adicionais no intuito de: (1) permitir a inovação, (2) proteger o pipeline de talentos e (3) melhorar o clima de negócios (*President’s Council of Advisors on Science and Technology, 2014*).

Na China, o conceito “*Made in China 2025*” foi inicialmente proposto e recomendado pela Academia de Engenharia chinesa, no início de 2014. Na sequência, o plano estratégico da China foi construído pelo Ministério da Indústria da China e Tecnologia da Informação (MIIT) e, em maio de 2015, foi aprovado oficialmente pelo Conselho de Estado Chinês (SC), tornando-se um programa de ação nacional ao lado do Plano “Internet Plus”. O programa *Made in China 2025* prioriza

dez campos do setor manufatureiro para acelerar a informatização e a industrialização na China (LIAO *et al.*, 2018).

Em dezembro de 2015, foi publicado o 5º Plano Básico de Ciência e Tecnologia pelo Conselho de Ciência, Tecnologia e Inovação (CSTI) do Gabinete do Japão (CSTI, 2015). O plano foi elaborado no intuito de apresentar ações que visavam à criação de novos valores para o desenvolvimento da futura indústria e a transformação social no Japão, denominada no país como “*Super Smart Society*” (LIAO *et al.*, 2018).

As iniciativas para a manufatura avançada criadas na Alemanha, EUA, China e Japão são pioneiras, mas não representam os únicos países com esforços para essa trajetória.

Outros países seguem estratégias nacionais, a exemplo do Reino Unido (*Future of Manufacturing*), França (*La Nouvelle France Industrielle*), Coreia do Sul (*Manufacturing Innovation 3.0*), Índia (*Make in India*), Países Baixos (*Smart Industry*), Itália (*Piano Nazionale Industrie 4.0*), México (*Crafting the Future*), Suécia (*Smart Industry*), Malásia (*Eleventh Malaysia Plan*), Europa (*Factories of the future*), dentre as principais iniciativas (LIAO *et al.*, 2018).

Contudo, é importante destacar que, além de fortalecer os parques industriais nacionais a partir do uso intensivo de tecnologias digitais, as estratégias elaboradas por esses países buscam a retomada da capacidade de produção da indústria manufatureira (MIGUEZ, 2018).

A exemplo do que ocorre em outros países, no Brasil algumas discussões estão em curso, porém ainda não existe uma articulação das instituições e atores para o desenvolvimento de uma estratégia nacional para a manufatura avançada, que envolva a implementação e aplicação das tecnologias e ferramentas desse novo contexto produtivo, econômico e social (VERMULM, 2018).

Alguns dos esforços realizados no Brasil para o avanço da implementação das tecnologias digitais foram na área de Internet das Coisas (IoT) pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI).

A iniciativa fundamenta-se em estudo realizado pelas duas instituições para diagnosticar os fatores mais importantes nesse novo contexto e, a partir do diagnóstico, elaboraram um plano de ação estratégico para o país denominado “Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil”, cujo enfoque foi definido em quatro linhas verticais: cidades inteligentes, saúde, rural e indústria (BNDES, 2017).

A Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 no Brasil, outra iniciativa criada para a trajetória do país rumo à manufatura avançada, contém um conjunto de 10 medidas que deveriam ser cumpridas no período de 2018 a 2020 (ABDI, 2018).

O estudo “Projeto Indústria 2027”, elaborado em 2017, teve como objetivo realizar o mapeamento das tecnologias da Indústria 4.0, diagnosticar os possíveis impactos dessas tecnologias no cenário da indústria brasileira e indicar quais passos devem ser tomados para o desenvolvimento do setor industrial brasileiro de acordo com oito tecnologias disruptivas que deverão impactar a indústria: internet das coisas, produção inteligente, inteligência artificial, tecnologia de redes, biotecnologia, nanotecnologia, materiais avançados e armazenamento de energia (IEL, 2017).

Em especial, no setor de bens de capital<sup>2</sup>- BK, o estudo Indústria 2027 indica o planejamento com foco na produção de máquinas e implementos agrícolas, máquinas ferramentas, motores e outros bens seriados, além de equipamentos de geração, transmissão e distribuição (IEL, 2017).

Nessa perspectiva, Miguez (2018) afirma ser necessária a articulação de uma estratégia que vise à retomada do crescimento do setor industrial, além da competitividade no mercado interno e externo.

Posto isto, a partir da afirmação de que a inovação se constitui em uma das principais fontes de crescimento e produtividade no setor industrial, Miguez (2018) assevera que:

[...] não há experiência de desenvolvimento econômico bem-sucedida que não tenha incluído o setor de bens de capital como prioritário. Isso vale tanto para as experiências pioneiras, como na Inglaterra, Estados Unidos da América (EUA), Alemanha e Japão, como para as mais recentes, como na Coreia do Sul e China. Não por menos, todos esses países hoje contam com empresas de bens de capital atuando globalmente nos mais diversos segmentos (MIGUEZ, 2018, p. 163).

É importante ressaltar que desenvolvimento industrial com estratégia de *catching-up* deve ser acompanhado de mudanças organizacionais, visando ao

---

<sup>2</sup> De acordo com a conceituação do sistema de Contas Nacionais, a Formação de Capital Fixo (FBCF) é constituída por máquinas e equipamentos, construção civil, ativos intangíveis e outros ativos. Assim, a partir dessa abertura, “máquinas e equipamentos”, enquadram-se como bens de capital, pois a classificação inclui equipamentos de transporte, equipamentos eletrônicos e elétricos, tratores, produtos de metal e máquinas e equipamentos (ABIMAQ, 2019). Portanto, essa será a definição para se referir ao setor de máquinas e equipamentos nesta tese de doutorado.

fortalecimento das competências tecnológicas das firmas nacionais (FREEMAN, 1995; 2002).

Perez e Soete (1988, p. 459), afirmam que as diversas trajetórias de crescimento na economia mundial resultam de processos históricos e envolvem, portanto, o conceito de *path dependence*.

Assim, Perez e Soete buscam justificar que os retornos crescentes correlacionados ao processo de industrialização e de desenvolvimento dos países surgem como resultado de um processo paradoxal:

[...] capital prévio é necessário para produzir novo capital, conhecimento prévio é necessário para absorver novo conhecimento, habilidades devem estar disponíveis para aquisição de novas habilidades e certo nível de desenvolvimento é requerido para criar a infraestrutura e economias de aglomeração que tornam o desenvolvimento possível. Em suma, é dentro dessa lógica dinâmica do sistema que os ricos enriquecem e o *gap* permanece e se amplia para os mais atrasados (1988, p. 459).

Na perspectiva de mudanças em processos produtivos que trazem consigo inovações radicais e todo um arcabouço que apresenta o uso de novas tecnologias, Lee e Malerba (2017) relacionam esse movimento experimentado pelo novo contexto tecnológico como uma “*janela de oportunidades*”, que envolve uma estrutura de sistema setorial composta por três dimensões: a primeira refere-se à dimensão das mudanças relacionadas ao conhecimento e à tecnologia, a segunda dimensão refere-se às mudanças na demanda, e a terceira diz respeito a mudanças nas instituições e na política pública.

De acordo com os autores, a combinação da abertura de uma *janela de oportunidades* que relacionam as três dimensões e a forma como as empresas se estruturam para receber essas mudanças, bem como a resposta de outros componentes do sistema setorial, irá determinar o posicionamento de liderança industrial (LEE; MALERBA, 2017).

Perez e Soete (1988) chamam a atenção para a abertura de “*janelas de oportunidades*” que contribuem para o desenvolvimento dos países em períodos marcados por mudanças de paradigmas. De acordo com os autores, esses períodos proporcionam duas “*janelas de oportunidade*”, que promovem as oportunidades para o *catching-up*. A primeira “*janela de oportunidade*” ocorre no início da trajetória de uma nova tecnologia e a segunda ocorre na fase final dessa trajetória, quando as tecnologias e indústrias já evoluíram para a fase de maturidade.

Nesse novo contexto, marcado pela demanda de competências e conhecimentos diferentes, as “*janelas de oportunidades*” apresentadas por Perez e Soete (1988) e por Lee e Malerba (2017) envolvem aprendizado, implementação e aplicação das novas tecnologias digitais, demandas, instituições e políticas públicas.

Todos esses fatores representam um arcabouço necessário e primordial para que empresas estabelecidas possam transitar, ou não, nessa nova trajetória de manufatura avançada, seja por terem fixado em suas estruturas paradigmas tecnológicos outrora estabelecidos a partir de produtos consolidados, ou por não estarem certos do aumento da demanda de seus produtos.

Somam-se a esses fatores os esforços tecnológicos das firmas e instituições, medidos a partir dos investimentos em P&D e registros de patentes, que contribuem para a participação efetiva dos setores difusores do conhecimento e crescimento, como é o caso do setor de BK (Castellacci, 2007) por meio do *catching-up* (CIMOLI *et al.*, 2005, p. 20).

### 1.1 Problema da pesquisa

Para a construção desta tese visou-se responder ao seguinte problema de pesquisa: “considerando os conceitos de manufatura avançada e as diferentes estratégias industriais de países selecionados, qual a proposição de agenda estratégica adequada à configuração de uma política tecnológica estruturante para o setor de BK no Brasil?”

O setor de BK caracteriza-se como provedor de conhecimento avançado, é intensivo em ciência e tecnologia, sendo capaz de gerar efeitos de *spillover*, haja vista que alimenta os demais setores produtivos da economia, incorporando novos conhecimentos tecnológicos ao processo produtivo por meio de múltiplos encadeamentos (CASTELLACCI, 2007).

### 1.2 Objetivos da pesquisa

Para responder ao problema delineado nesta pesquisa o objetivo geral desta tese é, portanto, a proposição de uma agenda tecnológica em nível nacional que oriente estrategicamente os atores do setor de BK, nas esferas pública e privada.

Para o alcance deste objetivo geral, foram desenhados dois objetivos específicos, desenvolvidos ao longo de cada capítulo correspondente (além do capítulo de cunho teórico, apresentado a seguir), e que se articulam para a construção desta tese. São eles:

- 1) Identificar indicadores qualitativos para a competitividade, inovação, aprendizado tecnológico e capacitação tecnológica, relacionados ao desenvolvimento da manufatura avançada, presentes nas políticas nacionais da Alemanha, China, Japão e EUA. Países estes que nesta pesquisa de doutorado são considerados *benchmarking* pelas razões já expostas acima.
- 2) Descrever e analisar os indicadores observados nas políticas nacionais dos países investigados, por meio de uma matriz de síntese, traçando aproximações e distanciamentos ao relacionar oportunidades e barreiras para estruturação de um modelo de agenda estratégica no setor de BK adequado ao contexto brasileiro.

### 1.3 Delimitação do estudo

A delimitação desta pesquisa tomou como base dois campos de estudo, para responder aos objetivos propostos: as iniciativas de países selecionados e o setor de bens de capital. O primeiro campo refere-se ao recorte das iniciativas nacionais para a manufatura avançada dos países selecionados: Alemanha, China, EUA, Japão e Brasil.

A seleção ocorreu a partir da revisão da literatura e das informações disponíveis quanto à participação de cada um desses países no resultado do valor adicionado de manufatura mundial, nos indicadores de competitividade industrial e no volume de produção de máquinas e equipamentos.

Com relação ao setor de BK, o estudo concentra-se na estrutura definida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), quanto às seções e nomenclaturas utilizadas (IBGE-CNAE, 2007).

O setor de BK faz parte da Seção C – Indústrias de Transformação – divisão 28, que compreende as informações econômico-financeiras de produção, bens e

serviços consumidos, emprego, entre outros aspectos da CNAE 2.0, conforme se apresenta no quadro 1 (IBGE-CNAE, 2007).

Quadro 1 - Indústria de transformação – Setor de BK

<b>Seção C - Indústrias de Transformação</b>		
<b>Divisão</b>	<b>Grupo</b>	<b>Descrição</b>
28		<b>FABRICAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS</b>
	28.1	Fabricação de motores, bombas, compressores e equipamentos de transmissão
	28.2	Fabricação de máquinas e equipamentos de uso geral
	28.3	Fabricação de tratores e de máquinas e equipamentos para a agricultura e pecuária
	28.4	Fabricação de máquinas-ferramenta
	28.5	Fabricação de máquinas e equipamentos de uso na extração mineral e na construção
	28.6	Fabricação de máquinas e equipamentos de uso industrial específico

Fonte: elaborado a partir de IBGE-CNAE (2007).

Diante do exposto e conforme apresenta-se na metodologia da pesquisa, a análise documental das iniciativas dos 4 países selecionados: Alemanha, China, EUA e Japão, irão contribuir para a elaboração de uma agenda de política tecnológica de manufatura avançada adequada ao contexto brasileiro, orientada ao setor de Bens de Capital - BK.

#### 1.4 Justificativa e relevância do trabalho

É fato que uma nova trajetória tecnológica na indústria, marcada pelo desenvolvimento de sistemas de produção com tecnologias associadas e integradas, além das perspectivas de mercado dessas novas tecnologias, forneçam evidências que contribuam para políticas direcionadas à transição para a Manufatura Avançada.

O conjunto de mudanças e fatores oriundos desse novo contexto econômico, social e político, representam significados mais específicos e explícitos para o termo “Quarta Revolução Industrial” (BELVEDERE *et al.*, 2013). Sendo possível afirmar que os processos utilizados na indústria 4.0 estão fundamentados no aprofundamento da interdependência produtiva na indústria mundial (GEREFFI, 2014).

A tabela 1 apresenta a liderança de países quanto à participação no valor adicionado.

Tabela 1 - Países líderes da produção da indústria de transformação<sup>3,4</sup>

Ranking 2020	País	2005	2010	2018	2019	2020 <sup>5</sup>
1	China	13,7	21,6	28,5	29,4	31,3
2	EUA	22,4	19,4	16,7	16,5	15,9
3	Japão	9,4	8,3	7,1	7,1	6,6
4	Alemanha	6,5	5,8	5,5	5,1	4,6
5	Coreia do Sul	2,9	3,3	3,1	3,1	3,3
6	Índia	1,7	2,3	3	3,2	3
7	Itália	3,3	2,6	2,1	2	1,9
8	Reino Unido	3,2	2,6	2,1	2	1,9
9	Taiwan	1,00	1,2	1,4	1,4	1,8
10	França	2,8	2,3	2,9	1,9	1,7
14	Brasil	2,2	2,0	1,4	1,3	1,3

Fonte: IEDI (2021, p. 5).

Em análise, observa-se que a China foi a principal produtora mundial de bens manufaturados em 2020, apresentando 31,3% do valor adicionado na produção da indústria de transformação mundial (*manufacturing value added – MVA*), registrando um declínio de MVA de apenas 1,3% em 2020. Seguidamente, aparecem no ranking Estados Unidos que teve participação de 16,5% em 2019 e, em 2020, caiu para 15,9; Japão, apresentando uma queda de 7,1% para 6,6% em 2020 e Alemanha (de 5,1% para 4,6%). A Coreia do Sul, conquistou a 5ª posição no ranking, ampliando a sua participação de 3,1% para 3,3%, entre 2019 e 2020, e a Índia ocupou a 6ª posição, com participação de 3,0%, em 2020, contra 3,2%, em 2019 (IEDI, 2021).

Com relação ao Brasil, em 2005 o país ocupava a 9ª posição no ranking mundial de manufaturas, com uma parcela de 2,2% do total. Em 2010, ocupou a 10ª posição (2,0% do total); em 2018, ocupou a 15ª posição (1,4% do total), em 2019, ocupou a 13ª (1,3% do total) e, em 2020, ocupou a 14ª posição, com parcela de 1,3% do MVA mundial (IEDI, 2021).

No relatório “Competitividade Global 4.0”, o Brasil ocupa a 71ª posição no ranking dos 141 países analisados. Singapura ocupa o 1º lugar no ranking, seguida dos Estados Unidos da América que ocupa o 2º lugar, Hong Kong o 3º lugar, Holanda

<sup>3</sup> Parcela no *Manufacturing Value Added (MVA)* mundial em %, US\$ constante de 2015.

<sup>4</sup> O Índice Industrial de Produção (IIP), que era calculado pela UNIDO no ano-base 2010, passou a ser calculado a partir de 2019, considerando o ano base de 2015. Em virtude de os dados serem convertidos em dólares, a mudança causou alterações no ranking, em consequência de diferentes níveis de taxa de câmbio (IEDI, 2021).

<sup>5</sup> Valor estimado.

o 4º lugar. A Suíça encontra-se no 5º lugar do ranking seguida do Japão e da Alemanha (SCHWAB, 2019).

O Relatório Competitividade Brasil, elaborado pela CNI, compara o desempenho brasileiro com 17 países de características similares ou que competem com o Brasil no mercado mundial. A avaliação considera os seguintes fatores: Trabalho, Financiamento, Infraestrutura e Logística, Tributação, Ambiente Macroeconômico, Estrutura Produtiva, Escala de Concorrência, Ambiente de Negócios, Tecnologia, Inovação e Educação (CNI, 2020).

No relatório referente ao período de 2019-2020, o Brasil ocupou o 17º lugar, estando à frente da Argentina (18º) e abaixo do Peru (16º). O Chile ocupa a 8ª posição e o México a 12ª posição (CNI, 2020).

Para Conceição (2014), na América Latina, ainda é pequena a participação das indústrias no novo paradigma tecnológico. Indústrias instaladas no México, Brasil e Argentina, evidenciam uma maior participação nas indústrias e tecnologias utilizadas em paradigmas anteriores - intensivos em energia e recursos naturais.

Deste modo, no que se refere à revolução tecnológica da informação, as indústrias instaladas nesses países ingressaram na trajetória de *falling behind*<sup>6</sup> além de apresentar um atraso relativo com a fronteira tecnológica. Tais fatores explicam o baixo crescimento da produtividade agregada e da renda *per capita* ao longo do tempo (CONCEIÇÃO, 2014).

De acordo com dados publicados pela *United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)*, no ano de 2018, a participação no valor adicionado da produção de máquinas e equipamentos teve como líderes produtivos: China, Japão, Estados Unidos e Alemanha.

---

<sup>6</sup> “*Falling Behind*” é um termo utilizado para informar a incapacidade de países avançarem no desenvolvimento a partir do uso de novas tecnologias. Ao passo que países centrais apresentam desenvolvimento com novas indústrias e o uso intensivo de novas tecnologias realizando o catching-up com países líderes, países como os da América Latina, permanecem atrasados no avanço do uso de tecnologias e apresentam uma trajetória de *falling behind* (PEREZ, 2001).

Tabela 2 - Principais países produtores de máquinas e equipamentos

<b>Economia</b>	<b>% Valor Adicionado</b>
China	21,1
Japão	15,3
Estados Unidos	15,1
Alemanha	13,3
Itália	5,0
Canadá	1,8
Reino Unido	1,8
França	1,8
Índia	1,7
Brasil	1,3
Coréia do Sul	1,3
Rússia	1,3
Países Baixos	1,3
Espanha	1,2
Áustria	1,1

Fonte: UNIDO (2018, p. 37-56); ABIMAQ (2019, p. 6).

A China lidera a lista com 21,1% do valor adicionado. Japão e Estados Unidos com cerca de 15% e Alemanha 13,3%. O Brasil apresenta somente 1,3% de participação na produção de máquinas e equipamentos dentro do valor adicionado, conforme demonstrado na tabela 2 (UNIDO, 2018).

Diante do exposto, é oportuna a elaboração de estratégias que possam aproveitar as janelas de oportunidades para que o país se posicione melhor nos índices de competitividade mundial, seja capaz de criar uma infraestrutura para o setor industrial, sobretudo no setor de BK que é difusor das tecnologias habilitadoras da manufatura avançada atrelado às condições favoráveis para o desenvolvimento de pesquisas e inovação que envolvam universidades, institutos de pesquisa e a indústria além da promoção da qualificação profissional, para atender as novas oportunidades do mercado de trabalho.

### 1.5 Organização da tese

A estrutura da tese está assim organizada: além deste primeiro capítulo, o segundo capítulo, a revisão da literatura, aborda os temas relacionados com a Quarta Revolução Industrial e suas características, inovação no contexto da 4RI, aprendizado e capacitação tecnológica. Esse capítulo tem o intuito de apresentar as condicionantes para a Quarta Revolução Industrial.

No terceiro capítulo, apresentam-se os procedimentos metodológicos utilizados na elaboração da pesquisa, abrangendo o tipo e a abordagem de pesquisa e os procedimentos para a organização e análise dos dados. Nesse capítulo é apresentado o *framework* (arcabouço conceitual) da pesquisa.

O quarto capítulo discorre sobre as iniciativas da Alemanha, China, EUA e Japão para a manufatura avançada. Esse capítulo tem o intuito de apresentar as estratégias, atores e integrações entre as iniciativas elaboradas por cada país, identificar indicadores qualitativos para a competitividade, inovação, aprendizado e capacitação tecnológica.

O quinto capítulo discorre sobre as múltiplas iniciativas do Brasil para a manufatura avançada. Esse capítulo tem o intuito de apresentar os atores e programas que fazem parte das iniciativas, além de estudos realizados no intuito de preparar o país para as oportunidades e ameaças do novo contexto econômico, social e político da 4RI.

No capítulo 6, é abordado o setor de bens de capital, com enfoque no segmento de máquinas e equipamentos utilizados para fins industriais. Para tanto, apresenta-se uma análise setorial, visando demonstrar como o setor de bens de capital encontra-se posicionado na economia do país e, por fim, são apresentados estudos que evidenciam oportunidades tecnológicas e estratégias nacionais propostas para a competitividade do setor de BK no contexto da 4RI.

No sétimo capítulo, serão apresentados os resultados da pesquisa a partir da análise documental, no intuito de propor a formulação de uma agenda estratégica para o setor de bens de capital. Nesse capítulo pretende-se analisar os indicadores qualitativos encontrados na pesquisa, traçando aproximações e distanciamentos ao relacionar oportunidades e barreiras, para estruturação de um modelo de agenda estratégica de manufatura avançada adequado ao contexto brasileiro.

O capítulo 8 apresenta a conclusão do trabalho, sendo seguido das referências utilizadas para sua execução e do anexo A – Matriz de Síntese.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA: A BASE CONCEITUAL DAS CONDICIONANTES PARA A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL**

O presente capítulo aborda a base conceitual das condicionantes para a Quarta Revolução Industrial e está dividido em quatro seções: A primeira seção, discorre sobre a Quarta Revolução Industrial e suas características. Na segunda seção são abordados aspectos referentes à inovação no contexto da 4RI. Na terceira seção é apresentada a revisão da literatura referente ao aprendizado tecnológico, e na quarta seção é apresentada a revisão da literatura no que concerne à capacitação tecnológica.

### **2.1 A Quarta Revolução Industrial e suas características básicas**

O termo “Quarta Revolução Industrial” (4RI) é utilizado para se referir às mudanças significativas e contemporâneas nos processos de produção, por meio de novas aplicações tecnológicas e das transformações organizacionais e gerenciais que emergem nesse contexto.

Tais mudanças e processos também ocorreram nas revoluções industriais anteriores: a primeira revolução industrial, no século XVIII, com a introdução da máquina a vapor nos processos produtivos; a segunda revolução, na década de 1870 que foi impulsionada pela utilização da energia elétrica para acionar as linhas de produção; e a terceira revolução baseada na microeletrônica e na automação. A quarta revolução industrial surge com os avanços tecnológicos da digitalização e das tecnologias de informação e comunicação (OCDE, 2017).

As mudanças preconizadas pela 4RI estimulam os avanços da ciência que, durante anos, vêm cooperando para a elaboração, compreensão e aprimoramento de técnicas favoráveis à inovação e ao desenvolvimento de tecnologias digitais que contribuem para a evolução e aprimoramento dos processos produtivos, tornando uma série de indústrias totalmente informatizadas e seus processos de produção “virtualizados” (GILCHRIST, 2016).

No limiar dessas mudanças, Hermann, Pentek e Otto (2016) identificaram na revisão da literatura quatro tecnologias essenciais que devem ser consideradas na implementação da 4RI: Sistemas Ciber-Físicos (CPS), Internet das Coisas (IoT), Internet dos Serviços (IoS) e Fábricas Inteligentes.

**Sistemas Ciber-Físicos** (*Cyber-Physical Systems - CPS*) são responsáveis pela fusão do mundo físico com o mundo virtual em que computadores e redes integradas monitoram e controlam processos físicos que, em geral, ocorrem em processo de *loops* gerando respostas para o processamento de dados (LEE, 2008, p. 363).

Esses sistemas são formados por 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 *et al.*, 2013).

A partir do controle e a integração dos sistemas, o CPS contribuirá para a formação das Cidades Inteligentes (*Smart City*), Fábricas Inteligentes (*Smart Manufacturing*), Rede Elétrica Inteligente (*Smart Grids*), Edifícios Inteligentes (*Smart Buildings*) e Casas Inteligentes (*Smart Homes*) (JIRKOVSKÝ; OBITKO; MARIK, 2016).

**Internet of Things (IoT)** permite que “coisas” e “objetos” como sensores, atuadores e telefones celulares interajam e cooperem com os componentes “inteligentes” ao seu redor para alcançar um propósito coletivo (GIUSTO *et al.*, 2010).

Para Li (2018), a estratégia chinesa *Made In China 2025* e a estratégia alemã *Industrie 4.0*, consideram importante a implementação da tecnologia de *IoT* na produção e a implantação na produção de rede digital visando à produção inteligente, integrada à cadeia de valor, criando, deste modo, um sistema de responsabilidade social que colabora para a formação de um cenário de manufatura global, inovador e competitivo. No Brasil, as atividades de *IoT* avançam, mas é necessário que se desenvolva a tecnologia no país. Para isso, pesquisas, investimentos e força de trabalho capacitada para o desenvolvimento dessa tecnologia são essenciais para que o país avance no uso e aplicação de tecnologias digitais (SALERNO, 2018).

No contexto da 4RI, a *IoT* é também reconhecida como “Internet das Coisas Industrial” (*IIoT*), para se referir às aplicações no setor industrial (WANG *et al.*, 2016). Nessa perspectiva, a implementação da *IIoT* nas indústrias modernas, apresenta alguns desafios a serem explorados: a) a busca de um método para configurar as categorias de redes; b) um software que capture, analise e utilize todas as informações objetivas.

Kiel *et al.* (2017) pesquisaram os benefícios econômicos, ecológicos e sociais e os desafios encontrados por empresas na implementação da Internet das Coisas

Industrial (IIoT). No resultado da pesquisa, os autores encontraram como benefícios o aumento da competitividade, criação de valor, aumento das receitas com vendas, de investimentos em P&D e com ativos tangíveis que envolvem a área de Engenharia, além da redução de custos diretos, custos de operações e pessoais.

Contudo, os autores encontraram alguns desafios que devem ser levados em consideração, quando da implementação da IIoT: integração técnica, mudança organizacional, cooperação entre empresas e a adaptação dos fabricantes diante das mudanças estabelecidas pela nova tecnologia digital (KIEL *et al.*, 2017).

**Internet dos Serviços (IoS)** permite que fornecedores ofereçam serviços pela Internet, contribuindo, assim, para a comunicação e negociação dentro de uma infraestrutura de negócios e serviços (BUXMANN; HESS; RUGGABER, 2009).

Os serviços são combinados e se transformam em valor, envolvendo vários fornecedores e canais de distribuição (BUXMANN; HESS; RUGGABER, 2009). A integração entre Internet das Coisas (*Internet of things - IoT*) e a Internet dos Serviços (*Internet of Services - IoS*) no processo de manufatura deu início à 4RI (KAGERMANN *et al.*, 2013).

**Fábrica Inteligente, Produção Inteligente ou Smart Factory** é a definição dada para uma fábrica que auxilia pessoas e máquinas na execução de atividades. São sistemas *ciber-físicos* de interconexão digital, que integram as unidades produtivas e suas respectivas cadeias com crescente utilização de inteligência artificial, onde desperdícios, defeitos e inatividade de sistemas são reduzidos (DIEDERIK *et al.*, 2014). Por apresentar essas características, as Fábricas Inteligentes constituem-se em uma característica fundamental da Indústria 4.0 (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Para Hermann, Pentek e Otto (2016), a tecnologia M2M - comunicação máquina a máquina e a chamada tecnologia de *Smart Products* não são tecnologias consideradas como componentes principais da indústria 4.0, pois a primeira opera como um facilitador da tecnologia de *IoT*, enquanto a segunda é um subcomponente dos sistemas *ciber-físicos* que já foram habilitadas em revoluções anteriores.

A partir do conjunto das 4 tecnologias-chaves para a implementação da 4RI, Hermann, Pentek e Otto (2016) atribuíram seis características essenciais para definir a indústria 4.0: 1) **interoperabilidade** - habilidade de comunicação em rede entre produtos, sistemas produtivos e de transporte; 2) **virtualização** - habilidade de monitoração de processos por sistemas e de dados produzidos por sensores criando,

assim, uma versão digital que espelha o mundo físico representado em modelos matemáticos; 3) **descentralização**, que consiste na composição de módulos computacionais inteligentes associados à produção e produtos, gerando a comunicação entre eles e seu estado atual; 4) **capacidade de resposta em tempo real**, que consiste na coleta e análise de dados gerados pelos sistemas inteligentes; 5) **orientação ao serviço**, como a disponibilidade das funcionalidades de empresas, sistemas inteligentes e operadores humanos encapsulados, em conformidade com os serviços prestados em plataformas da Internet dos Serviços (IoS); 6) **modularidade**, a partir de sistemas modulares que permitem o ajustamento e reorganização conforme a demanda para customizar produtos (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

A seguir, apresentam-se, no quadro 2, as principais características das tecnologias-chaves da indústria 4.0.

Quadro 2 - Características das tecnologias-chaves da indústria 4.0

	<b>Sistemas ciber físicos (CPS)</b>	<b>Internet das Coisas (IoT)</b>	<b>Internet dos Serviços (IoS)</b>	<b>Fábrica Inteligente</b>
Interoperabilidade	✓	✓		✓
Virtualização	✓	-	-	✓
Descentralização	✓	-	-	✓
Capacidade de resposta em tempo real	-	-	-	✓
Orientação ao serviço	-	-	✓	-
Modularidade	-	-	✓	-

Fonte: adaptado de Hermann, Pentek e Otto (2016, p. 11).

A partir do quadro 2, observa-se que o conjunto de tecnologias apresenta características diferentes. Os sistemas ciber-físicos e a fábrica inteligente comunicam-se em rede, monitoram processos e podem operar em módulos. Deste modo, assume-se que esses sistemas são capazes de integrar a cadeia produtiva. A IoT, possui a característica de se comunicar em rede. E a IoS possui as características voltadas para as funcionalidades de empresas, sistemas inteligentes e operadores humanos, sendo também possível a implementação em módulos.

Além das tecnologias-chaves apresentadas por Hermann, Pentek e Otto (2016) e da revisão da literatura, foi possível encontrar outras tecnologias que fazem parte do conjunto de tecnologias habilitadoras da 4RI e estão descritas nas iniciativas dos países pesquisados e serão apresentadas a seguir: Manufatura Aditiva ou impressão

3D, Robôs autônomos (*Cobots*), *Big Analytics* e *Big Data*, *Cibersegurança*, *Biotecnologia*, Armazenamento de Energia (AE), Computação em Nuvem, Inteligência Artificial (IA), Materiais Avançados, Nanotecnologia, Realidade Aumentada, Rede de Comunicação e Simulação.

**Manufatura Aditiva ou impressão 3D** converte um modelo 3D em um arquivo CAD - *software* de desenho por computador, em um objeto físico ligando ou unindo materiais pela luz, vibração ultrassônica, *laser* e feixe de elétrons. Tem características diferentes, conforme os materiais ou métodos de colagem (KANG *et al.*, 2016).

No contexto da indústria 4.0, esses métodos de fabricação oferecem vantagens de construção, como designs complexos e leves e são amplamente utilizados para produzir pequenos lotes de produtos personalizados (LASI *et al.*, 2014).

**Robôs autônomos (Cobots)**, termo que vem da junção de “*collaborative*” e “*robot*”. Robôs e tecnologias de sensores incorporados estão cada vez mais flexíveis, comunicativos, cooperativos e em uso em muitas indústrias para a realização de atividades com alta complexidade (MICHNIEWICZ; REINHART, 2014).

No cenário desenhado pela 4RI, não são somente os robôs industriais que fazem com que uma indústria seja inovadora e produtiva. Robôs industriais são como peças fundamentais nos procedimentos de digitalização e automação das linhas de produção (WALTRICK, 2016). A robótica e a sua integração com a manufatura são mais simples e é menos sofisticada no Brasil. Uma estrutura automatizada requer custos/investimentos (SALERNO, 2018).

**Big Analytics e Big Data** são tecnologias que possuem uma arquitetura capaz de extrair um grande volume de dados, inseridos nos sistemas CPS e outros equipamentos conectados no sistema produtivo, contribuindo com organizações no alcance do valor econômico com essa descoberta, captura e análise de dados (GHOBAKHLOO, 2018).

Para Chen (2017), a tecnologia *Big Analytics* extrai informações e conhecimentos gerados no *Big Data* que são analisados em *clusters* e correlações construindo, assim, padrões sistemáticos. A coleta e avaliação de dados originados de várias fontes diferentes são requisitos padrões de apoio à tomada de decisões em tempo real (RÜßMANN *et al.*, 2015).

Tamás e Illés (2016) asseveram que a Big Data, CPS e IoT, são tecnologias interligadas. Neste sentido, os sistemas Cyber-Physical Systems (CPS) e a Internet das Coisas são essenciais nos processos que envolvem o Big Analytics.

Salerno (2018) afirma que no Brasil é necessário caracterizar as tecnologias que estão na raiz da manufatura avançada. As grandes bases de dados (*big-data*), pressupõe uma base computacional potente e isso, segundo o autor, já existe no país. O problema para desenvolver são pessoas capacitadas para operar com redes neurais-equações hierárquicas.

**Cibersegurança** tem como objetivo proteger um maior número de canais de comunicação garantindo o desempenho das redes que se comunicam dentro do contexto da indústria 4.0 (AIREHROUR; GUTIERREZ; RAY, 2016).

Schluga *et al.* (2018), asseveram que toda empresa deve se conscientizar quanto aos riscos de ataques cibernéticos. Os principais conceitos relacionados à segurança de operações são: a) redução da vulnerabilidade operacional; b) proteção dos recursos ativos da computação e da informação; c) equilíbrio quanto à facilidade da utilização, controle do sistema e relevância dos dados nos negócios; d) cumprimento das leis e todos os aspectos organizacionais.

Dentre as vulnerabilidades de segurança operacional que são exploradas pelos invasores encontra-se a que envolve a vulnerabilidade do fornecedor para ataques de “*phishing attacks*”<sup>7</sup> e roubo de credenciais que resultam em exposição de dados (LUTHRA; MANGLA, 2018). Uma outra vulnerabilidade encontra-se no topo da cadeia de suprimentos que abrange inclusive todos os processos organizacionais de atores dependentes (LUTHRA; MANGLA, 2018).

Para que essas vulnerabilidades sejam solucionadas, é essencial que o espaço fabril e toda a cadeia de suprimentos mantenham-se em segurança no contexto da manufatura avançada (LUTHRA; MANGLA, 2018).

**Biotecnologia** destaca-se pela sua contribuição nas atividades relacionadas ao sequenciamento genético, a combinação de edição de impressora 3D, a Biologia sintética a partir da manipulação do DNA, as ciências ligadas ao cérebro, e as inovações que contribuem para cuidados da saúde, produção de alimentos, criação de próteses e interações de ondas cerebrais com objetos externos ao corpo humano (PIRES, 2018).

Ressalta-se que essas evoluções e inovações no campo da biologia, são possíveis a partir de experimentos em laboratórios e do desenvolvimento de nanoestruturas que são frutos do avanço da informática (PIRES, 2018).

---

<sup>7</sup> *Phishing attacks* são roubos de dados pessoais de pessoas físicas e jurídicas (HONG, 2012).

**Armazenamento de Energia (AE)** é uma tecnologia aplicada na eletrificação de sistemas produtivos ou produtos autônomos e para a conservação de energia. Inovações na área de AE, (especialmente baterias) são objetos para as inovações de: a) *IoT* como os dispositivos conectados portáteis e os *drones*; b) sistemas em redes como o fornecimento de energia para grandes servidores; c) fornecimento de energia para sistemas produtivos independentes. Pesquisas de AE com base no grafeno já são passíveis de serem realizadas, em virtude do avanço do desenvolvimento da ciência de materiais (IEL, 2017).

Algumas das finalidades do uso de tecnologias de AE são: independência de sistemas em relação à rede de eletricidade e eletrificação de produtos e processos no passado dependentes de combustível fóssil e segurança das matrizes energéticas. Tais usos dependem de variáveis técnicas: portabilidade (relação potência/peso); duração da recarga; potência máxima nominal e real; e segurança de uso (IEL, 2017).

**Computação em Nuvem** consiste na transferência de dados e realização de processos computacionais em provedores habilitados para gerar recursos de fabricação. Deste modo, o cliente acessa a plataforma, solicita os requisitos do produto como design e testes e gerencia todas as etapas do ciclo de vida do produto (XU; XU; LI, 2018).

Na indústria 4.0, o conceito atribuído a essa tecnologia é o de manufatura em nuvem ou fabricação em nuvem. No ambiente fabril, a tecnologia é utilizada para o design e fabricação de produtos (*Cloud-Based Design and Manufacturing-CBDM*). Os principais benefícios do CBDM são: acesso remoto; eficiência em custo; armazenamento seguro que comporta alto volume de dados com custos reduzidos e flexibilidade. Devido a sua estrutura e integração, são os pilares principais para a sustentação das tecnologias - CPS, IoT e IIoT (WU; TERPENNY; SCHAEFER, 2017).

**Inteligência Artificial (IA)** é definida como a capacidade de processar grandes volumes de dados, incluindo as linguagens naturais e imagens que, a rigor, os computadores não conseguiriam compreender (PARK, 2018).

Lee, Davari e Singh (2018) definem a IA como uma disciplina sistemática, que se concentra no desenvolvimento, validação e implantação de vários algoritmos de aprendizado de máquina para aplicações industriais com desempenho sustentável. O autor relaciona os elementos-chave que formam a inteligência artificial na indústria, incluindo as seguintes tecnologias: tecnologia analítica; Big Data e computação em nuvem.

**Materiais avançados** agregam novos atributos a materiais comuns ou são materiais novos com atuação superior em um ou mais atributos. Sua aplicação ocorre de forma específica a exemplo das embalagens “inteligentes” e materiais para impressão de circuitos eletrônicos e manufatura digital (OCDE, 2015; IEL, 2017). São divididos em cinco categorias: nano materiais, materiais funcionais, materiais com desempenho elevado, materiais de fontes renováveis e produtos de terras-raras (IEL, 2017).

**Nanotecnologia** são tecnologias que manipulam estruturas e sistemas minúsculos que normalmente possuem menos de 100 nanômetros (OCDE, 2010). Algumas contribuições da nanotecnologia na produção referem-se a produtos mais leves, de custo reduzido, mais fortes e eficientes em termos de energia (OCDE, 2015). Apesar de as subáreas da nanotecnologia estarem em fase inicial de desenvolvimento, já ocorre a comercialização de produtos que surgem da nano eletrônica, nano materiais e nano medicina (OCDE, 2015).

As aplicações da nanotecnologia ocorrem nos sistemas produtivos de nano medicina, nano cosméticos, nano eletrônica, novos materiais para computação; vestuário e dispositivos flexíveis; sensoriamento para IoT; energia como tecnologia auxiliar; e alimentos como tecnologia habilitadora para garantir a segurança alimentar (IEL, 2017).

**Realidade aumentada** permite que os sistemas baseados em realidade aumentada atendam a inúmeros serviços, como selecionar peças em um armazém e enviar instruções de reparo sobre dispositivos móveis. Esses sistemas estão atualmente em desenvolvimento, porém, no futuro, as empresas farão o uso intensivo dessa tecnologia (RÜßMANN *et al.*, 2015).

Um exemplo da aplicação dessa tecnologia ocorre na *Siemens* que desenvolveu um módulo de treinamento de operador de planta virtual para o *software Comos* que usa um ambiente 3D realista baseado em dados com óculos de realidade aumentada para treinar o pessoal da fábrica em emergências (RÜßMANN *et al.*, 2015).

**Rede de Comunicação** é um sistema que integra as funcionalidades de computadores, tecnologias de transmissão e recursos relacionados para processar, trocar ou difundir informações (IEL, 2017).

A integração dessas funcionalidades envolve sistemas e equipamentos automatizados, sistemas de logística interna e suprimentos operacionais permitindo o acesso direto aos processos e serviços de nível superior (JAZDI, 2014).

No contexto da 4RI, a sistematização de diferentes fábricas ocorre no intuito de tornar todo o ambiente fabril eficiente com menos manutenção e irregularidades que podem surgir no ambiente de produção. Deste modo, o foco é direcionado para vários fatores, como confiabilidade, longevidade de dispositivos de comunicação, em oposição a apenas a taxa de transferência como tradicionalmente considerado nos sistemas de comunicação sem fio que interagem com o ser humano (VARGHESE, TANDUR, 2014).

**Simulação** é a associação de diferentes ferramentas de computador que permite aos gerentes e designers o teste de performance de um sistema de produção (LUO *et al.*, 2011).

Kocian *et al.* (2012) asseveram que técnicas de simulação e modelagem visam simplificar e favorecer economicamente as ações de projetar, realizar, testar e executar uma operação de sistemas de manufatura. Acrescem Rübmann *et al.* (2015) que nas fábricas inteligentes, simulação e modelagem são necessárias para alavancar dados em tempo real no intuito de espelhar o mundo físico em um modelo virtual e envolve máquinas, produtos e humanos.

A Indústria 4.0 é, portanto, um sistema dinâmico e integrado para exercer controle sobre toda a cadeia de valor e todo o ciclo de vida dos produtos. Deste modo, integração vertical e horizontal, além da fusão do mundo físico com o mundo virtual, estão no centro da Indústria 4.0 (HOFMANN; RÜSCH, 2017).

A integração vertical é responsável pela integração dos vários sistemas inteligentes em diferentes níveis hierárquicos e envolve componentes, atuadores e sensores no nível do dispositivo, controladores lógicos programáveis - CLPs no nível de controle e aplicativos de análise de dados e planejamento de produção no nível do *enterprise resource planning* – ERP (LIU; XU, 2017).

Já a integração horizontal confere aos cyber physical production system -CPPs capacidades de cooperação autônoma em virtude dos *Cyber Twins* comunicarem-se através de interfaces M2M, monitorando e controlando uns aos outros com base em algoritmos específicos e com os dados obtidos do mundo físico. É a partir dessa interface que os dispositivos cooperam de forma autônoma uns com os outros, realizando, então, uma redução significativa do esforço humano (LIU; XU, 2017).

A implementação da indústria 4.0 contribui, assim, para mudanças em processos que envolvem a cadeia de valor, gerando uma produção de alta qualidade, rapidez, flexibilidade e redução de custos e, conseqüentemente, levando a um aumento da competitividade (BALASINGHAM, 2016).

A seguir serão abordados temas que envolvem elementos necessários para a trajetória rumo à 4RI e estão relacionados à inovação, ao aprendizado tecnológico e à capacitação tecnológica.

## 2.2 A abordagem sistêmica da inovação no contexto da manufatura avançada

Na concepção schumpeteriana, que emerge na passagem do século XIX para o Século XX, a inovação tem relação com as melhorias ou novas combinações de recursos tecnológicos que podem se manifestar das seguintes formas: (1) introdução de um novo bem que ainda não seja conhecido pelos consumidores; (2) introdução de um novo método de produção, ainda não testado pela indústria; (3) a abertura de um novo mercado em que um setor da indústria ainda não tenha entrado; (4) a descoberta de uma nova fonte de oferta de matérias-primas ou de bens semimanufaturados; (5) o estabelecimento de uma nova organização em qualquer indústria (SCHUMPETER, [1934], 1911).

Outra definição para inovação é apresentada por Tigre (2006). O autor diferencia a inovação pelo grau de mudança que passam produtos e processos sendo classificadas como: inovação incremental – apresenta baixo grau de novidade quando comparada à versão anterior de um produto ou processo; inovação radical – apresenta alto grau de novidade em virtude de romper trajetórias atuais, inaugurando uma nova trajetória tecnológica (TIGRE, 2006).

Deste modo, nas mudanças preconizadas pela 4RI, é possível afirmar que as inovações emergem das melhorias ou combinações de recursos tecnológicos (Schumpeter, [1934], 1911) e são caracterizadas como radicais, segundo o conceito de Tigre (2006), em virtude da entrada de novas tecnologias emergentes nesse novo contexto econômico e produtivo que mudam significativamente o modo de se produzir e desenvolver atividades nos vários setores da economia.

A seguir serão tratadas as temáticas que versam sobre sistema nacional e sistema setorial de inovação.

### 2.2.1 A base conceitual de sistemas de inovação

O conceito de Sistema de Inovação (SI) foi inicialmente discutido na obra seminal de Freeman (1988) que utilizou o termo para explicar o sucesso econômico do Japão, relacionando o sistema à rede de instituições integrantes dos setores privado e público, em particular nos setores de alta tecnologia, onde atividades e interações permitem iniciar, modificar e difundir novas tecnologias.

Freeman (1988) afirma que a ocorrência de *gap* tecnológico entre países, não se deve apenas em virtude das escalas em pesquisa e desenvolvimento P&D, do aumento de invenções e inovações, ou de clusters de inovação. Essa ocorrência deriva das mudanças institucionais no SI, dos novos modelos de organização da produção, dos investimentos e do marketing, além das novas combinações entre invenção e empreendimento.

A concepção do SI consolidou-se com as obras de Lundvall (1992) e de Nelson (1993) que realizaram a descrição comparativa de Sistema Nacional de Inovação (SNI) e apresentaram a importância da visão sistêmica da inovação. Na abordagem utilizada por Lundvall (1992) e Nelson (1993), o modelo sistêmico de inovação é conceituado como uma ampliação da concepção de inovação, levando em consideração as influências dos fatores organizacionais, institucionais e econômicos.

Para Freeman (1987) e Lundvall (1992) um SNI é constituído por elementos e relações que indicam a grandeza da capacidade de aprendizado e de inovar de um país, além da capacidade de se adaptar às mudanças do ambiente econômico. Assim, o SNI não é somente um agrupamento de laboratórios, mas sim um processo cumulativo de aprender-usando, aprender-fazendo e aprender-interagindo com o mercado (LUNDVALL, 1992).

Para Lundvall (1992), uma das características do ambiente econômico mundial nas últimas décadas é marcada pela aceleração dos processos de criação e destruição de conhecimento que ocasionou novos desafios para a sociedade. Essa afirmação se reforça nos movimentos preconizados da 4RI nos quais indivíduos e instituições devem estar atentos às tendências tecnológicas e de mercado que exigem capacidade para buscar novos conhecimentos.

Os esforços realizados pelos precursores que conceituaram SNI contribuíram para a evolução desse campo ao propor trabalhos com foco direcionado para uma

perspectiva analítica específica e recortes espaciais diferenciados, como, por exemplo, abordagens baseadas em limites setoriais e tecnológicos.

Uma das justificativas para esse movimento encontra-se, em parte, no reflexo das críticas que a corrente SNI vinha sofrendo acerca de seu limite estado-nação, dado que cada vez mais as estruturas produtivas dos países apresentam-se descentralizadas e formatadas em redes, com cadeias produtivas dispostas em escala globalizada (FREEMAN, 2002).

Na esteira dessas novas abordagens, Cooke, Uranga e Etxebarria (1997), propõem a abordagem de Sistema de Inovação Regional, enquanto Breschi e Malerba (1997), além de Malerba (2002), propõem abordagens focadas em Sistema Setorial de Inovação; Sistema Sociotécnico de Inovação (GEELS, 2002) e, por fim, os Sistemas Tecnológicos de Inovação (CARLSSON; STANKIEWICZ, 1991; CARLSSON *et al.*, 2002).

A concepção de sistema setorial de inovação aproxima-se dos conceitos da teoria evolucionária e afasta-se do conceito tradicional de setor usado na economia industrial, uma vez que examina outros agentes além das firmas, com enfoque nas interações mercadológicas e não mercadológicas, além de recursos sistêmicos relacionados a conhecimento e fronteiras, heterogeneidade de atores e redes, instituições e concentra-se na transformação do sistema por meio de processos co-evolucionários (MALERBA, 2002; 2003).

Nessa perspectiva, três dimensões são estabelecidas: 1) Conhecimento e domínio tecnológico; 2) Atores e redes; 3) Instituições (MALERBA, 2002; 2003). Diante dessas três dimensões, os autores conceituam sistemas setoriais de inovação como:

[...] um conjunto de produtos novos e estabelecidos para usos específicos e o conjunto de atores que realizam interações de mercado e não-mercado para a criação, produção e venda desses produtos. Um sistema setorial possui uma base de conhecimento, tecnologias, insumos e uma demanda existente, emergente e potencial. Os atores que compõem o sistema setorial são organizações e indivíduos, a exemplo de consumidores, empreendedores e cientistas. As organizações são firmas que envolvem usuários, produtores e fornecedores de insumos e organizações não-firmas representadas por universidades, instituições financeiras, agências governamentais, sindicatos ou associações técnicas, além de subunidades de organizações maiores - departamentos de P&D ou produção e grupos de organizações - associações industriais. Os atores são reconhecidos a partir de processos específicos de aprendizagem, competências, crenças, objetivos, estruturas e comportamentos organizacionais. As interações entre estes são moldadas por instituições (regras e regulamentos) e ocorre por meio de processos de comunicação, intercâmbio, cooperação, competição e comando (MALERBA, 2002, p. 250, tradução nossa).

Conforme a evolução dos sistemas setoriais de inovação, poderão ocorrer mudanças nos regimes tecnológicos e de aprendizado, além de mudanças nos padrões de inovação, que resultam em um processo coevolucionário de suas dimensões principais, envolvendo conhecimento, tecnologia, atores e instituições (MALERBA, 2003).

Essas mudanças poderão ocorrer na base de conhecimento de atividades inovadoras, exigindo novas competências, assim como na demanda, usuários e aplicativos aptos a transformar a dinâmica do sistema setorial favorecendo a entrada de novas firmas em desvantagem do sucesso de empresas já estabelecidas (MALERBA, 2003).

Para Malerba (2002; 2003), a visão setorial fornece ferramentas para análise da dinâmica e transformação dos setores, assim como para a identificação dos elementos que afetam a inovação, o desempenho e a competitividade de firmas e países. O autor apresenta algumas características do setor de máquinas e equipamentos, a saber: a) o conhecimento é de base específica e incorporada em pessoal qualificado; b) ocorre a presença extensiva de sistemas locais de inovação e produção c) existe a interação entre usuários, produtores e capital humano qualificado, não necessariamente com diploma técnico e/ou universitário, mas experiência suficiente para lidar com o chão de fábrica.

Ademais, as firmas são intensamente especializadas, com focos em segmentos verticais específicos e diferentes processos internos que, por serem particulares, levaram a diferentes sistemas setoriais que divergem de país para país, tornando esse setor bastante heterogêneo (MALERBA, 2003).

No setor de máquinas e equipamentos, a inovação caracteriza-se cada vez mais como sistêmica, e muitos fornecedores estão realizando inovações para modernizar seus produtos e processos. O conhecimento tecnológico de alta precisão torna-se relevante no processo produtivo, bem como na fabricação de peças, componentes e elementos de máquinas (MALERBA, 2003).

Diante das abordagens apresentadas sobre SI, coube nesta pesquisa avaliar quais podem ser consideradas para tratar do setor de BK diante das mudanças preconizadas pela 4RI. Deste modo, para o que propõe esta tese, serão consideradas as abordagens descritas sobre sistema nacional de inovação e sistema setorial de inovação, haja vista que o setor de bens de capital é transversal e perpassa pelos dois modelos de sistemas.

A seguir serão tratadas as temáticas que versam sobre paradigmas e trajetórias tecnológicas.

### 2.2.2 Paradigmas e trajetórias tecnológicas

A inovação tecnológica está relacionada à resolução de problemas tecnológicos, que necessita de uma base de conhecimentos advindos de experiências prévias, do conhecimento formal que possui base científica e capacidades específicas não codificadas nas organizações. Deste modo, a busca para soluções de inovação nas organizações requer o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de modelos e procedimentos específicos (DOSI, 1982).

Da mesma forma, é possível afirmar que os avanços tecnológicos absorvidos em um determinado momento tendem a ser semelhantes aos esforços anteriores, com efeito multiplicador (DOSI, 1982). A existência de uma “vizinhança tecnológica”, com habilidade para assimilar conhecimentos em áreas correlatas, contribui para o transbordamento do conhecimento técnico adquirido estimulando os efeitos da decisão em inovar e exprime a dimensão cumulativa do conhecimento técnico (DOSI, 1982).

Ademais, as tecnologias desenvolvem-se relativamente ao longo de trajetórias que são moldadas pelas propriedades técnicas específicas estabelecidas por regras e pela acumulação de conhecimento incorporado em cada paradigma tecnológico. O ambiente histórico estabelece a dependência do caminho (*path dependence*), pois o passado induz o rumo das trajetórias futuras (DOSI, 1982).

Nos processos que envolvem tecnologias cumulativas, ocorrem trajetórias naturais, que surgem dos avanços dessas tecnologias e são processadas ao longo de rotas cuidadosamente definidas, correspondem aos possíveis desdobramentos relativos ao conhecimento tecnológico em uma área específica e adquiridas pela organização, em virtude de haver uma demanda rentável. Os aspectos cognitivos das dinâmicas que envolvem essas trajetórias naturais são definidos pelos autores como regime tecnológico (NELSON; WINTER, 1977 p. 56).

Dosi (1982) prefere tratar esses aspectos como paradigmas tecnológicos. O autor parte do pressuposto de que existe uma semelhança em termos de definições e procedimentos, entre a ciência e a tecnologia, tendo em conta que a ciência sugere a existência de paradigmas científicos e a mudança técnica sugere a existência de

paradigmas tecnológicos. Ambos os paradigmas integram uma padronização específica de investigação atribuída na definição de problemas (DOSI, 1982).

No limiar dessa ideia, a natureza paradigmática que envolve o acúmulo do conhecimento tecnológico expressa-se na natureza comparativamente ordenada dos padrões observados de mudança tecnológica (DOSI, 1982).

E, a partir dessa construção, o autor conceitua tecnologia como um conjunto de parcelas de conhecimento de natureza prática que se relaciona a problemas e dispositivos concretos e de natureza teórica que seja aplicável ou será aplicada envolvendo: métodos, *know-how*, procedimentos, equipamentos, dispositivos físicos e as experiências adquiridas e acumuladas com sucessos e fracassos (DOSI, 1982).

O processo de inovação tecnológica ocupa espaço de destaque na dinâmica competitiva, desenvolve-se a partir do conhecimento tecnológico, do acúmulo de competências e do grau de experiência adquirida nas organizações, contribuindo, a partir desses elementos, para a diversidade tecnológica e promovendo descontinuidades na dinâmica do sistema.

Ademais, o processo de inovação envolve uma complexa estrutura de retroalimentação entre o ambiente econômico, que o certifica à proporção que uma inovação é selecionada pelo mercado na lógica de desenvolvimento e de manejo dos conhecimentos próprios, sejam estes conhecimentos de base científica e formal ou de base tácita e prática, associados à tecnologia em questão (NELSON; WINTER, 1977).

Na esteira de componentes que envolvem a dimensão econômica e considerando o mercado como um meio de seleção é que ocorrem os paradigmas e trajetórias. No intuito de apreender essa dimensão econômica das inovações, Dosi (1982), apresenta três de suas características mais importantes:

- a) oportunidade tecnológica, para a introdução de avanços tecnológicos que sejam relevantes;
- b) cumulatividade das capacitações tecnológicas, inerentes de padrões de inovação e à capacidade de inovar das organizações;
- c) apropriação privada das vantagens advindas da inovação, com base na conquista do retorno econômico.

Essas três características apresentadas por Dosi (1982), são importantes para o entendimento da natureza do impacto econômico das inovações que envolvem a criação, sustentação e ampliação das vantagens competitivas que distinguem as organizações e os mercados.

O período em que ocorre a transição de paradigmas é um período importante que oferece oportunidades para a entrada direta em novas indústrias. No início de uma revolução tecnológica, as exigências e barreiras à entrada nos novos sistemas tecnológicos são menores, no que se refere a experiências ou habilidades de administração e de capital, o que deveria ser considerado o cenário ideal, caso não existissem outros fatores que também são necessários para o progresso do desenvolvimento, como, por exemplo: elevados níveis de externalidades e existência de uma infraestrutura de conhecimento científico e tecnológico (PEREZ; SOETE, 1988, p. 476).

A disponibilidade dessa infraestrutura tecnológica e institucional, que envolve a participação de universidades e de pessoal qualificado, concederia o ingresso, de maneira relativamente autônoma, nas novas indústrias do novo sistema tecnológico em sua fase inicial, viabilizando uma trajetória de desenvolvimento próspera e o *catching-up* “com os líderes” (PEREZ; SOETE, 1988, p. 476).

Porém, a inexistência desse ambiente nos países em desenvolvimento impede a continuidade do processo endógeno de geração de conhecimento e formação das habilidades nas empresas, conforme o sistema tende a evoluir (PEREZ; SOETE, 1988, p. 476).

Deste modo, o problema é atravessar com sucesso as fases seguintes do paradigma, pois envolvem, não apenas o constante esforço tecnológico dos países, mas também o fluxo crescente de investimentos (PEREZ; SOETE, 1988). Conforme Perez e Soete (1988), o avanço do desenvolvimento e do processo de *catching-up* decorre da “[...] capacidade em estabelecer sistemas tecnológicos inter-relacionados” que, na medida em que evoluem, geram a sinergia para um processo autossustentado de crescimento (PEREZ; SOETE, 1988, p. 476).

Assim, o desenvolvimento com *catching-up* exige o suporte cada vez maior do ambiente econômico, inovação constante e o investimento intensivo em capital. Esses elementos podem ser “[...] previamente criados com as tecnologias maduras ou adquiridos mediante um intenso processo de aprendizado e investimento em melhoria do meio social e econômico” (PEREZ, 2001, p. 113).

Neste contexto, o processo desigual de desenvolvimento e industrialização dos países necessita ser percebido como resultado histórico da propagação das sucessivas revoluções tecnológicas, pois as distintas capacidades de assimilação das tecnologias e os diferentes contextos institucionais dão forma às distintas trajetórias

evolutivas observadas ao longo do tempo, inclusive com dimensões diferentes para os diversos setores de atividade econômica.

Compreender como os setores estão relacionados aos paradigmas tecnológicos e às mudanças decorrentes de revoluções tecnológicas são importantes, já que essa compreensão irá contribuir para formuladores de políticas definirem alvos de ações específicas e aos pesquisadores da área de economia da inovação processarem dados de forma agregada (CAVALCANTE, 2014).

As condições estabelecidas para a trajetória rumo a 4RI envolvem as discussões abordadas acima no que se refere à implementação, tecnologias, ambiente favorável à inovação e à presença de sistemas de inovação setorial e nacional além das possíveis trajetórias tecnológicas que abarcam oportunidades a partir de um processo cumulativo e específico às firmas (*path dependence*), haja vista que suas trajetórias tecnológicas estão fortemente condicionadas ao que elas foram capazes de fazer tecnologicamente no passado (DOSI, 1982).

Contudo, os debates sobre os elementos necessários para a trajetória rumo à 4RI envolvem o estoque de conhecimento e aprendizado disponíveis para que se possa implementar e aplicar as tecnologias digitais. Neste sentido, a seguir, será abordada a revisão de literatura referente ao aprendizado tecnológico.

### 2.3 Aprendizado tecnológico

A aprendizagem na literatura econômica está associada aos procedimentos cumulativos em que as organizações ampliam seus estoques de conhecimento, aperfeiçoam seus procedimentos de busca e refinam suas habilidades em desenvolver ou manufaturar produtos.

Bell (1984) afirma que a aprendizagem tecnológica é a obtenção do aprendizado individual disseminado na organização como aprendizado organizacional, contribuindo para que empresas criem aptidões necessárias para a realização de atividades organizacionais.

Os tipos de aprendizado são discutidos por vários autores na academia (ARROW, 1962; VON HIPPEL, 1986; LUNDVALL, 1986; MALERBA, 1992; DYER, 1996; CASSIOLATO, 2004; DALUM, JOHNSON, LUNDVALL, 2010).

No âmbito de processos de inovação e das mudanças preconizadas pela 4RI, é oportuno que se apresente uma síntese desses tipos de aprendizado no intuito de

se reconhecer e compreender se estes estão sendo contemplados quando da intenção ou formulação de iniciativas para políticas tecnológicas no contexto da manufatura avançada.

Os principais tipos de aprendizado e como estes são adquiridos pelas organizações e indivíduos serão apresentados a seguir, no quadro 3.

Quadro 3 - Tipos de aprendizado

Tipo de aprendizado	Aquisição
<i>learning by doing</i>	Experiência interna acumulada pelos agentes a partir da repetição das atividades produtivas/rotineiras. Por ser reaplicado possibilita maior eficiência nos processos de produção e contribui para a redução de custos.
<i>learning by using</i>	Uso de novas tecnologias, insumos e máquinas para o melhoramento da produção e dos processos. Possibilita a identificação de características que não percebidas em testes de qualidade ou em simulações.
<i>learning from advances em S&amp;T</i>	Está associado ao avanço dos conhecimentos que são aplicáveis na ciência e na tecnologia.
<i>learning from inter-industry spillovers</i>	Tem relação com o que as outras indústrias estão fazendo. Quais são as formas de aprendizado que podem ser transferidos.
<i>learning by interacting</i>	Interação com fontes de conhecimento, a exemplo de clientes, fornecedores de bens de capital e o setor industrial.
<i>learning by searching</i>	É interno à empresa e pode estar vinculado às atividades formais de P&D voltadas à criação de novos conhecimentos.
<i>learning by imitating</i>	É decorrente do processo que busca reproduzir inovações desenvolvidas e/ou introduzidas por outras empresas, de forma autônoma e não cooperativa.
<i>learning by hiring</i>	É derivado do conhecimento de trabalhadores (especialistas) contratados de outras firmas. O aprendizado <i>by hiring</i> está diretamente associado à importância do conhecimento tácito nos processos de inovação, uma vez que a contratação de um <i>expert</i> é considerada menos custosa para a firma do que outra forma de tentar desenvolver ou adquirir o conhecimento demandado.

Fonte: adaptado de Arrow (1962), Von Hippel (1986), Lundvall (1986), Malerba (1992), Dyer (1996), Cassiolato (2004), Dalum, Johnson, Lundvall, (2010).

Dentre os tipos de aprendizados disponíveis, o processo de interação é defendido por Dalum, Johnson e Lundvall (2010), como condicionante para a criação da capacidade tecnológica de um sistema nacional de inovação. Ademais, as relações entre usuários e fornecedores são identificadas como essenciais para o

desenvolvimento de inovações industriais (VON HIPPEL, 1986; LUNDVALL, 1986; DYER, 1996). Na outra ponta, o governo deve atuar como a única agência responsável pela conexão geral desse sistema, além de prover a harmonia do sistema social como um todo.

Assim, visando à participação de atores nas esferas pública e privada, Dalum, Johnson e Lundvall (2010), apresentam algumas dimensões de aprendizado bem como ações que devem ser tomadas para que ocorra a disseminação do aprendizado nas organizações. O quadro 4 apresenta essas dimensões e as ações necessárias para a prática do aprendizado.

Quadro 4 - Dimensões e ações para aquisição do aprendizado

<b>Dimensões</b>	<b>Ações</b>
Meios para aprender	Elaborar políticas públicas nas instituições educacionais e no sistema de treinamento, que visem à capacidade de tomadas de decisões frente a desafios apresentados.
Incentivos para aprender	Oferecer incentivos a partir do sistema formal de educação além de treinamentos que estimulem a contribuição do indivíduo para o desempenho do grupo. No curto prazo, sistemas de premiação não financeiros e coletivos na esfera da firma, bem como programas governamentais apoiando projetos de cooperação e formação de redes entre firmas, contribuem para o estabelecimento de uma comunicação eficiente entre os atores envolvidos nesse processo.
Capacidade para aprender	Proporcionar ambientes em que diferentes tipos de conhecimento, habilidades, competências e experiências sejam combinados e possam gerar novos conhecimentos. Para isso é necessário que ocorram interfaces entre firmas e organizações públicas.
Acesso à informação	Desenvolver e implantar políticas públicas de acesso à informação que envolvam a privacidade e segurança dos dados.
Relembrar e esquecer	Implantar sistema de inovação flexível que seja capaz de atualizar rotinas organizacionais que eram utilizadas no passado em virtude de atuações e novas formas de rotinas organizacionais necessárias e atuantes no presente. Indivíduos devem ser capazes de esquecer habilidades e experiências obsoletas. A elaboração de políticas públicas de recolocação profissional é fundamental para a superação do processo de esquecimento de habilidades.
Utilização do aprender	Acompanhar os avanços tecnológicos a partir de avaliação constante e incentivar a orientação dos esforços para campos como saúde, nutrição e energias renováveis são iniciativas fundamentais para a elaboração de políticas públicas de inovação.

Fonte: adaptado de Dalum, Johnson e Lundvall (2010).

Os procedimentos que envolvem a aquisição do conhecimento buscam a sustentação da competência já existente em uma organização e podem ser adquiridos interna ou externamente.

Para Figueiredo (2009), como as empresas pertencentes a países em desenvolvimento iniciam numa condição pobre em recursos, precisam buscar conhecimento externo a fim de constituir e acumular suas próprias capacidades, sejam estas, de produção ou de inovação.

Ressalta-se que fatores externos e internos à empresa podem influenciar as competências tecnológicas (TACLA; FIGUEIREDO, 2006). Assim como fatores externos, destacam-se as políticas governamentais (macroeconômica, industrial e tecnológica), a interação com infraestruturas tecnológicas (por exemplo, universidades e institutos de pesquisa) além das condições de mercado (LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1995; KIM, 1997; FIGUEIREDO, 2001).

Quanto aos fatores internos, o acúmulo de competências tecnológicas da empresa pode ser influenciado pela liderança exercida e pelos valores e crenças organizacionais (SENGE, 1990; LEONARD-BARTON, 1995; FIGUEIREDO, 2001).

## 2.4 Capacidades tecnológicas

No limiar das razões sobre trajetórias tecnológicas inserem-se argumentos para a capacidade tecnológica que, para Bell e Pavitt (1995), é o conjunto de recursos necessários para a geração, utilização e gestão de tecnologias com determinado nível de eficiência. Os recursos são acumulados e incorporados aos sistemas organizacionais, aos indivíduos em termos de aptidões, experiência e conhecimento (BELL; PAVITT, 1995).

A definição de Bell e Pavitt (1995) engloba a dimensão técnica e a dimensão organizacional sendo mais adequada para descrever a trajetória de acumulação de capacidade sobretudo em países em desenvolvimento.

Esses países podem adotar e utilizar tecnologias produzidas em países industrializados, porém precisam também colaborar para a produção dessas tecnologias de uma forma continuada, gerando e acumulando capacidade de inovação (BELL; PAVITT, 1995).

A conquista de capacidade tecnológica, especialmente em países em desenvolvimento, não pode ser unicamente originada da aquisição de tecnologia estrangeira. A suposição de que países em desenvolvimento só podem gerar mudanças tecnológicas se adquirirem tecnologias produzidas em países

industrializados tem ofuscado a relevância da acumulação de capacidades internas para gerar e gerir essas mudanças (BELL; PAVITT, 1995).

O complexo agrupamento de informações – codificadas ou tácitas, faz parte da tecnologia. Sendo as tácitas dificilmente transferidas entre organizações e países, devendo, portanto, ser desenvolvidas internamente, proporcionando a geração de mudanças (BELL; PAVITT, 1995).

Nessa mesma perspectiva, acresce Lall (1992) que o conhecimento tecnológico não é algo que possibilita facilmente a sua transferência entre organizações, em virtude da sua natureza tácita.

Contudo, este mesmo autor defende que quando adquiridas as tecnologias, esforços por parte do capital humano, e investimentos por parte da empresa, devem ocorrer para que essa adoção de tecnologia alcance a maturidade desejada.

Dodgson e Bessant (1996) afirmam que empresas podem criar estratégias para o desenvolvimento de capacidades tecnológicas inclusive beneficiando-se das combinações entre elas para a eficácia de seus planos de produção e venda de produtos e serviços. O quadro 5 sintetiza as estratégias e ações apresentadas pelos autores.

Quadro 5 - Estratégias e ações

<b>Campos estratégicos</b>	<b>Ações</b>
Consultoria	Busca de aconselhamento e estratégias que contribuam para o reconhecimento e identificação de mudanças na organização
Benchmarking	Permite direcionamento para o desenvolvimento de manufatura.
Plano estratégico	Permite às empresas criar uma estrutura que defina qual mudança será necessária
Suporte para pesquisar tecnologias	Contribui para identificar um problema ainda articulado
Sinalização de tecnologia	Permite o acesso à tecnologia quando existe um problema claramente articulado
Análise de projetos	Facilita o acesso para financiamentos de projetos específicos
<i>Testbeds</i>	Permite o acesso à demonstração de projetos
Suporte para transferência de tecnologia	Contribui a partir de consultoria para direcionar acesso às tecnologias no curto prazo

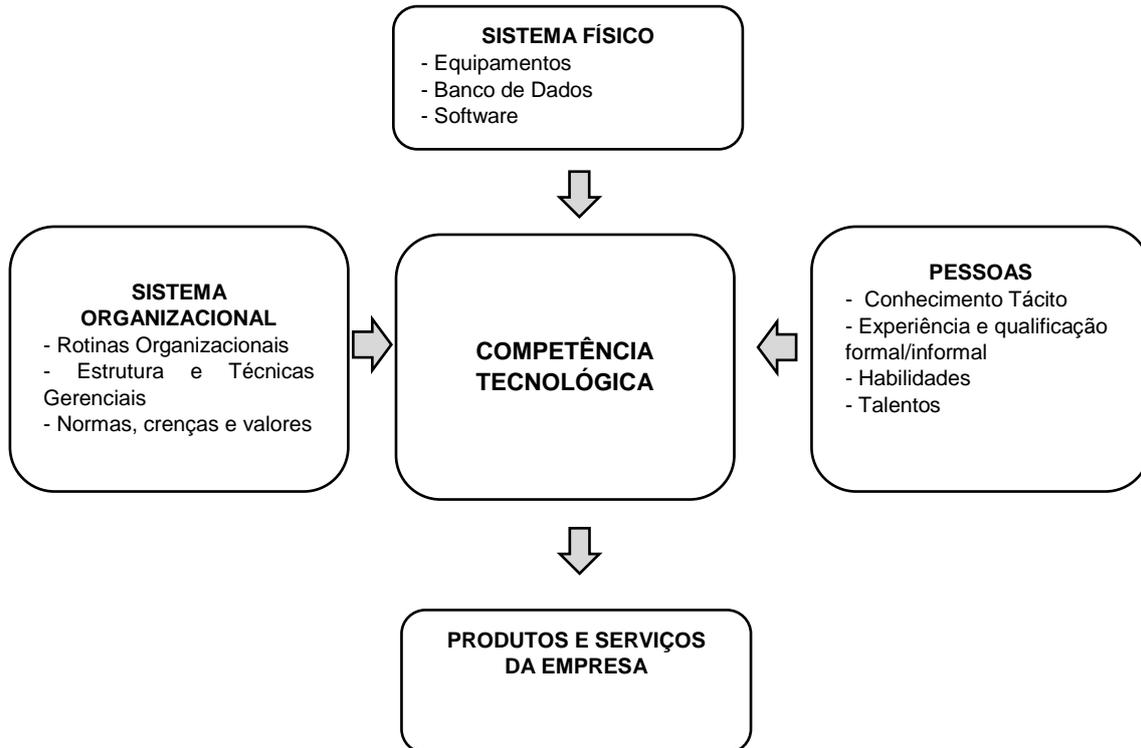
<b>Campos estratégicos</b>	<b>Ações</b>
Suporte para transferência de tecnologia no longo prazo	Contribui para o desenvolvimento e transferência de tecnologia no longo prazo a partir de parcerias com Universidades e Institutos de Pesquisas.
Acesso ocasional de equipamentos especializados	Oferece serviços de testes especializados de forma ocasional para atender necessidades específicas
Experiências e aprendizagem	Facilitar o compartilhamento de experiências e do aprendizado tecnológico
Treinamento e desenvolvimento	Capacitar a partir de treinamento e desenvolvimento profissional

Fonte: adaptado de Dodgson e Bessant (1996).

Para Figueiredo (2005) a transferência de uma tecnologia não abrange apenas a gestão da aquisição, instalação e utilização da tecnologia adquirida. Muitas empresas dão mais ênfase na aquisição da tecnologia do que nos procedimentos de aprendizagem que envolve o uso na prática, dificultando, assim, o desenvolvimento tecnológico em empresas de economias em desenvolvimento. No contexto da 4RI, essas recomendações de Figueiredo, avançam para a aplicabilidade das tecnologias digitais. A implementação é necessária, contudo, saber como aplicar é fundamental.

Faz parte do processo o envolvimento de toda a empresa em um fluxo contínuo de aprendizagem tecnológica, que contribui para a empresa realmente incorporar a tecnologia adquirida em suas práticas organizacionais. Para tanto, o autor sugere o envolvimento da organização em quatro dimensões cuja capacidade tecnológica pode ser acumulada, conforme apresenta-se na figura 1.

Figura 1 - Acumulação de capacidades tecnológicas



Fonte: adaptado de Figueiredo (2003).

Na figura 1, as quatro dimensões sugeridas por Figueiredo (2003) envolvem: o Sistema Físico que é a parte técnica da tecnologia, como os equipamentos; os *softwares*; e as bases de dados; as pessoas - capital humano da empresa, sendo constituído dos conhecimentos; das habilidades; experiências dos indivíduos; o sistema organizacional - todo o conhecimento incorporado nas rotinas (o modo de desempenhar as atividades na empresa) e nos procedimentos organizacionais que conduzem a empresa na realização de atividades, produtos e serviços que representam o resultado do esforço dos três componentes anteriores, refletindo, assim, o conhecimento incorporado nas pessoas, nos sistemas organizacionais e físicos.

Figueiredo (2003) assevera que todas as dimensões devem ser consideradas em constante equilíbrio. Neste sentido, não valorizar estes quatro componentes em conjunto leva à adoção de uma perspectiva limitada da capacidade tecnológica, possivelmente conduzindo a resultados desfavoráveis na implementação de estratégias de inovação nas empresas.

## 2.5 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo foram abordados temas referentes ao contexto da Quarta Revolução Industrial, que são necessários para a construção do pensamento com relação aos elementos necessários na trajetória rumo a essa nova revolução.

Foram abordadas as tecnologias emergentes da manufatura avançada, visando compreender o conceito de cada uma, além da importância atribuída para tais tecnologias no contexto da manufatura avançada.

Os conceitos de inovação, paradigmas e trajetórias tecnológicas foram apresentados em virtude de se relacionarem aos movimentos necessários à trajetória da manufatura avançada.

Com relação à abordagem de sistemas de inovação, no item que trata do assunto, foi possível afirmar que o setor de Bens de Capital é transversal e, por este motivo, insere-se nos sistemas nacionais e setoriais de inovação.

Os principais tipos de aprendizado apresentados na literatura são: *learning by doing*, *learning by using*, *learning from advances* em S&T, *learning from inter-industry spillovers*, *learning by interacting*, *learning by searching*, *learning by imitating*, *learning to learn* e *learning by hiring*.

As dimensões necessárias para a prática do aprendizado são elaboradas a partir de elementos que envolvem: Meios para aprender, Incentivos para aprender, Capacidade para aprender, Acesso à informação, lembrar e esquecer e Utilização do aprender.

As estratégias para o desenvolvimento de capacidades tecnológicas podem ser elaboradas levando em consideração: Consultoria, Benchmarking, Plano estratégico, Suporte para pesquisar tecnologias, Sinalização de tecnologia, Análise de projetos, *Testbeds*, Suporte para transferência de tecnologia, Suporte para transferência de tecnologia no longo prazo, Acesso ocasional de equipamentos especializados, Experiências e aprendizagem, Treinamento e desenvolvimento.

A capacidade tecnológica pode ser acumulada a partir das quatro dimensões sugeridas por Figueiredo (2003) que envolvem: o Sistema Físico que é a parte técnica da tecnologia, como os equipamentos; os *softwares*; e as bases de dados; as pessoas - capital humano da empresa, sendo constituído dos conhecimentos; das habilidades; experiências dos indivíduos; o sistema organizacional - todo o conhecimento incorporado nas rotinas (o modo de desempenhar as atividades na empresa) e nos

procedimentos organizacionais que conduzem a empresa na realização de atividades, produtos e serviços que representam o resultado do esforço dos três componentes anteriores, refletindo, assim, o conhecimento incorporado nas pessoas, nos sistemas organizacionais e físicos.

Os elementos inseridos neste capítulo em conjunto com a análise documental das iniciativas de países para a trajetória rumo à manufatura avançada, contribuirão para responder aos objetivos propostos nesta tese.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados na elaboração desta pesquisa de tese. O capítulo está dividido da seguinte forma: Caracterização e tipo de pesquisa; Técnicas de Coleta de Dados; Tratamento dos Dados e Análises.

#### 3.1 Caracterização e tipo de pesquisa

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo qualitativo, transversal, descritivo e de caráter exploratório. É uma pesquisa qualitativa por sua abordagem propositiva e por priorizar a análise documental das iniciativas nacionais para a trajetória rumo à manufatura avançada dos países: Alemanha, China, EUA, Japão e Brasil. Creswell (2014) afirma que a condução de uma pesquisa qualitativa ocorre quando um problema em um grupo ou população precisa ser explorado.

Segundo Vergara (2006), realizamos uma pesquisa exploratória quando há pouco conhecimento acumulado e sistematizado na área em que se faz a pesquisa. Neste sentido pretende-se, a partir da revisão da literatura e análise documental, explorar informações e documentos que possam contribuir para o atendimento dos objetivos delineados neste trabalho.

Uma pesquisa de caráter descritivo é realizada para se conhecer a essência do fenômeno, quanto à sua natureza, à sua estrutura e aos processos que fazem parte do fenômeno a ser explorado (RUDIO, 2011). Um pesquisador pode utilizar essa técnica quando não tenha a intenção de explicar o fenômeno estudado, mas sim descrever as características desse fenômeno. A explicação ocorre posteriormente com a utilização de outros métodos de pesquisa que serão complementados com a pesquisa descritiva (ACEVEDO; NOHARA, 2009).

Na visão de Gil (2017, p. 26), “as pesquisas descritivas têm como objetivo a descrição das características de determinada população ou fenômeno”. Para tanto, a delimitação deste trabalho levará em consideração as políticas públicas nacionais, relacionadas com Alemanha, EUA, China, Japão e Brasil.

Quanto aos meios de investigação, esta pesquisa caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica e documental. Para Gil (2017), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de pesquisas já realizadas em artigos científicos ou material

elaborado e encontrado em livros e são denominadas fontes secundárias. Já a pesquisa documental destaca-se pela natureza das fontes dos dados os quais são adquiridos através de documentos que ainda não receberam tratamento analítico e são denominadas como fontes primárias (GIL, 2017).

### 3.2 Técnica de coleta de dados

Esta pesquisa de doutoramento teve início no segundo semestre de 2017, na Linha de Pesquisa: Desenvolvimento Regional da Universidade de São Caetano do Sul.

O Segundo semestre de 2017 e o primeiro semestre de 2018 foram dedicados às disciplinas necessárias para o cumprimento dos créditos. Nesse momento, paralelo às aulas, deu-se o início da primeira etapa do levantamento de documentos oficiais que permitiram a construção do pensamento e a elaboração do quarto capítulo que se destina a apresentar as iniciativas nacionais de países para a trajetória rumo à Quarta Revolução Industrial.

Esses documentos também contribuíram para a estrutura de mapeamento dos constructos utilizados na etapa de revisão da literatura, nas bases de dados *Web of Science*, *Scopus* e Google Escolar.

Por se tratar de um assunto novo para a academia e meio empresarial, os trabalhos e pesquisas realizadas até o ano de 2019 foram suficientes para a construção do referencial teórico e o momento da qualificação. No entanto, constatou-se, no segundo semestre de 2019 e durante o ano de 2020, a publicação de inúmeras pesquisas que certamente reforçariam a análise documental. Deste modo, assumem-se neste trabalho, duas etapas para o levantamento do referencial teórico: o primeiro antecede a qualificação e o segundo esteve em curso até o final do primeiro semestre de 2021.

Para responder aos objetivos deste trabalho, esta pesquisa foi desenvolvida em cinco etapas: na primeira etapa, foi realizada pesquisa em fontes secundárias, com base nos documentos sobre as iniciativas dos países selecionados – Alemanha, China, EUA e Japão. Na segunda etapa, foi realizada pesquisa em fontes secundárias com base nas iniciativas, programas, planos e estudos realizados no Brasil para a manufatura avançada. Na terceira etapa, realizou-se a revisão da literatura dos

aspectos que envolvem a Quarta Revolução Industrial, com base na revisão da análise de fontes secundárias utilizadas nesta pesquisa.

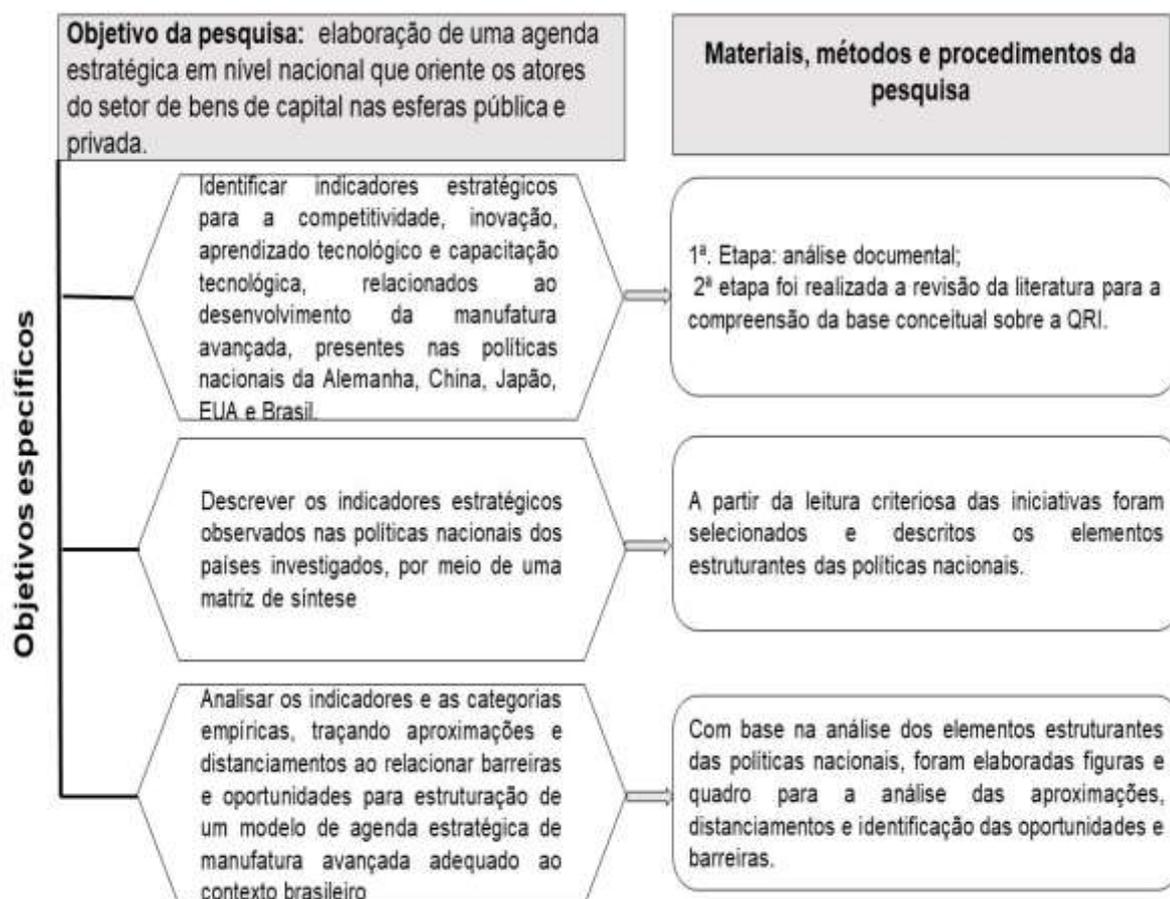
Na quarta etapa, foi retomada a revisão da literatura para dialogar com a análise documental e na quinta etapa, foi realizada a proposição da agenda estratégica.

### 3.2.1 Instrumentos de pesquisa

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram necessárias etapas que contribuíram na organização da análise documental e da revisão de literatura.

A metodologia utilizada busca responder aos objetivos específicos desta tese de doutorado e combina diferentes métodos de coleta de dados e informações, conforme ilustra a figura 2 que serão descritos na sequência.

Figura 2 - Objetivo geral, objetivos específicos e métodos utilizados



Fonte: Elaboração própria.

A seguir, serão apresentados os procedimentos necessários para a organização do material coletado, assim como o tratamento para realizar a análise desse material.

#### 3.2.1.1 Análise documental

Para Gil (2017), a pesquisa documental caracteriza-se pela utilização das fontes dos dados os quais são adquiridos através de documentos que ainda não receberam tratamento analítico e são denominadas como fontes primárias (GIL, 2017).

Deste modo, foi realizada uma análise documental com o propósito de explorar informações e documentos que contribuiriam para a compreensão do recorte teórico-metodológico.

Essa análise levou em consideração a seleção das referências utilizadas nos trabalhos desenvolvidos em órgãos nacionais para apresentação das iniciativas nacionais de políticas relacionadas à manufatura avançada à luz das mudanças tecnológicas previstas na 4ª Revolução Industrial.

A partir da seleção das referências utilizadas, foi realizada a busca nos sítios oficiais dos países: Alemanha, China, EUA e Japão para identificar as iniciativas apresentadas por estes países.

Abaixo, explicitamos os documentos oficiais (quadro 6) que apresentaram as iniciativas dos países pesquisados. Ressalta-se que outras fontes foram pesquisadas e encontram-se descritas e referenciadas ao longo do texto do capítulo 4.

Quadro 6 - Documentos das iniciativas para a manufatura avançada

ANO	PAÍS	INSTITUIÇÃO	DOCUMENTO
2013	Alemanha	National Academy of Science and Engineering (ACATECH)	Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0. Final report of the industrie 4.0 working group.
		Ministério de Assuntos Econômicos e Energia da Alemanha e Ministério Federal da Educação e Pesquisa	Plattform Industrie 4.0: What is the Platform Industrie 4.0
2016		Germany Trade & Invest (GTAI)	Industrie 4.0: Smart manufacturing for the future
2012	EUA	National Science And Technology Council – NSTC	A National Strategic Plan For Advanced Manufacturing
2014		President’s Council of Advisors on Science and Technology	Accelerating U.S. Advanced Manufacturing: Report to the President.
2016		National Science And Technology Council – NSTC	Advanced Manufacturing: A Snapshot of Priority Technology Areas Across the Federal Government
2015	China	The State Council the People's Republic of China	Made in China 2025
			Internet Plus
2015	Japão	Ministry of Economy, Trade and Industry (METI)	New Robot Strategy. Japan’s Robot Strategy: Vision, Strategy and Action Plan
2015			Robot Revolution Initiative (RRI)
2016			"Future Vision towards 2030s
2017			"Connected Industries" Tokyo Initiative 2017

Fonte: elaboração própria.

Após a leitura dos documentos pesquisados, uma série de cartas IEDI pertinentes ao tema estudado (quadro 7) foram também documentos balisadores para o desenvolvimento dos capítulos 4 e 5.

Quadro 7- Base documental

ANO	DOCUMENTO
2017	Carta IEDI – 797: Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades para o Brasil
2017	Carta IEDI – 803: Indústria 4.0: O Futuro da Indústria
2017	Carta IEDI – 807: Indústria 4.0: A Política Industrial da Alemanha para o Futuro
2017	Carta IEDI – 820: Indústria 4.0: O Plano Estratégico da Manufatura Avançada nos EUA
2017	Carta IEDI – 823: Indústria 4.0: Políticas e estratégias nacional face à nova revolução produtiva
2018	Indústria 4.0: a Política Industrial no Japão face à Quarta Revolução Industrial
2018	Carta IEDI – 827: Indústria 4.0: A iniciativa <i>Made in China</i> 2025
2018	Carta IEDI – 860: Estratégias Nacionais para a Indústria 4.0
2018	Indústria 4.0: a Política Industrial no Japão face à Quarta Revolução Industrial

Fonte: elaboração própria.

Para o levantamento das múltiplas iniciativas do Brasil, foram pesquisados os documentos publicados pelo IEDI e os sítios eletrônicos dos Ministérios da Economia, Ciência, Tecnologia e Inovação, além dos documentos publicados pela Confederação Nacional da Indústria (CNI).

Os documentos: Carta IEDI – 797: Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades para o Brasil; Carta IEDI – 803: Indústria 4.0: O Futuro da Indústria e o documento Indústria e o Brasil do Futuro foram a base para a construção do capítulo 4, além dos documentos disponibilizados nos sítios eletrônicos dos Ministérios pesquisados: Plano Nacional de Internet das Coisas - IoT, Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil - ProFuturo, Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (E-Digital), Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 no Brasil, Programa Rota 2030, Projeto Indústria 2027, Mapa Estratégico da Indústria: Período de 2018 a 2022, Plataforma Câmara Brasileira da Indústria 4.0 e o Programa “Brasil Mais”.

No que se refere às ações de Instituições e Universidades para o desenvolvimento de aprendizado necessário para a trajetória rumo à Quarta Revolução Industrial, ocorreram duas buscas: a primeira foi com base na leitura dos relatórios referentes aos planos e programas nacionais que indicaram como protagonistas as unidades do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI).

A segunda busca ocorreu nos sítios eletrônicos das Universidades públicas, estaduais e privadas. O critério de busca visou encontrar pesquisas, cursos, laboratórios e experimentos capazes de fomentar o ensino e o conhecimento técnico aplicado, bem como as empresas que se inserem nesse cenário para o compartilhamento do aprendizado técnico. Ainda que no contexto da 4RI, possam existir instituições de ensino privado que debatam o tema, o recorte tomou como base os critérios acima mencionados e refere-se às seguintes instituições: Centro Universitário FEI, Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade de Campinas (UNICAMP), Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Federal do ABC (UFABC).

### 3.2.1.2 Revisão da literatura

A terceira etapa constituiu-se da revisão da literatura que, em conjunto com a análise documental, será necessária para a elaboração de modelo que apresente as

oportunidades e desafios existentes no Brasil com relação à trajetória rumo à Quarta Revolução Industrial. Esse modelo irá contribuir para a elaboração de uma proposição de agenda estratégica em nível nacional que oriente os atores do setor de bens de capital nas esferas pública e privada.

Para a estruturação do capítulo de revisão da literatura, foram definidas nas buscas as seguintes palavras-chaves: Quarta Revolução Industrial, Tecnologias habilitadoras da Quarta Revolução Industrial, Tecnologias Digitais, Indústria 4.0, Manufatura Avançada, Sistemas de Inovação, Inovação, Aprendizado Tecnológico e Capacitação Tecnológica.

O período da busca priorizou os trabalhos publicados nos últimos oito anos. Esse período foi determinado a partir da leitura dos documentos oficiais que apresentaram o início das iniciativas nacionais para a Quarta Revolução Industrial. As bases de dados escolhidas nessa etapa foram a plataforma *Scopus* e a Plataforma *Web of Science*, por possuir uma maior abrangência internacional das publicações referentes à Quarta Revolução Industrial. Na plataforma, a busca considerou as seguintes palavras-chaves: “*Fourth Industrial Revolution*”, “*Advanced Manufacturing*” or “*Industry 4.0*”, “*Industrie 4.0*”, “*Smart Manufacturing*” or “*Smart Industry*”, “*Technological Learning*”, “*Digital Technologies*” e *Innovation Systems*.

De acordo com Liao *et al.* (2018), a literatura que versa sobre os principais facilitadores tecnológicos da 4RI, apresenta uma variação entre os autores pesquisados e que, em uma revisão da literatura no intuito de se conhecer quais são as tecnologias habilitadoras da 4RI, essa variação entre autores deve ser considerada.

Neste sentido, na revisão da literatura deste trabalho, foi selecionada a obra de Hermann, Pentek e Otto (2015) para descrever as principais tecnologias emergentes da indústria 4.0 e as tecnologias que foram inseridas nas iniciativas dos países selecionados nesta pesquisa. São elas: Manufatura Aditiva, Robôs autônomos (*Cobots*), *Big Analytics* e *Big Data*, *Cibersegurança*, *Biotecnologia*, Armazenamento de Energia (AE), Computação em Nuvem, Inteligência Artificial (IA), Materiais Avançados, Nanotecnologia, Realidade Aumentada, Rede de Comunicação e Simulação. Deste modo foi realizada uma segunda busca para pesquisar os conceitos e a usabilidade das tecnologias presentes nas iniciativas que se encontram descritas e referenciadas ao longo do texto do capítulo 2.

Para a pesquisa sobre inovação e sistemas de inovação, nas plataformas Scopus e Web of Science a busca considerou as seguintes palavras-chaves: “Inovação” “Sistemas de Inovação” e “*Innovation*” or “*Innovation Systems*”.

### 3.3 Tratamento dos dados e análise

A análise de conteúdo foi escolhida nesta tese de doutorado para responder aos objetivos específicos propostos: 1) Identificar indicadores estratégicos para a competitividade, inovação, aprendizado tecnológico; capacitação tecnológica, implementação de tecnologias digitais e aplicação das tecnologias digitais relacionados ao desenvolvimento da manufatura avançada, presentes nas políticas nacionais da Alemanha, China, Japão, EUA e Brasil; 2) Descrever e analisar os indicadores estratégicos observados nas políticas nacionais dos países investigados.

A análise de conteúdo, segundo Bardin (1977, p. 42), é um conjunto de técnicas de análise que, por meio de procedimentos sistemáticos e condições estabelecidas, permitem o tratamento de uma grande quantidade de dados coletados para se conhecer o que está sendo discutido com relação a um determinado tema ou assunto.

Após a produção dos capítulos da análise documental dos 5 países: Alemanha, China, EUA, Japão e Brasil, o conteúdo foi organizado seguindo os procedimentos indicados por Bardin (1977): 1) realizar a pré-análise do material produzido; 2) explorar e fazer os recortes necessários para a construção de categorias de estudo; 3) tratar os resultados obtidos e sua interpretação.

Deste modo, após a pré-análise do material produzido, foram definidas, *a priori*, as categorias pertinentes ao objeto desta pesquisa e identificados os elementos integrados nessas categorias (VERGARA, 2015, p. 9).

Foi organizada, no *software Excel*, uma matriz de síntese (Anexo A), com colunas identificando cada país pesquisado: Alemanha, China, EUA, Japão e Brasil. A partir da leitura criteriosa da revisão documental, foram identificadas as palavras comuns às iniciativas, programas, planos e políticas. Assim, 11 categorias foram consideradas: “objetivos”, “instrumentos”, “direcionamento”, “incentivos”, “plano piloto para implementação de tecnologias digitais”, “qualificação educacional/formação educacional”, “tecnologias”, “fontes de financiamento”, “atores” e “setores prioritários”.

Para o tratamento dos dados, a planilha confeccionada no *software Excel* foi importada para o software NVIVO Release 1 para o auxílio da análise dos resultados

qualitativos. Foi gerada uma matriz estrutural contendo as 11 categorias para a análise dos documentos investigados dos países participantes do estudo. Foram realizadas análises lexicais (vocabulários) a partir das frequências e ocorrências de termos-chave, em que se buscou uma análise dos conceitos que se encontram presentes na estruturação do conteúdo das dimensões em análise.

Essa análise estruturalista possibilitou identificar e relacionar quais países apresentam dados referentes aos termos-chaves comuns às iniciativas dos cinco países selecionados: Alemanha, China, EUA, Japão e Brasil.

Os documentos também foram analisados a partir de uma abordagem compreensiva. Essa abordagem consistiu em uma leitura abrangente, sistematizada, de maneira a percorrer todo o material selecionado, na sua integralidade, com o propósito de identificar temas presentes nos documentos sobre os **objetivos** definidos para cada iniciativa, os **instrumentos** – nome das iniciativas, os **incentivos** públicos para a execução das metas e ações estabelecidas nas iniciativas, a ocorrência de **plano piloto** para implementação de tecnologias digitais”, os esforços para **qualificar** a força de trabalho, as **tecnologias** divulgadas nas iniciativas, as **fontes de financiamento**”, os **atores** que participam das iniciativas e, por fim, quais **setores** estão sendo priorizados nas iniciativas nacionais para a manufatura avançada. Esses elementos evidenciam “o que” os países estão elaborando em seus planos e iniciativas para a trajetória à manufatura avançada.

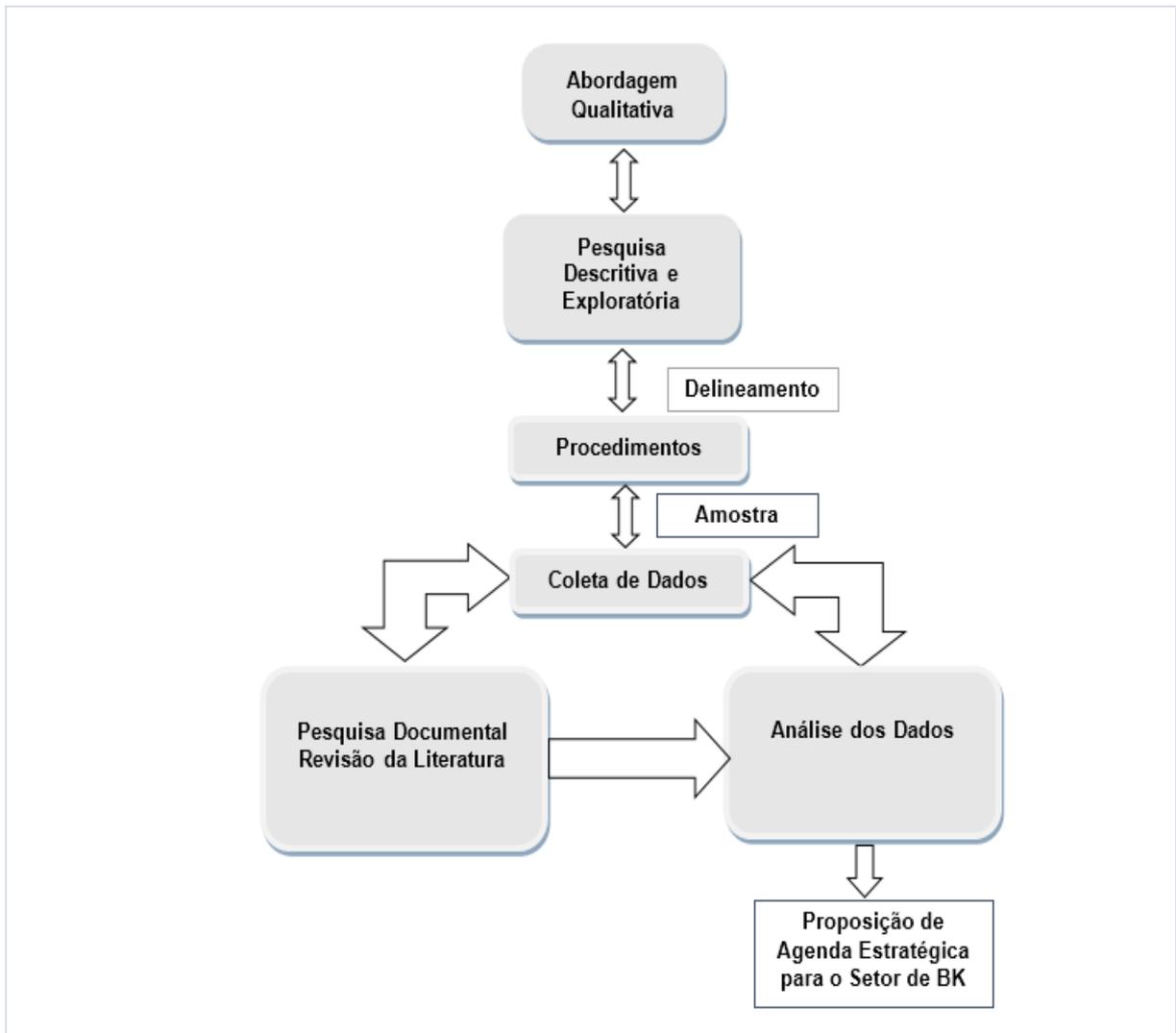
Por meio da seleção de registros dos excertos textuais, os temas que emergiram foram codificados no software Nvivo Release 1, considerando as temáticas unidades de análise de sentido, as categorias inferidas pela pesquisadora que salientaram conteúdos relevantes compartilhados ou mesmo singulares em cada país (BARDIN, 1977).

A nuvem de palavras, apresentou a frequência de palavras que cada país está discutindo sobre a manufatura avançada. Para tanto, foram consideradas, nos textos, as 30 palavras mais frequentes com sinônimos.

Foram elaborados quadros visando analisar as oportunidades e barreiras de cada país, com relação à: Tecnologias, indústria, inovação, cooperação, governança, acompanhamento de recursos/financiamentos, desenvolvimento sustentável, PMEs, padronização e regulamentação, Startups e Regionalidade. Esses elementos contribuirão para compreender “como” os países estão se posicionando estrategicamente para a execução de planos e iniciativas para a trajetória à

manufatura avançada. Ressalta-se que essa análise tem como propósito, analisar como os países estão posicionados quanto à transição para a manufatura avançada, traçando distanciamentos e proximidades entre eles e entre o Brasil. A figura 3 apresenta uma síntese da metodologia proposta nesta tese.

Figura 3 - Síntese da metodologia proposta para o estudo



Fonte: elaboração própria.

## 4 INICIATIVAS NACIONAIS SELECIONADAS PARA A MANUFATURA AVANÇADA: ALEMANHA, CHINA, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA E JAPÃO

Neste capítulo serão apresentadas as iniciativas a partir de planos, programas e projetos dos países selecionados para a trajetória rumo à Quarta Revolução Industrial (4RI).

Para uma melhor compreensão de como os países elaboraram as suas iniciativas e se essas contemplam estratégias anteriores ao período marcado pela 4RI, em cada seção serão brevemente descritas as políticas industriais que antecedem esse período.

### 4.1 Política industrial na Alemanha: uma análise do período anterior à 4RI

A Alemanha, em sua trajetória econômica, social e política é reconhecida como um país que, por meio de estratégias e iniciativas nacionais, reconstruiu-se e passou por reestruturações necessárias, após a Segunda Guerra Mundial.

A reconstrução do país foi possível, a partir do modelo desenvolvido durante as primeiras décadas após a Segunda Guerra Mundial e constituído pela oferta de um conjunto articulado de políticas industriais que operavam em nível nacional e regional. Esse modelo ficou conhecido nos anos 1970 como *Modell Deutschland* (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013).

Para Chang, Andreoni e Kuan (2013), o *Modell Deutschland* foi estruturado levando em consideração quatro itens principais, a saber: 1) regulação do mercado de trabalho; 2) treinamento; 3) infraestrutura para a ciência básica e pesquisa na indústria; 4) suporte público para finanças industriais.

Embora a estrutura da política básica tenha se mantido, a política industrial da Alemanha passou por mudanças: metade dos gastos públicos com política industrial foram destinados a investimentos com a sustentabilidade ambiental, a eficiência energética e a energia renovável (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013).

Com relação às iniciativas e políticas industriais para a trajetória rumo ao novo contexto econômico, social e político da 4RI, observam-se esforços na elaboração de planos, programas e iniciativas com a participação efetiva de Ministérios no intuito de reunir os principais inovadores e acionistas com o propósito comum de avançar rumo às novas tecnologias digitais (BUNSE *et al.*, 2014).

Diante do exposto, a seguir são apresentadas as iniciativas rumo à manufatura avançada na Alemanha. Tratamos aqui dos seguintes planos, programas e projetos: Plano *High Tech Strategy 2020*, Projeto *RES-COM*, Projeto *Industrie 4.0*, Projeto *CyProS*, Agenda *CPS*, Programa de Inovações – *ICT 2020*, Programa Autonomia para Indústria 4.0 e Plano *High Tech Strategy 2025* representados abaixo na linha do tempo (figura 4), e descritos na sequência.

Figura 4 - Iniciativas para a Manufatura Avançada na Alemanha



Fonte: elaboração própria.

A Alemanha destaca-se na trajetória rumo à Indústria 4.0 por meio de políticas, ações e financiamentos disponíveis visando à liderança como fornecedor de sistemas *ciber-físicos* (*GERMANY TRADE & INVEST - GTAI, 2014*).

Nesse contexto, setores da indústria de transformação, como o setor automotivo, o setor de máquinas e equipamentos e o setor de automação assumiram, em conjunto, o compromisso de investir aproximadamente 2,5 bilhões de euros em pesquisa a partir do ano de 2010 por um período de 10 anos (*GTAI, 2014*).

O plano *High Tech Strategy 2020*, divulgado pelo governo alemão em 2010, é a base para iniciativas rumo à Indústria 4.0 e pretende aumentar as parcerias entre institutos de pesquisa e o setor industrial, estimular a inovação e realizar esforços para que o país torne-se líder no fornecimento de soluções tecnológicas e explore as oportunidades de segmentos específicos em tecnologias transversais (*ANDREONI, 2016*), de base científica e tecnológica nos campos de saúde, mobilidade, comunicação e energia (*GTAI, 2014*).

Com a colaboração e participação de ministérios governamentais, a iniciativa concedeu aos projetos de P&D aportes financeiros em forma de bolsa para desenvolvimento de pesquisas (*DAUDT; WILLCOX, 2016; IEDI, 2017*).

Daudt e Willcox (2016) afirmam que a ideia central da estratégia está voltada para projetos que envolvam a resolução de “missões” específicas. Tais projetos

devem perseguir objetivos específicos, no prazo estipulado de 10 a 15 anos e são coordenados por diversos agentes empresariais como, por exemplo, Volkswagen, Bosch e Kuka<sup>8</sup> (IEDI, 2017).

O projeto RES-COM, financiado pelo BMBF, tem como finalidade desenvolver sensores e atuadores com tecnologias digitais e serviços de *softwares*, que possibilitam a integração de dados nos moldes exigidos dentro da estrutura arquitetônica da indústria 4.0 e conta com as parcerias de empresas como SAP e Siemens e supervisão do Centro Alemão de Pesquisa (GTAI, 2014).

O projeto *Industrie 4.0* foi inserido no plano *High Tech 2020*, no ano de 2011, e identifica dez projetos-chave, com propósitos específicos para execução no prazo de 10 a 15 anos. Tais projetos são primordiais para a concretização dos programas de inovação na Alemanha (GTAI, 2014; IEDI, 2017).

Em sua formalização ocorreu a mobilização de atores das esferas pública e privada, o meio empresarial e a participação de Institutos de Pesquisas e outras instituições da sociedade civil. A iniciativa recebeu um aporte de aproximadamente 200 milhões de euros para aplicação de tecnologias voltadas ao setor produtivo tendo sempre como premissa o impacto positivo em produtividade, qualidade, flexibilidade e sustentabilidade das cadeias de suprimentos (KANG *et al.*, 2016).

As ações que compõem a iniciativa estão relacionadas ao enfoque temático que objetiva: a) desenvolver e implementar tecnologias digitais no setor manufatureiro, altamente disruptivas com atenção para sistemas integrados, sistemas ciber-físicos e IoT; b) integrar as tecnologias digitais em maquinários do setor de manufatura; c) realizar projetos no horizonte temporal de médio e longo prazo; d) preservar a coesão e ampla participação de instituições da sociedade formada pela iniciativa privada, Universidades, sindicatos e representantes de outras instituições (ARBIX *et al.*, 2017; IEDI, 2018a).

Em 2013, a ACATECH, representada pelos professores *Henning Kagermann*, *Wolfgang Wahlster* e *Johannes Helbig*, elaborou relatório com recomendações de iniciativas estratégicas para a implementação da *plataform industrie 4.0* na Alemanha que tem como objetivos: a) a elaboração de um programa da iniciativa privada para o avanço da manufatura mantendo a posição competitiva do país na fabricação de sistemas de automação e contribuindo para converter o país líder no fornecimento de

---

<sup>8</sup> Em 2016, foi comprada pela MIDEA Group Company of China. Disponível em: Robotics and Automation | Our Businesses - Midea Group (midea-group.com).

equipamentos de fábrica; b) desenvolver novos mercados; c) fortalecer a comercialização de serviços e produtos já existentes em nível global; d) elaborar a aceção de normas; e) beneficiar pessoas no mercado de trabalho (KAGERMANN *et al.*; 2013); (VOGEL-HEUSER; HESS, 2016).

A *plataform industrie 4.0* está sob a responsabilidade do Ministério de Assuntos Econômicos e Energia (*Bundesministerium für Wirtschaft und Energie - BMWi*) e do Ministério Federal da Educação e Pesquisa (*Bundesministerium für Bildung und Forschung - BMBF*) (Quadro 12). Ambos compartilham e interagem com representantes da iniciativa privada, Universidades, Sindicatos e outras entidades. É importante ressaltar que a presença do governo neste processo tem o propósito de facilitar o diálogo e a articulação dos atores envolvidos (*PLATAFORM INDUSTRIE 4.0, 2014*).

Na elaboração do relatório com recomendações estratégicas para a implementação da plataforma *industrie 4.0*, foram constituídos grupos de trabalho formados por organizações públicas e empresas privadas, com o apoio do Ministério de Educação e Pesquisa (*PLATAFORM INDUSTRIE 4.0, 2014*). Em 2015, devido aos resultados positivos, o projeto foi incorporado oficialmente pelo Governo Federal na política industrial do país (ARBIX *et al.*, 2017).

Os grupos de trabalhos estruturados (Quadro 12) desenvolvem soluções operacionais juntamente com representantes de vários Ministérios Federais para possibilitar a discussão e a articulação de ideias e ações através de grupos temáticos que abordam e desenvolvem soluções operacionais para a indústria nacional e internacional (*PLATAFORM INDUSTRIE 4.0, 2014*).

As atividades desenvolvidas são divididas em seis grupos de trabalho que buscam elaborar estratégias relacionadas à: a) arquitetura e padronização; b) gerenciamento de sistemas complexos; c) infraestrutura de banda larga com capacidade de atender as demandas da indústria; d) segurança e proteção de dados; e) organização do trabalho e design; f) treinamento e desenvolvimento profissional contínuo; g) estrutura regulatória e eficiência dos recursos (*PLATAFORM INDUSTRIE 4.0, 2014*).

Quadro 8 - Grupos de trabalho da Plataforma Industrie 4.0

<b>Presidente Ministérios Federais Ministro Federal de Assuntos Econômicos e Energia</b>		
<b>Especialidades/Grupos de Trabalho</b>	<b>Governança/Representantes</b>	<b>Implementação/Redes de Transferência da Indústria 4.0</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arquitetura de Referência;</li> <li>▪ Padronizações e Normas;</li> <li>▪ Tecnologia e aplicação de cenários;</li> <li>▪ Segurança dos Sistemas em Rede;</li> <li>▪ Enquadramento Jurídico;</li> <li>▪ Trabalho, Educação e Formação;</li> <li>▪ Modelos de negócios digitais para a Indústria 4.0.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Presidentes de Empresas;</li> <li>▪ Representantes Comerciais;</li> <li>▪ Presidentes de Grupos de Trabalho;</li> <li>▪ Ministérios de Assuntos Econômicos e Energia e Educação e Pesquisa;</li> <li>▪ Associações Empresariais (BDI, BITKOM, VDMA, ZVEI).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ministérios de Assuntos Econômicos e Energia e Educação e Pesquisa;</li> <li>▪ Representantes dos Estados Federais;</li> <li>▪ Associações Empresariais (BDI, BITKOM, VDMA, ZVEI);</li> <li>▪ Iniciativas Regionais;</li> <li>▪ Centros de Excelência de PME 4.0;</li> <li>▪ Laboratórios de Indústria 4.0;</li> <li>▪ <i>Fraunhofer Gesellschaft</i>;</li> <li>▪ Outros.</li> </ul>
<b>Cooperação Internacional</b>		
<b>Conselho de Pesquisa</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pesquisadores;</li> <li>▪ Representantes do negócio;</li> <li>▪ Indústria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estrutura Global Harmonizada;</li> <li>▪ Uniformização;</li> <li>▪ Melhores práticas e compartilhamento de informações.</li> </ul>	Laboratórios de Indústria 4.0
<b>Secretariado Organização, comunicação, gerenciamento de processos</b>		<b>Conselho de Normalização da Indústria 4.0</b>

Fonte: adaptado de *PLATAFORM INDUSTRIE 4.0, 2014*.

As estratégias elaboradas visam: a) à padronização de técnicas e procedimentos que possibilitam as entregas e exigências individuais de clientes; b) à flexibilidade para mudanças ou alterações propostas pelos clientes; agilidade nas tomadas de decisões; c) à eficiência na produção, uso de materiais e alocação de recursos humanos; d) novas oportunidades de empregos; e) à articulação e resposta às mudanças demográficas no ambiente de trabalho; equilíbrio de vida e trabalho e uma economia nacional competitiva (*PLATAFORM INDUSTRIE 4.0, 2014*).

Os grupos de trabalho buscam identificar as tendências e desenvolvimentos relevantes para a indústria, combinando fatores produtivos e recursos humanos que possibilitam a formalização de recomendações conjuntas para todas as partes relacionadas. É função dos grupos, verificar a análise de questões relacionadas a padrões e normas, segurança de sistemas em rede, estruturas jurídicas, pesquisa e arranjos de trabalho (*PLATAFORM INDUSTRIE 4.0, 2014*).

Os representantes de empresas no Comitê de Direção, são responsáveis pelo desenvolvimento de estratégias para a implementação técnica de grupos de trabalhos e grupos estratégicos formados por representantes da política, associações industriais, ciência, sindicatos, departamentos governamentais e estados federais, possuem a tarefa de proporcionar liderança política e efeitos de multiplicação no debate sociopolítico sobre a Indústria 4.0 (*PLATAFORM INDUSTRIE 4.0, 2014*). A seguir são descritas no quadro 9 as atividades dos grupos da *Plataform Industrie 4.0*:

Quadro 9 - Plano de ação - grupos de trabalho da Plataform Industrie 4.0

Plano de Ações	Atividades
Planejar estratégias para o desenvolvimento de sistemas de manufatura	Elaborar estratégias para arquitetura, modelagem e aplicação de tecnologias digitais. Desenvolver estrutura de sistema padrão dentro das premissas da indústria 4.0 aplicada a produtos e serviços.
Formular cenários para implementação e aplicação de tecnologias digitais	Identificar novas tendências do mercado industrial e as novas tecnologias utilizadas, classificar por grau de importância as informações estabelecidas nos cenários, compartilhar com outros grupos de trabalhos e recomendar a expansão da infraestrutura de Internet de banda larga na Alemanha.
Garantir a segurança dos sistemas conectados em rede	Desenvolver recomendações de ações, soluções e exemplos de aplicações concretas que asseguram o uso de sistemas integrados no setor manufatureiro.
Estabelecer procedimentos para a segurança Jurídica	Contribuir para o estabelecimento de normas jurídicas que garantam a implementação de tecnologias digitais em empresas parceiras e, especialmente, em PMEs.
Recomendar habilidades e conhecimentos necessários no contexto da Indústria 4.0	Apresentar em conjunto com atores sociais as projeções de mão de obra qualificada a partir da formação educacional para atendimento das demandas do mercado de trabalho nas atividades relacionadas à indústria 4.0.
Avaliar a abertura de novos modelos de negócios digitais	Discutir os princípios básicos que deverão ser considerados na estrutura de novos modelos de negócios digitais na Indústria 4.0 em conjunto com empresas de diferentes portes e ramos de atividades, especialistas em projetos, clusters, atores regionais, estaduais e federais.

Fonte: adaptado da *PLATAFORM INDUSTRIE 4.0, 2014*.

A *plataform industrie 4.0* recebe recursos de fontes controladas por Ministérios e outros órgãos públicos responsáveis pelo fomento à P&D tecnológico. Um exemplo é o apoio concedido pelo Instituto *Fraunhofer*<sup>9</sup> (*ARBIX et al., 2017*).

Embora tenha sido criada no intuito de corresponder às demandas por produção da Alemanha, outros países mostraram-se interessados em compreender a dinâmica dos planos e ações elaborados pelos atores envolvidos na plataforma para

<sup>9</sup> Instituição reconhecida como a mais importante na produção de pesquisas aplicadas na Europa.

estabelecer algum tipo de cooperação institucional, como, por exemplo, Estados Unidos, Japão, França e China (*PLATAFORM INDUSTRIE 4.0, 2014*).

Uma das iniciativas da plataforma *industrie 4.0* foi a disponibilidade de ambientes de testes, implantados em universidades e institutos de pesquisa, onde sistemas complexos produtivos e de logística são testados em condições realistas, os chamados *testbeds*. Nesses espaços são simuladas as fases do processo produtivo. O objetivo desses ambientes de testes é o de construir consensos sobre tecnologias, rotas, novas técnicas, formação de operadores além de favorecer a articulação e difusão do aprendizado relacionado ao uso das novas tecnologias digitais (*PLATAFORM INDUSTRIE 4.0, 2014*).

Sakong (2017) afirma que a Alemanha apresenta pontos fortes com relação ao projeto *Industrie 4.0*. Para o autor, o país desenvolve estratégias orientadas à produção industrial e uma forte conexão de rede nas fábricas, além de se destacar no uso da IoT para a conexão de robôs e máquinas na produção. Contudo, a infraestrutura de banda larga e a comunicação B2B são fracas no país, quando comparados com EUA e Japão, tornando-se, assim, pontos fracos que o país precisa avançar no contexto da QRI.

Outra iniciativa da Alemanha, o projeto *CyProS*, que é um consórcio formado por atores das áreas científica e industrial, liderado pela empresa *Wittenstein AG*, tem como propósito pesquisar e desenvolver sistemas ciber-físicos nos processos produtivos e logísticos da área fabril (IEDI, 2017). As metas definidas no projeto incluem a formação de arquitetura de referência para a produção de sistemas logísticos, o prognóstico de práticas reconhecidas universalmente, desenvolvimento de plataforma para a inserção dos sistemas ciber-físicos e criação de metodologia e técnicas necessárias para viabilizar a comercialização desses sistemas. Esses avanços, do ponto de vista estratégico, contribuirão sobremaneira para a competitividade internacional do país por meio da produção, flexibilidade oferecida pelos sistemas CPS e por sua comercialização internacional (GTAI, 2014).

A agenda CPS liderada pelo Ministério Federal da Educação e Pesquisa – (*Bundesministerium für Bildung und Forschung – BMBF*) e pela *National Academy of Science and Engineering (ACATECH)*, foi elaborada em 2012, para propor a pesquisa integrada em programas CPS que permita à Alemanha moldar esta revolução tecnológica tornando-se líder no mercado fornecedor de programas CPS. Na agenda,

foram priorizados quatro setores para a implementação de programas CPS até 2015 a saber: Mobilidade, Energia, Saúde e Indústria de Transformação (IEDI, 2017).

O Programa de Inovações – ICT 2020, do BMBF promoveu financiamento para a pesquisa inovadora em sistemas tecnológicos com ênfase na indústria 4.0, concentrando, para tanto, as tecnologias que envolvem os sistemas integrados, *IoT*, *IoS*, Simulação, M2M, processos industriais, novos modelos de negócios e tecnologias transversais que integram a engenharia de *softwares*, a confiança e segurança dos dados interligados em redes. Os projetos candidatos ao desenvolvimento de pesquisas dentro dessa agenda, são direcionados à área de negócios e envolve a cooperação de Universidades e Institutos de Pesquisas (IEDI, 2017).

O programa Autonomia para Indústria 4.0, liderado pelo Ministério de Economia e Energia (*Bundesministerium für Wirtschaft und Energie - BMWi*), concedeu 40 milhões de euros às empresas e institutos de pesquisas que estimulam a integração entre as TICs e o setor industrial no que se refere às atividades produtivas e de logística. Tem como atividades, executar os objetivos determinados no Plano *High Tech Strategy 2020* e prioriza a fabricação de máquinas, robôs de serviço e demais sistemas com capacidade para operar, com autonomia, tarefas de alta complexidade (IEDI, 2017).

O programa High Tech Strategy 2025, lançado em 2018, é uma iniciativa do Governo Federal e considerado o atual quadro estratégico para políticas de inovação. A iniciativa consolida financiamentos em importantes campos e é uma alavanca fundamental para moldar a resposta aos desafios urgentes por meio da pesquisa e da inovação. O apoio à investigação e inovação é orientado para as necessidades das pessoas, por exemplo nas áreas "Saúde e Cuidados", "Sustentabilidade, Proteção Climática e Energia", "Mobilidade", "Zonas Urbanas e Rurais", "Segurança e Proteção" e "Economia e Trabalho 4.0" (BMBF, 2014).

Iniciativas alemãs voltadas para a trajetória rumo à indústria 4.0 contam com a parceria de instituições que, em conjunto, contribuem para que os planos e ações sejam devidamente organizados e executados. A seguir, serão apresentadas as principais instituições que, segundo o *GTAI* (2014) e o IEDI (2017), são parceiras e propulsoras dos avanços alcançados para tornar a Alemanha um país competitivo internacionalmente.

O Instituto *Fraunhofer-Gesellschaft*, fundado em 1949, é uma organização sem fins lucrativos que possui 66 institutos de pesquisa aplicada, distribuídos em regiões da Alemanha. Realiza pesquisas que impulsionam a inovação, a implementação de tecnologias digitais, o desenvolvimento econômico e atendem aos benefícios mais amplos da sociedade (GTAI, 2014; IEDI, 2017).

O Centro Alemão de Inteligência Artificial (*DFKI*), fundado em 1988, tem a função de desenvolver inovação em inteligência artificial para produzir *softwares* e sistemas ciber-físicos. É uma instituição sem fins lucrativos e suas operações são realizadas com investimentos públicos vindos do BMBF, do BMWi e da Fundação Alemã de Pesquisa (DFG) (GTAI, 2014; IEDI, 2017).

A Aliança de Pesquisa Indústria-Ciência, foi constituída em 2006 e é formada por consultores advindos da academia e da indústria. Dentre as suas atividades destaca-se a participação no projeto para a construção da *plataform industrie 4.0* (GTAI, 2014; IEDI, 2017).

O *It's OWL* é um cluster formado por 174 indústrias e institutos de pesquisa que desenvolvem projetos para sistemas inteligentes e tecnologias digitais no setor fabril (GTAI, 2014; IEDI, 2017).

A *Acatech*, é uma instituição sem fins lucrativos e autônoma que faz a conexão do aprendizado entre institutos de pesquisa e o setor industrial e representa os interesses científicos e tecnológicos do país interna e externamente, além de realizar avaliações técnicas e recomendar planos e ações no longo prazo (GTAI, 2014; IEDI, 2017).

A *SmartFactory KL*, fundada em 2005, foi a primeira fábrica que envolveu fornecedores na aplicação industrial de TIC. É um espaço que permite a troca de experiências entre produtores do setor industrial com relação às modernas tecnologias de automação e, atualmente, é a pioneira nos processos de transferência de tecnologias da indústria 4.0. Disponibiliza ambiente para a elaboração de pesquisas, aplicação e difusão de tecnologias digitais (GTAI, 2014; IEDI, 2017).

A *Plataform Industrie 4.0* é formada pela parceria da Associação Federal de Tecnologia de Informação, Telecomunicação e Novas Mídias (BITKOM), Federação Alemã de Engenharia (VDMA) e Associação dos Fabricantes de Elétrico-Eletrônicos (ZVEI). As três organizações atuam em conjunto para dar informações para Institutos de Pesquisa, empresas e representantes da força de trabalho sobre a *plataform industrie 4.0* (GTAI, 2014; IEDI, 2017).

A Alemanha destaca-se, também, pelas empresas do setor industrial instaladas no país e pela participação de cada uma dessas empresas, nos programas, iniciativas e planos voltados para as mudanças preconizadas pela 4RI.

A *Bosch* é umas das principais empresas que fornecem tecnologias e serviços para outros países. A empresa já opera com a sua planta industrial integrada e em rede com o uso de tecnologias digitais e *softwares* e comercializa essas tecnologias. Os investimentos da empresa para P&D em 2012, foram de aproximadamente 9% da receita total de vendas (*GTAI*, 2014; *IEDI*, 2017).

A *Festo AG* é líder internacional no fornecimento de tecnologias de acionamento elétrico e pneumático para automação de processos em fábricas. A empresa participou ativamente da criação da plataforma indústria 4.0 e contribuiu com estudos práticos na aplicação de tecnologias digitais que serviram de exemplos inseridos nas recomendações dos grupos de trabalhos da plataforma indústria 4.0 (*GTAI*, 2014; *IEDI*, 2017).

A *SAP AG* é líder produtivo de *softwares* para aplicativos corporativos, participou de projetos para a produção e aplicação de tecnologias no contexto da indústria 4.0 e contribuiu também com recomendações para os grupos de trabalho da plataforma indústria 4.0 (*GTAI*, 2014; *IEDI*, 2017).

A *Wittenstein AG* é um grupo de empresas líderes em inovações voltadas para a produção de tecnologias de acionamento mecatrônico e atua em oito áreas de negócios inovadores: servo redutores, sistemas servo de acionamento, tecnologia de medicina, servo unidades em miniatura, inovadora tecnologia de engrenagens, sistema de atuadores rotativos e lineares, nanotecnologia e componentes eletrônicos e de software (*GTAI*, 2014; *IEDI*, 2017).

A empresa *Controls* do Grupo WEG, que fabrica cerca de 2.000 itens diferentes, para processos de produção, a exemplo de injeção de plástico, estamperia, montagem e eletrônica, vem adotando, desde 2015, as tecnologias da indústria 4.0 (*LORINI*, 2021).

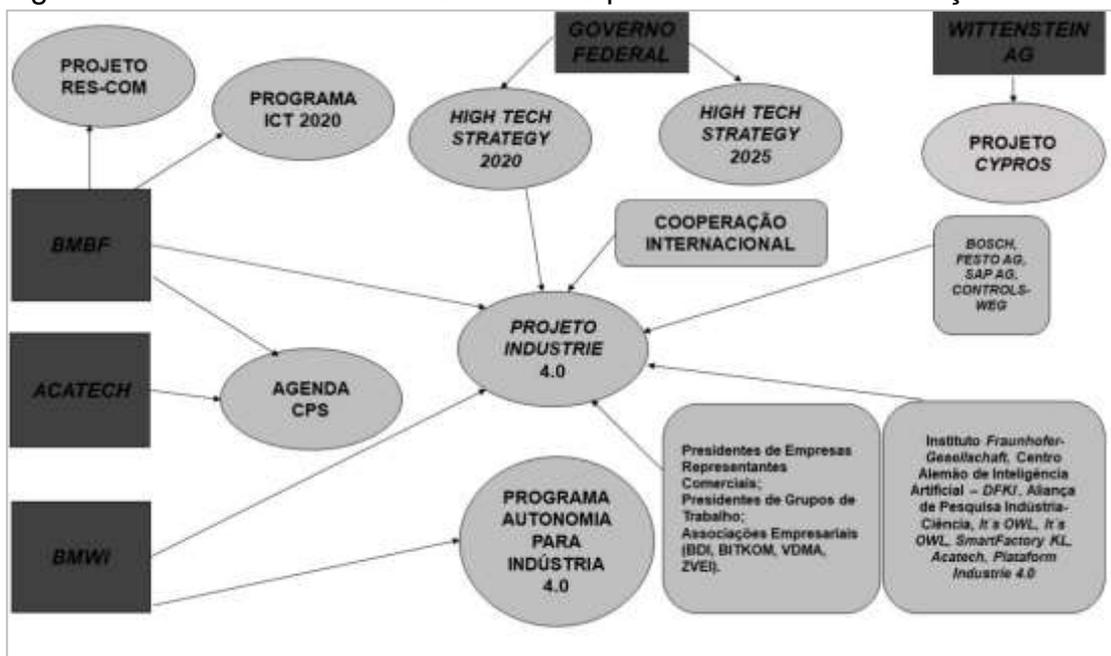
A nova tecnologia de transmissão de dados conhecida como 5G promete acelerar as possibilidades de ganhos nas operações digitais e está em fase de testes no Brasil. A *Controls* é uma das empresas que participam dos testes de avaliação da nova tecnologia 5G. Para Bastos Frillo, diretor de negócios digitais da WEG, “essa é uma oportunidade para se avaliar as vantagens, as desvantagens e os limites da tecnologia numa fábrica real” (*LORINI*, 2021).

Embora tenham ocorrido muitos esforços quanto às estratégias e vantagens competitivas, na visão do IEDI (2017), as implementações de tecnologias habilitadoras da 4RI ocorrem em empresas de grande porte, e as PMEs encontram-se ainda em fase embrionária.

Já para *Manfred Wittenstein*, Presidente da *Wittenstein AG*, diversas empresas de pequeno porte do setor de máquinas e equipamentos estão acostumadas com a inclusão e integração de novas competências e, com isso, certamente irão se favorecer das novas tendências tecnológicas (IEDI, 2017).

As iniciativas do país, contam com a participação de atores das esferas públicas e privadas, conforme apresenta-se na figura 5:

Figura 5 - Alemanha: iniciativas nacionais para a manufatura avançada



Fonte: elaboração própria.

A partir da figura 5 observa-se que as iniciativas no país, são integradas relacionam-se e convergem com os objetivos e estratégias determinados nos planos, programas e projetos estabelecidos. As integrações envolvem atores das esferas pública e privada - Governo Federal, Ministérios, Consórcio, empresas nacionais, institutos de pesquisa, representantes e associações empresariais.

A seguir, será apresentada a síntese das iniciativas para a manufatura avançada na Alemanha. Por meio da matriz de síntese (anexo A), no que se refere

aos objetivos propostos nas iniciativas para a manufatura avançada na Alemanha, foi elaborada a figura 6.

Figura 6 - Alemanha: objetivos das iniciativas para a manufatura avançada



Fonte: elaboração própria.

A figura 6, apresenta os objetivos descritos nas iniciativas da Alemanha para a manufatura avançada que foram organizados na matriz de síntese (anexo A). É possível observar que os esforços do país rumo à manufatura avançada, estão relacionados a assegurar a liderança no desenvolvimento de uma oferta tecnológica de máquinas e equipamentos, manter a competitividade perante a China e EUA, incentivar iniciativas para a produção de inovações e pesquisas, estimular a formação de parcerias entre setor industrial, setor privado, universidades e institutos de pesquisa, desenvolver artifícios que possam colaborar para a qualificação profissional de acordo com as necessidades das empresas e exigências pautadas pela 4RI, difundir as tecnologias digitais no setor industrial, elaborar normas e padronização para a produção, implementação e aplicação de tecnologias digitais e para o mercado de trabalho. Normas e padrões são fatores reconhecidos pelo país como essenciais para a eficiência na produção e para a regulação do mercado de trabalho, assim como as parcerias entre os institutos de inovação e pesquisa.

No intuito de se conhecer os principais assuntos discutidos nas iniciativas para a manufatura avançada na Alemanha, foi gerada a nuvem de palavras (figura 7), a partir das informações organizadas na matriz de síntese (anexo A). A nuvem de palavras foi elaborada levando em consideração as 30 palavras mais frequentes com sinônimos, conforme descrito no capítulo 3 – Procedimentos Metodológicos, item 3.3 – Tratamento dos dados e análise.

Figura 7 – Alemanha: Principais temas para a manufatura avançada



Fonte: elaboração própria a partir da matriz de síntese (2021). Processamento nvivo (2021).

A nuvem de palavras (figura 7) apresenta as principais palavras utilizadas nos documentos analisados: Plano *High Tech Strategy 2020*, Projeto *RES-COM*, Projeto *Industrie 4.0*, Projeto *CyProS*, Agenda *CPS*, Programa de Inovações – *ICT 2020*, Programa Autonomia para Indústria 4.0 e Plano *High Tech Strategy 2025*. No centro da figura 9, destacam-se as palavras: inovação, projeto, pesquisa e financiamento. Deste modo é possível observar que o país tem grande vocação e interesse no desenvolvimento de pesquisas e projetos que envolvam a inovação e questões tecnológicas a partir de investimentos, conforme afirmado pelo GTAI (2014).

Destaca-se, nesse sentido, os aportes financeiros despendidos pelos setores automotivo, de máquinas e equipamentos e de automação que somaram aproximadamente 2,5 bilhões de euros para o desenvolvimento de pesquisas (GTAI, 2014).

As fontes de financiamento são controladas por Ministérios, órgãos públicos e, envolvem pesquisa, desenvolvimento, implementação e aplicação de tecnologias de manufatura avançada. Essa infraestrutura financeira apoia o setor industrial por meio de financiamentos e efetiva participação dos setores público, privado, meio empresarial e institutos de pesquisa nas decisões estratégicas para o fortalecimento do setor industrial alemão (ANDREONI, 2016; KANG *et al.*, 2016).

A partir dos documentos analisados, os incentivos para a trajetória envolvem recursos públicos e foram da ordem de 40 milhões de euros para que empresas e institutos criassem estratégias voltadas à integração de tecnologias no setor industrial – áreas de produção e logística, conforme declarado no programa Autonomia para

Indústria 4.0 (IEDI, 2017) e 200 milhões de euros para aplicação de tecnologias digitais, conforme declarado no projeto Industrie 4.0 (KANG *et al.*, 2016).

Ressalta-se nas iniciativas da Alemanha, o esforço voltado para estimular a aplicação das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 no setor manufatureiro e a implantação de planos piloto para a realização de testes que foram criados em universidade e institutos de pesquisa.

A qualificação profissional é vista como fator importante para a aplicação das tecnologias digitais e para as novas modalidades de desenvolver atividades e processos. Deste modo, o país desenvolve estratégias para treinamento profissional contínuo dentro das exigências e necessidades previstas na 4RI.

As principais tecnologias discutidas nas iniciativas são: IoT, IoS, Simulação, M2M, sistemas integrados e sistemas ciber-físicos. Em sistemas ciber-físicos, o país é considerado líder no fornecimento da tecnologia (GTAI, 2014). Os setores considerados prioritários nas iniciativas do país são: máquinas e equipamentos, automotivo, mobilidade, saúde e sustentabilidade.

Com base na análise documental e nos autores citados nessa seção, apresenta-se quadro de forças e fraquezas da Alemanha para a trajetória rumo à manufatura avançada.

Quadro 10 - Forças e fraquezas da Alemanha no contexto da 4RI

	CATEGORIAS	ALEMANHA
<b>FORÇAS</b>	<b>Tecnologia</b>	Uso intensivo de IoT
		Apresenta foco na conexão de robôs ou máquinas nas fábricas.
		Apresenta forte conexão de rede nas fábricas.
	<b>Indústria</b>	Produção de tecnologias para o setor de máquinas e equipamentos
		Orientação da produção é voltada à produção de máquinas e equipamentos para o setor industrial.
		Empresas nacionais contribuem para a difusão das tecnologias digitais e competitividade do país
	<b>Inovação</b>	Possui centro de tecnologia e inovação
	<b>Cooperação</b>	Iniciativas contam com a cooperação internacional
<b>Governança</b>	Apresenta estrutura de governança	

	CATEGORIAS	ALEMANHA
<b>FORÇAS</b>	<b>Acompanhamento de recursos/financiamentos</b>	Fontes de financiamento são controladas por Ministérios e órgãos públicos
	<b>Desenvolvimento sustentável</b>	Apresenta iniciativa que envolve a sustentabilidade.
	<b>Pequenas e Médias Empresas</b>	inclui as PMEs nas iniciativas
	<b>Capital humano</b>	Nas iniciativas do país, existem ações para a qualificação profissional
<b>FRAQUEZAS</b>	<b>Tecnologias</b>	Infraestrutura para a comunicação óptica de banda larga é fraca
		Comunicação B2B fraca quando comparada à países desenvolvidos.
	<b>Pequenas e Médias Empresas</b>	PMEs ainda estão em fase de implementação das tecnologias digitais

Fonte: elaboração própria.

Na Alemanha, o uso das tecnologias digitais já se encontra em um nível avançado, tendo em vista que, dentre os pontos fortes do país, destacam-se a alta integração de componentes produtivos no setor fabril e o uso intensivo de IoT, além da estratégia do país, orientada a uma indústria capaz de produzir máquinas e equipamentos, ou seja, o país tem como um dos objetivos produzir as suas próprias máquinas, aproveitando a presença de indústrias nacionais que contribuem para a difusão das tecnologias digitais.

A inovação, cooperação internacional, governança, capital humano e desenvolvimento sustentável são assuntos tratados nas iniciativas do país e de grande relevância para a trajetória da indústria 4.0.

Contudo, no que se refere às fraquezas, a Alemanha apresenta fraca infraestrutura para banda larga e para a comunicação B2B. Ademais, as PMEs são consideradas nas iniciativas, mas para esse nicho de mercado, as tecnologias digitais ainda estão sendo implementadas (IEDI, 2017).

Diante das características da sociedade, do setor manufatureiro e das estratégias nacionais de desenvolvimento industrial, listadas até aqui e que sempre contaram com a participação da sociedade, empresas e governo, é oportuno afirmar que tais movimentos contribuíram para que a nação alemã se consagre pioneira na trajetória rumo às mudanças preconizadas pela 4RI, sobretudo as que envolvem políticas tecnológicas e de inovação para o setor industrial.

A seguir serão brevemente apresentadas as políticas industriais da China no período anterior a 4RI e, na sequência, as iniciativas para a trajetória do país rumo à Manufatura Avançada.

#### 4.2 Política industrial na China: uma breve análise no período anterior à quarta revolução industrial

As características estruturais, políticas e sociais marcadas pela convivência de planejamento centralizado e partido único em ambiente de livre mercado, o chamado “capitalismo estatal”, que contrasta com o modelo de capitalismo ocidental e tem como ponto central empresas privadas, reforçam o sucesso do ritmo da economia chinesa (TSELICHTCHEV, 2015).

A participação do estado na economia chinesa tem permitido a entrada de um fluxo de investimento público que contribui para o fortalecimento e a manutenção do dinamismo da economia. Soma-se a esses feitos, a melhoria da educação ofertada nos diversos níveis educacionais e o foco em políticas públicas voltadas para Ciência, Tecnologia e Inovação (ARBIX *et al.*, 2017).

A reestruturação das escolas de engenharia da China contribuiu sobremaneira para um ambiente propício a pesquisas em áreas críticas, para a qualificação de profissionais, para o empreendedorismo, além de colaborar na formação de novos conglomerados que utilizam tecnologias como a inteligência artificial, *big data*, robótica, *machine learning*, e *big analytics*. Todos estes movimentos colaboraram para que a nação chinesa se posicionasse estrategicamente no mercado global (ARBIX *et al.*, 2017).

As inovações no país destacam-se em áreas tecnológicas como as relacionadas à fabricação de sensores inteligentes e sensores sem fio, além da produção de robôs para a área industrial. Contudo, no que se refere à fabricação de robôs avançados e a implantação de tecnologias digitais, as iniciativas e os investimentos para a inovação são menores (WÜBBEKE *et al.*, 2016).

Entre o ano de 2013 até o ano de 2014, a nação chinesa posicionou-se em 7º lugar na participação de patentes do setor de biotecnologia no âmbito mundial. Em 2014, a área de bioindústria da China atingiu 4,6% do PIB, percentual este equivalente a US\$ 497 bilhões de dólares (DAI, 2017).

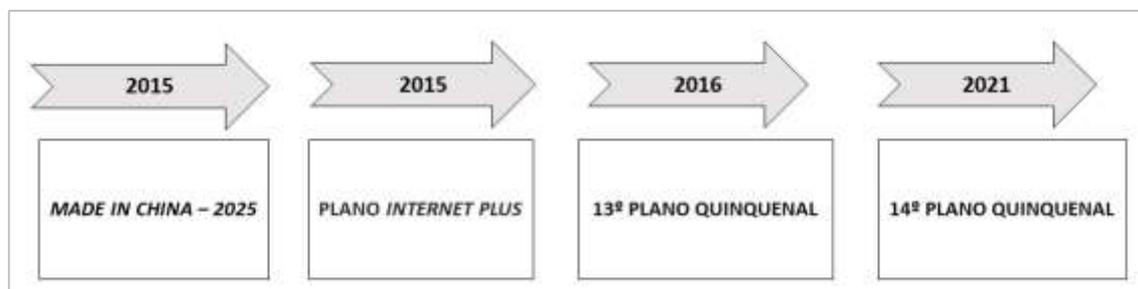
Em nanotecnologia, a China também vem se destacando. Desde 1980, quando as pesquisas na área iniciaram, o país destacou-se no periódico *Science Citation Index* em nanotecnologia, ocupando o primeiro lugar em número de publicações e o segundo lugar nos números de citações. Durante os anos de 2010 a 2013, a China elevou a sua competitividade na área de nanotecnologia, ocupando o quarto lugar mundial na participação de patentes (DAI, 2017).

No entanto, o país ainda necessita enfrentar alguns desafios nos setores que demandam alta tecnologia. Mudanças decorrentes de um espaço favorável a inovações disruptivas emergem como uma oportunidade tecnológica e econômica, para que o país se destaque também nesses setores e alcance vantagem competitiva diante de economias industrializadas (IEDI, 2018).

Muitas indústrias do setor de transformação na China transitam pelas indústrias 2.0 e 3.0, haja vista que ainda não implementaram tecnologias no contexto da 4RI e apresentam uma baixa evolução na área de automação (DAI, 2017).

O êxito da economia chinesa, nas últimas três décadas, concentra-se em boa parte na indústria de transformação. Contudo, o setor tem registrado uma desaceleração significativa, já que o excedente de capacidade, o aumento dos custos trabalhistas e a transição para uma economia mais desenvolvida transformaram a nação. Em resposta a esses desafios, as indústrias e o governo da China voltaram-se a estratégias para a trajetória rumo à Quarta Revolução Industrial que serão apresentadas a seguir. Tratamos aqui dos planos *Made in China – 2025*, Plano *Internet Plus*, 13º e 14º Planos representados abaixo na linha do tempo (figura 8), e descritos na sequência.

Figura 8 - Iniciativas para a manufatura avançada na China



Fonte: elaboração própria.

O objetivo do plano ***Made in China - MIC 2025***, lançado em 2015 pelo Conselho de Estado da China e coordenado pelo Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação (MIIT) está voltado para: a melhoria e a qualidade dos produtos chineses; utilização de tecnologias avançadas; produção de partes essenciais de componentes para produtos maiores (LI, 2017) e desenvolvimento de setor produtivo de máquinas e equipamentos industriais (IEDI, 2018a). Tais estratégias estão correlacionadas às tecnologias da Indústria 4.0, a exemplo do aprofundamento da *IoT* aplicada na China (CHEN *et al.*, 2014).

O plano apresenta como propósito, responder aos desafios colocados na economia interna da China relacionados à ineficiência da indústria que, embora tenha recebido aportes financeiros, pesquisadores qualificados e equipamentos sofisticados, ainda apresenta resultados frágeis (UNESCO, 2015).

Apesar de a estratégia MIC 2025 ter sido elaborada de acordo com a experiência alemã, a política chinesa é diferente das experimentadas pela Alemanha, que oferece uma forma de política no sentido *bottom-up*, sendo essas amparadas por institutos e diretamente por agentes privados (WÜBBEKE *et al.*, 2016).

O MIC 2025 é uma estratégia com direcionamento *top-down*, onde o líder governamental é a principal força por trás da evolução industrial, impondo as políticas e estratégias voltadas para a indústria 4.0. Essa imposição configura-se em uma relação estratégica nacional para solucionar problemas internos das economias chinesas a partir da criação e execução de um modelo econômico voltado para inovações (WÜBBEKE *et al.*, 2016).

Contudo, em virtude do MIC 2025 não ser impulsionado a princípio por iniciativas empresariais - de baixo para cima, torna-se um risco, porque muitas empresas estão relutantes a riscos inerentes aos investimentos para compra ou substituição de equipamentos que possuem tecnologias inovadoras para o setor produtivo (WÜBBEKE *et al.*, 2016).

As tomadas de decisões neste sentido envolvem soluções de custos reduzidos que tenham bom desempenho e requerem investimento inicial baixo. Ademais, o emprego de força de trabalho, às vezes, representa uma opção mais econômica do que investimentos em equipamentos inovadores (WÜBBEKE *et al.*, 2016).

Entretanto, é inerente às mudanças tecnológicas a procura por trabalhadores qualificados e essa é uma lacuna também a ser preenchida antes de se planejar grandes investimentos em ativos permanentes (WÜBBEKE *et al.*, 2016).

Em sua trajetória industrial, a China vem acumulando longa experiência na implementação de planos estratégicos nacionais. A reforma econômica, em 1978, teve início em uma cidade-piloto na Zona Econômica Especial de Shenzhen (ZEES). Os experimentos foram conduzidos por negociações de mercado livre emparelhados com uma política de planejamento estatal, fornecendo subsidiárias e benefícios fiscais preferenciais para empresas de outros países que apresentassem interesse em realizar negócios na China (LI, 2013).

A elaboração do MIC 2025 é fruto da experiência chinesa na ZEES. A China sempre demonstrou ser eficiente na experimentação de novos negócios e novas tecnologias. A estratégia de testar novas abordagens, favorece a implantação de tecnologias inovadoras. No período de 2015 a 2016, foram iniciados pelo MIIT, 200 projetos para fábricas (WÜBBEKE *et al.*, 2016).

Ademais, o MIIT vem criando centros de inovação e cidades piloto para o MIC 2025 como o centro da cidade costeira de *Ningbo* e os das cidades do Delta do Rio das Pérolas (WÜBBEKE *et al.*, 2016). A cidade portuária de *Ningbo* foi escolhida para ser a primeira cidade piloto a construir a sua própria capacidade industrial de manufatura com o propósito de colaborar com sistemas regionais de inovação, sistemas para treinar a força de trabalho, sistemas de apoio político e uma atmosfera ecológica saudável (LI, 2018).

Atualmente, o MIC 2025, prevê a elevação do patamar tecnológico e produtivo no setor industrial, contribuindo para uma maior eficiência e integração dos processos e atividades. Para atender a essa previsão, o Conselho de Estado da China elaborou cinco princípios orientadores e quatro princípios básicos (*STATE COUNCIL OF CHINA*, 2015).

Os princípios orientadores envolvem: a) o desenvolvimento da inovação nas indústrias com a implementação das tecnologias digitais; b) adaptação das instituições para projetos e processos inovativos; c) promoção da inovação colaborativa entre indústrias e interdisciplinar à digitalização e a implementação das tecnologias digitais no setor industrial; d) promover a qualidade para favorecer a liderança industrial; e) incentivo para empresas assumirem o compromisso de entrega de produtos com qualidade; f) padronização de leis e regulamentos; g) desenvolvimento verde com foco na indústria e promoção da implementação de processos, equipamentos de proteção e tecnologias digitais, redução do consumo de energia, para uma produção mais limpa, incentivar desenvolvimento ecológico, com ações que envolvam a reciclagem,

proporcionando um ambiente industrial sustentável; h) alcançar uma estrutura industrial favorável às negociações e à confiança nos produtos fabricados; converter o processo industrial orientado à produção para a orientação voltada aos serviços; estimular *clusters* industriais; i) criar um ambiente cuja mentalidade empresarial seja voltada para o investimento em talentos especialistas e qualificados para atuar no setor industrial (*STATE COUNCIL OF CHINA, 2015*).

Já os princípios básicos envolvem: a) liderança governamental; b) orientação voltada para o mercado; c) estímulo da criatividade nas organizações; d) planejamento pragmático pensado para o longo prazo que vise: I) modernização do setor industrial; II) entender a 4RI e elaborar estratégias para aproveitar as vantagens e ser competitivo diante dos concorrentes; e) avanços holísticos e progressos em setores-chave que permitam: I) direcionamento para a inovação; II) integração das manufaturas militar e civil para aprimorar a competência total; IV) envolver recursos, dedicação em setores-chave, realizar projetos e responder às ações para desenvolvimento econômico e social além da segurança nacional; f) desenvolvimento acessível à cooperação mundial que proporcione o comando de tecnologias avançadas (*STATE COUNCIL OF CHINA, 2015*).

O quadro 11 apresenta uma síntese dos princípios orientadores e princípios básicos do MIC 2025.

Quadro 11 - MIC 2025: princípios orientadores e princípios básicos

	<b>Princípios</b>	<b>Objetivos</b>
<b>Princípios Orientadores</b>	Inovação	Inovação como fator propulsor para o desenvolvimento nacional.
	Qualidade	Liderança de mercado através da qualidade de produtos e serviços.
	Desenvolvimento Sustentável	Eficiência na reciclagem
	Otimização de Estruturas	Criação e desenvolvimento de Fábricas Inteligentes.
	Desenvolvimento de Talentos	Mão de obra qualificada e técnica/empreendedorismo
<b>Princípios Básicos</b>	Desenvolvimento orientado pelo Governo e para o mercado	Políticas públicas voltadas para a indústria chinesa.
	Planejamento a longo prazo	Modernizar o setor industrial
	Avanço holístico em setores chaves	Inovação e Implantação de Projetos.
	Desenvolvimento global	Abrangência do uso de tecnologias avançadas.

Fonte: adaptado de *Made In China 2025* (*STATE COUNCIL OF CHINA, 2015*).

O MIC 2025 é um plano elaborado que visa às mudanças a serem implementadas no médio e longo prazo. A previsão para desenvolver o plano foi construída levando em consideração três ciclos que, ao serem executados, visam tornar o país potencialmente reconhecido no âmbito industrial doméstico e internacional. Ciclos esses alicerçados nas mudanças preconizadas pela 4RI que prevê sobretudo o uso intensivo de tecnologias digitais (IEDI, 2018).

O primeiro ciclo é constituído de metas quantitativas que deverão ser alcançadas até 2025 e tem como objetivo: promover o país em grande potência fabril, por meio das inovações tecnológicas e o revigoramento da indústria nacional através da fabricação inteligente, integrando sistemas e fábricas, aperfeiçoar a qualidade dos produtos e serviços produzidos. As ações relacionadas a essa etapa contribuirão para a consolidação da competitividade em áreas em que o país já lidera globalmente (*STATE COUNCIL OF CHINA, 2015*).

O documento prevê a ascensão da fábrica inteligente em etapas, ou seja, prevê um progresso significativo na implantação da indústria 4.0. Prevê, também, o comprometimento com o meio ambiente a partir do consumo consciente de energia e a otimização de insumos utilizados na produção contribuindo para a redução de poluentes pelas indústrias chinesas e o nível do compromisso ambiental esperado pelas economias desenvolvidas. O aumento de empresas multinacionais e clusters industriais também são contemplados na primeira etapa dos objetivos estratégicos (*STATE COUNCIL OF CHINA, 2015*).

O segundo ciclo foi planejado para que até 2035 a fabricação chinesa alcance um nível elevado de produção, aumente a liderança e a prática de inovação em nível global, aumente a competitividade e realize os processos de industrialização (*STATE COUNCIL OF CHINA, 2015*).

No terceiro ciclo, a previsão até 2049 é que o país tenha se tornado líder industrial a partir da implantação de tecnologias avançadas, promovendo inovações e a competitividade do país (*STATE COUNCIL OF CHINA, 2015*).

A execução do MIC 2025, é coordenada pelo MIIT, e visa ao cumprimento de nove tarefas estratégicas, e cinco iniciativas no âmbito nacional em dez setores prioritários a saber: 1) estimular a inovação internamente; 2) propiciar uma integração digital da produção; 3) consolidar o setor industrial Chinês, trabalhando em: tecnologias para processamento; insumos e serviços básicos; 4) reforçar a qualidade do produto, criar e disseminar internacionalmente nomes de marcas nacionais; 5)

incentivar a aplicação de métodos sustentáveis de produção; 6) proporcionar avanços inovadores e tecnológicos em áreas-chave como tecnologia de informação e comunicação de próxima geração, manufatura inteligente, novos materiais, manufatura aditiva e produtos farmacêuticos.; 7) reorganizar empresas do setor industrial visando ao aperfeiçoamento da fabricação; 8) aprimorar os serviços de empresas industriais e da produção orientada aos serviços; 9) contribuir para a internacionalização do setor industrial chinês bem como estabelecer o caminho para o apoio internacional. As cinco iniciativas eleitas na esfera nacional são resumidas no quadro 16 (*STATE COUNCIL OF CHINA*, 2015).

Quadro 12 - Objetivos das iniciativas nacionais do MIC 2025

Iniciativas	Detalhes	Objetivos
<b>Centros de P&amp;D e inovação</b>	Impulsionar avanços tecnológicos e inovação em áreas-chave	Estabelecer 15 centros nacionais de inovação industrial até 2020 e 40 até 2025.
<b>Projetos de manufatura inteligente</b>	Principais empresas chinesas envolvidas na criação e otimização de fábricas e personalização de cadeias de suprimentos.	Diminuir os custos operacionais em 30%, reduzir os tempos de produção em 30% até 2020; e, em seguida, redução de 50% nas taxas de custos, horários e defeitos até 2025.
<b>Bases industriais</b>	Estabelece novos centros de pesquisa para acelerar o desenvolvimento dos principais componentes industriais, técnicas, materiais e tecnologia de produção, denominados “Quatro Básicos”.	Ser autossuficiente para 40% dos componentes e materiais essenciais em setores-chave – aeroespacial; telecomunicações; produção e distribuição de energia; transportes e eletrodomésticos – até 2020, e então 70% até 2025.
<b>Projetos industriais ecológicos</b>	Realizar projetos em eficiência energética, proteção ambiental, uso de recursos, reutilização e tecnologias com baixas emissões de carbono.	Construir 1.000 fábricas verdes e 100 parques industriais verdes até 2020. Reduzir a emissão de poluentes primários em 20%. Alinhar o consumo de energia por unidade com níveis mundiais avançados até 2025.
<b>Equipamentos industriais de ponta</b>	Desenvolvimento de projetos inovadores, de ponta, focados na indústria em veículos aeroespaciais, ferroviários, de nova energia, redes marinhas, redes inteligentes, máquinas e equipamentos, equipamentos nucleares e médicos.	Realizar a P&D independente nos setores prioritários para alcançar expressivo crescimento na participação de mercado da China no IP para equipamentos de alto valor até 2025.

Fonte: adaptado de *Made In China 2025* (*STATE COUNCIL OF CHINA*, 2015).

Para cumprir os objetivos do plano foram estabelecidas categorias e indicadores graduais que envolvem a capacidade para gerar inovações, a qualidade e a participação da manufatura na economia do país, o avanço na implantação de tecnologias digitais e o desenvolvimento verde. Tais indicadores serão acompanhados no decorrer da execução do plano (*STATE COUNCIL OF CHINA*, 2015). O quadro 13

apresenta as categorias e os indicadores que deverão ser cumpridos no período de 2013 a 2025.

Quadro 13 - MIC 2025 - metas para o período de 2013 a 2025

<b>Categoria</b>	<b>Indicador</b>	<b>2013</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>
<b>Capacidade de Inovar</b>	Percentual da receita operacional de empresas de manufatura utilizado para investimento em pesquisa e desenvolvimento (%)	0,88	0,95	1,26	1,68
	Percentual da receita operacional por bilhão de moeda chinesa aplicado em patentes.	0,36	0,44	0,70	1,10
<b>Valor e Qualidade</b>	Qualidade da Manufatura (índice de competitividade).	83,1	83,5	84,5	85,5
	Taxa de valor adicionado industrial (% de aumento em relação aos resultados do ano de 2015).	-	-	2	4
	Crescimento médio da produtividade do trabalho industrial durante o plano quinquenal (%)	-	-	7,5	6,5
<b>Inclusão de Tecnologias na Manufatura</b>	Penetração da banda larga (%)	37	50	70	82
	P&D digital e penetração da ferramenta de design (%)	52	58	72	84
	Taxa de controle de processos chave (%)	27	33	50	64
<b>Desenvolvimento Verde</b>	Redução do consumo de energia utilizado na indústria medido por unidade produzida (% de redução em relação a 2015)	-	-	18	34
	Redução das emissões de dióxido de carbono por unidade de valor adicionado industrial (% sobre 2015)	-	-	22	40
	Redução do consumo de água por unidade de valor adicionado (% de redução em relação a 2015).	-	-	23	41
	Índice de utilização abrangente dos resíduos sólidos industriais (%)	62	65	73	79

Fonte: elaborado a partir do *Made In China 2025* (STATE COUNCIL OF CHINA, 2015).

Observa-se, pelos indicadores estabelecidos no plano MIC 2025, o estabelecimento de metas graduais que envolvem gastos com P&D, projeção para aumentar o valor adicionado industrial e a abertura de novas oportunidades no mercado de trabalho.

Para aproveitar as oportunidades da 4RI, o plano prevê a inserção da banda larga, investimentos em design, a redução do consumo de energia, além da redução

das emissões de dióxido de carbono, do consumo de água 41% e resíduos sólidos industriais.

Li (2018) comparou o plano *Made In China 2025* com o plano Alemão *Industry 4.0*, para verificar o posicionamento da China frente às mudanças preconizadas pela 4RI.

Para tanto, a partir do MIC 2025, o autor pesquisou três categorias: (i) a capacidade de fabricação da China por meio dos resultados do PIB, valor adicionado, resultado com exportações de alta tecnologia, exportações de manufaturados e fluxo líquido de investimento estrangeiro direto; (ii) pesquisa e desenvolvimento no país a partir dos indicadores de despesas com P&D e número de pedidos de patentes e (iii) capital humano por meio dos indicadores residentes urbanos e rurais, nível de formação educacional: primário, secundário, ensino médio, graduação, pós-graduação e formações no exterior.

Em análise, o autor afirma que o plano MIC 2025 apresenta princípios orientadores que visam: ao aumento da capacidade industrial a partir da inovação; otimizar a estrutura da indústria no país; à ênfase na qualidade e não na quantidade; ao treinamento da força de trabalho, captação de talentos; e alcançar o desenvolvimento sustentável no setor manufatureiro (LI, 2018).

Módolo e Hiratuka (2017) afirmam que o plano chinês estabelece indicadores de inovação, patentes, característica de produto, redução de emissões de dióxido de carbono que, além de serem fundamentais para aumentar a produtividade e sustentar o crescimento *per capita*, tem por objetivo diminuir a dependência externa tecnológica e de conhecimento, assim como as disparidades regionais.

Os setores prioritários estabelecidos no MIC 2025 estão direcionados para as indústrias *high tech*, tais como: aviação, máquinas e equipamentos, TICs, setor naval, equipamentos de transporte ferroviário, veículos de energia limpa, equipamentos médicos, biotecnologia, novos materiais, engenharia oceânica, robótica e maquinário para agricultura (WÜBBEKE *et al.*, 2016) (MÓDOLO; HIRATUKA, 2017).

Conforme determinado no MIC 2025, em 2015 foi criado o Comitê Consultivo Nacional visando à elaboração de estratégias para fortalecer o setor industrial. Comitê esse formado pela academia, empresários e consultores com conhecimento na área industrial (STATE COUNCIL OF CHINA, 2015).

As atividades do Comitê têm como objetivos: a) desenvolvimento de métodos que avaliem o desempenho da política; b) acompanhamento da operacionalização das

fases da política; c) estabelecimento de mecanismos que possibilitem a avaliação centralizada da iniciativa *MIC 2025*; d) criação de estratégias que possibilitem necessários ajustes nos objetivos elaborados (*STATE COUNCIL OF CHINA*, 2015).

As metas e políticas industriais para as tecnologias e setores estratégicos desenvolvidos nesse comitê, foram publicadas no “Livro Verde”, que define para cada área industrial diretrizes e alvos a serem alcançados até o ano de 2025 nos fatores: produtos e tecnologias-chaves, aplicação e demonstração de tecnologias dentre outros (IEDI, 2017).

A nomeação dos líderes chineses, por um período prolongado, torna-se um fator estratégico para o país, pois, nesse período de nomeação, os líderes possuem mais tempo para a tomada de decisões sem influências da opinião pública (WÜBBEKE, *et al.*, 2016).

Wübbeke *et al.* (2016) apresentam três características da nação chinesa que contribuem para o sucesso do país na condução do *MIC 2025*: aptidão de mobilização do plano, atraindo a atenção de todos os atores no país, a habilidade em direcionar financiamentos públicos e incentivos priorizando áreas de maior atenção e a liberdade de estabelecer modelos de financiamentos mais atrativos, do que os ofertados em países industrializados, haja vista que não é um país signatário da OCDE.

As iniciativas de políticas voltadas para a competitividade do país, foram complementadas com reformas e instrumentos que visam atualizações necessárias. Tais ações são necessárias para que o país aproveite todas as vantagens e mobilize atores dos setores público e privado.

As reformas propostas envolvem instituições e atores participantes das mudanças estabelecidas no *MIC 2025* e visam: a) ao apoio para implementar planos estratégicos, políticas e regulamentos da indústria. Os procedimentos para pesquisas colaborativas serão aperfeiçoados envolvendo vários atores como: governo, indústria, universidades, institutos de pesquisa, sistemas de inovação tecnológica, divisão de gastos com projetos e avaliação dos desfechos. Tais ações têm como objetivo promover os desfechos tecnológicos e incentivar a inovação industrial; b) ao apoio financeiro que: i) amplie as modalidades de financiamentos concedidos a empresas e reduza os custos envolvidos nos financiamentos; ii) incentive financiamento para apoiar as empresas na implantação de tecnologias digitais; iii) promova capital de risco e *private equity* para estimular a inovação; c) à Política Fiscal: incentivos fiscais para PMEs e empresas de grande porte investirem em ações que visem à P&D e à

inovação; e) à Propriedade Intelectual que proporcione a continuidade dos projetos piloto divulgados no MIC 2025; f) à Política para PMEs que envolvam bancos comerciais capazes de oferecer serviços financeiros focados para esse nicho de mercado; g) à Política para o recrutamento e capacitação de talentos de acordo com as diretrizes do Catálogo Nacional de Disciplinas e Especialidades da Formação Técnica, que deverá inserir novas disciplinas condizentes com o aprendizado e as técnicas necessárias para a utilização das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0; além de incentivar treinamentos para captação de talentos estrangeiros (*STATE COUNCIL OF CHINA*, 2015).

As ações e planos elaborados pelo Governo Federal para o MIC 2025 foram bem aceitas pelos governos locais que pode ser comprovado pelas atividades locais no âmbito da robótica e o planejamento para abertura de aproximadamente 40 parques voltados à indústria de robótica além das ações implementadas por regiões priorizando as necessidades locais (*WÜBBEKE, et al.*, 2016).

Contudo, Dai (2017) recomenda que o direcionamento da indústria chinesa não pode levar em consideração somente a implantação de tecnologias, mas também a aplicação dessas tecnologias além da atualização e reestruturação do ambiente fabril que, em algumas empresas industriais, ainda operam entre a indústria 1.0 ou 2.0.

Apesar de ter ocorrido um desenvolvimento tecnológico entre as empresas chinesas, a indústria de transformação no país é altamente polarizada. A capacidade básica de produção chinesa ainda apresenta lacunas como, por exemplo, o baixo domínio das tecnologias de processamento e a baixa eficiência na produção de materiais necessários. Deste modo, boa parte das empresas industriais no país registram um progresso tardio nas capacidades digitais (*DAI*, 2017).

Acresce o autor que fatores relacionados à segurança cibernética, mudanças no mercado de trabalho assim como a governança devem ser priorizados também nos planos que promovem a evolução industrial no país. Ademais, o país é dependente da importação de recursos básicos como, por exemplo, *software* e motores para robôs industriais (*DAI*, 2017).

Para *Wübbeke et al.* (2016) os seguintes pontos fracos são prejudiciais para o alcance dos objetivos descritos nas iniciativas da China com relação à trajetória rumo à manufatura avançada: as lacunas na concepção e aplicação das iniciativas, uma abordagem global que não atende às necessidades específicas de setores e empresas pois os recursos financeiros são alocados de forma desordenada, a

ausência de habilidades necessárias para o uso das tecnologias digitais, além do impacto das novas mudanças no mercado de trabalho que envolvem a automação.

Na visão de Wübbecke *et al.*, (2016) a abordagem de *catch-up* da política industrial da China não considera a formação de um ambiente voltado para práticas de empreendedorismo e gerenciamento na implantação de tecnologias digitais. As decisões prioritárias para a manufatura são impostas pelo Governo Federal sem levar em consideração as realidades produtivas de algumas empresas. Muitas são automatizadas, mas não estão prontas para a implantação de tecnologias digitais.

Deste modo, reunir esforços para a disseminação de tecnologias digitais, antes de rever a automação de nível básico e o avanço para a implementação de tecnologias digitais, possivelmente fará com que as iniciativas gerem resultados incompletos e arriscados para o futuro industrial do país (WÜBBEKE *et al.*, 2016).

Dai (2017) chama a atenção quanto aos incentivos financeiros ofertados pelo Governo Federal para a inserção de um novo setor industrial em uma região. O autor cita o exemplo das províncias chinesas que receberam aporte para a construção do setor fotovoltaico, sendo que menos da metade das cidades que elaboraram planos nessa temática construíram a infraestrutura para tal.

Wübbecke *et al.* (2016) afirmam que as iniciativas para a manufatura avançada da China causarão impactos nas economias de países industrializados que irão além da manufatura inteligente. Segundo os autores, os maiores impactos serão sentidos nas indústrias produtoras de máquinas e equipamentos e no setor automotivo.

Concomitantemente à execução das metas estabelecidas no *MIC 2025*, ocorreu a implementação do 13º Plano Quinquenal (2016-2020) que define um plano próprio para a indústria. Tais planos são complementares ao *MIC 2025* e destacam a relevância da inovação e o alcance da independência tecnológica (IEDI, 2018).

O **Plano Internet Plus**, lançado em 2015, também conhecido como agenda digital, é parte integrante do *MIC 2025*, com aporte de US\$ 4,4 bilhões e tem como objetivo trazer para a sociedade e economia chinesa, a implementação de tecnologias que visam à integração móvel, computação em nuvem, *big data* e *IoT* com manufatura para ampliar o desenvolvimento do comércio eletrônico criando novas soluções em áreas como saúde, finanças, educação, transporte e fortalecer a presença internacional de empresas chinesas (POSCO, 2016).

Uma das características do Internet Plus refere-se à capacidade de criação de uma plataforma de inovação aberta e compartilhada, permitindo a dissolução de

barreiras que impedem a inovação e contribui para que empreendedores tenham mais oportunidades em realizar as suas inovações (WANG *et al.*, 2016).

Embora o plano seja parte integrante do MIC 2025, é importante ressaltar que a origem dos recursos é distinta. O Plano Internet Plus tem um direcionamento *bottom up*, ao contrário do MIC 2025 cujo direcionamento é *top down* (LUCENA; ROSELINO; DIEGUES, 2020).

As fontes de financiamentos do MIC 2025 são de instituições públicas, bancos, fundos voltados para tecnologia, fundos para *startups* e fundos públicos (LI, 2017). Já as fontes de financiamentos para o Internet Plus são de forma direta, através da expansão de crédito para pequenas firmas e plataformas de internet (LUCENA; ROSELINO; DIEGUES, 2020).

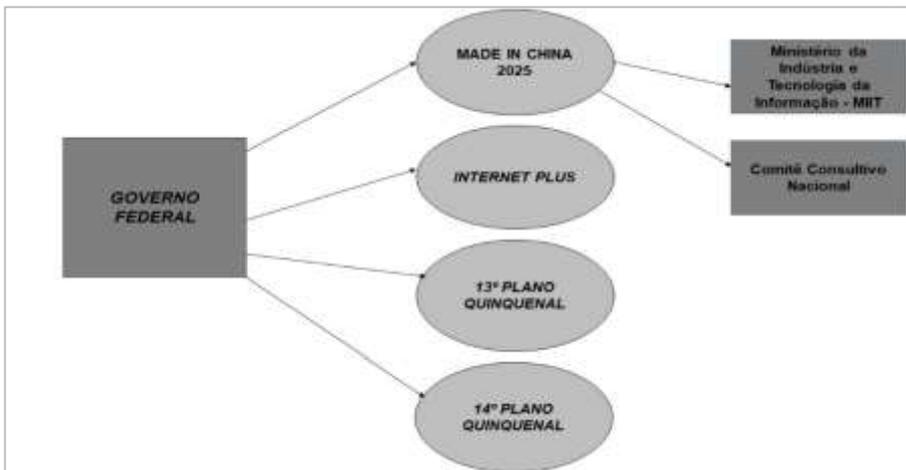
O plano tem como prioridades o crescimento econômico, o desenvolvimento social, a promoção de ambiente e infraestrutura necessária para suportar as mudanças preconizadas pelo uso intensivo da Internet. O respeito pela humanidade, a admiração pela experiência do usuário e a atenção especial para a criatividade humana são características evidenciadas no Plano Internet Plus (WANG, *et al.*, 2016).

Em seu 14º plano quinquenal (2021-2025), o país estabeleceu planos que visam agilizar a produção de tecnologias digitais que vão desde chips à inteligência artificial e a computação quântica. O plano do país pretende elevar a disputa tecnológica com os EUA, prevê que partes críticas das cadeias de fornecimento permaneçam dentro do país para acabar com a dependência das indústrias chinesas dos fornecedores americanos e reitera a meta definida em planos anteriores para se tornar uma forte nação manufatureira tendo assim subsídios para elevar a competitividade do país no desenvolvimento de aeronaves, robótica e veículos movidos a energia (LIN, 2021).

Com relação a gastos com P&D, o plano prevê um aumento de mais de 7% até 2025, a criação de laboratórios nacionais e reforço de programas acadêmicos para gerar e apoiar tecnologias avançadas. Prevê a revisão das regras e políticas para apoiar o fluxo de capital de risco para as *startups*, liberar empréstimos bancários e estender incentivos fiscais para estimular P&D (LIN, 2021).

A figura 9 apresenta as iniciativas e atores que participam dos planos e programas para manufatura avançada na China.

Figura 9 - China: iniciativas nacionais para a manufatura avançada



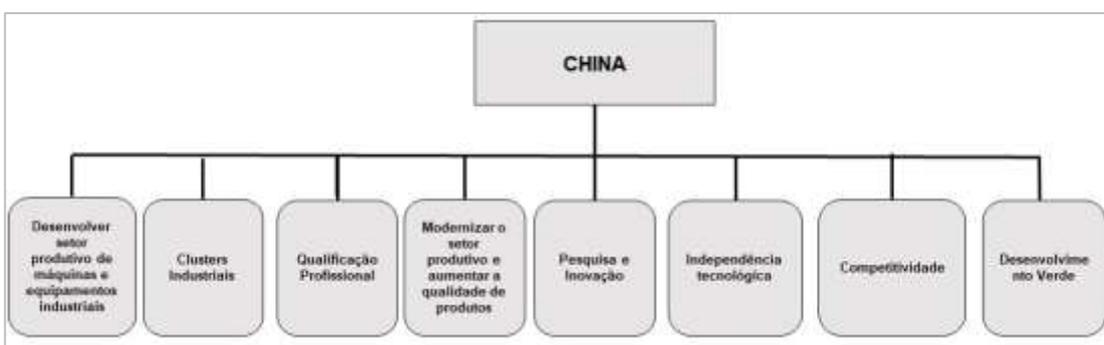
Fonte: elaboração própria.

A partir da figura 9 é possível observar pelas 4 iniciativas descritas para a China que no MIC 2025, ocorre a participação direta do Governo Federal e do Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação (MIIT) além do Comitê Consultivo Nacional. O Plano Internet Plus, o 13º Plano Quinquenal e o 14º são políticas administradas pelo governo federal.

A seguir será apresentada a síntese das iniciativas para a manufatura avançada na China.

A partir da matriz de síntese (anexo A), foi elaborada a figura 10 que apresenta os objetivos apresentados nas iniciativas para a indústria 4.0 na China.

Figura 10 - Pilares das iniciativas para a manufatura avançada na China



Fonte: elaboração própria.

De acordo com a figura 10 observa-se que os objetivos estabelecidos nas iniciativas estão relacionados a: desenvolver setor produtivo de máquinas e equipamentos industriais; estimular a formação de clusters industriais, formação

educacional necessária para atender as novas exigências do mercado de trabalho; modernizar o setor produtivo preservando assim o status de fábrica do mundo; aumentar a qualidade dos produtos, haja vista que o país por muito tempo foi reconhecido pela comercialização de produtos de baixa qualidade “*made in China*” ; proporcionar um ambiente propício à inovação, alcançar independência tecnológica que se traduz ao reshoring como estratégia para que os insumos e componentes sejam produzidos dentro do país; aumentar a competitividade do país e cumprir as metas estabelecidas rumo ao desenvolvimento verde.

No intuito de se conhecer os principais assuntos discutidos nas iniciativas para a manufatura avançada na China, foi gerada a nuvem de palavras (figura 11), a partir das informações organizada na matriz de síntese (anexo A). A nuvem de palavras foi elaborada levando em consideração as 30 palavras mais frequentes com sinônimos, conforme descrito no capítulo 3 – Procedimentos Metodológicos, item 3.3 – Tratamento dos dados e análise.

Figura 11 – China: Principais temas para a manufatura avançada



Fonte: elaboração própria a partir da matriz de síntese (2021). Processamento nvivo (2021).

De acordo com os dados apresentados na nuvem de palavras, é possível observar que as palavras “inovação”, “tecnologias”, “plano” e “produtos” destacam-se nas iniciativas chinesas para a manufatura avançada. De fato, a inovação está inserida em todos os documentos analisados e incluem estratégias para a construção de um ecossistema voltado à inovação, a produtos e tecnologias inovadoras e disruptivas. As tecnologias apresentam-se de forma constante nas iniciativas, conforme pode ser observado nos objetivos propostos do MIC 2025, no Plano Internet

Plus e nos 13º e 14º Planos Quinquenais da China; quanto aos produtos, as estratégias são voltadas para a produção de produtos de qualidade haja vista que o país quer se destacar na qualidade oferecida e excluir definitivamente a ideia de que os produtos *Made in China* não são de qualidade.

Quanto às tratativas para realização de plataforma de testes, destacam-se na China os centros de inovação e as cidades pilotos para o desenvolvimento de um ecossistema voltado à capacidade industrial de manufatura, estímulo ao aprendizado e apoio aos sistemas regionais de inovação. Destaca-se neste sentido a cidade de *Ningbo* e as cidades do Delta do Rio das Pérolas (WÜBBEKE *et al.*, 2016; LI, 2018).

A qualificação profissional é tema debatido nas iniciativas do país para a manufatura avançada. Para atender aos princípios orientadores do MIC 2025, uma das prerrogativas é que seja criado um ambiente empresarial que proporcione investimentos em talentos especialistas e qualificados para atuarem no setor produtivo. Nos instrumentos que complementam as iniciativas do MIC 2025, também foi citada a criação de política para recrutar e capacitar talentos em disciplinas que tornem o aprendizado e as técnicas acessíveis para a implementação e aplicação das tecnologias digitais. Ademais, a política prevê treinamentos para captar talentos estrangeiros e parcerias com Universidades para apoiar o aprendizado voltado para as tecnologias digitais.

As principais tecnologias discutidas nos planos são IoT, computação em nuvem, *big data*, a Inteligência Artificial (AI) e a computação quântica.

Quanto aos incentivos, as iniciativas preveem o apoio para a ampliação das modalidades de financiamento, redução de custos para a formalização de contratos de financiamento, apoio para empresas implementarem as tecnologias digitais, promoção do capital de risco para estímulo à inovação, incentivos fiscais para PMEs e empresas de grande porte para investirem em inovação e política para a inserção de bancos comerciais para atendimento às PMEs nas necessidades voltadas à implementação de tecnologias, ao P&D e às inovações.

Destacam-se entre as fontes de financiamento, às de origem pública, de bancos, de fundos tecnológicos, fundos para startups, fundos públicos (LI, 2017) e por meio da expansão de crédito para pequenas firmas e plataformas de internet (LUCENA; ROSELINO; DIEGUES, 2020).

É importante ressaltar que investimentos para a implantação de tecnologias digitais devem levar em consideração o contexto regional e as possibilidades reais

para a construção de uma infraestrutura dentro desse novo contexto industrial, conforme afirmado por Dai (2017), quanto aos investimentos realizados nas províncias chinesas sem o retorno esperado devido à falta de planos para a construção de uma infraestrutura necessária ao setor fotovoltaico.

Nas iniciativas do país, foram escolhidos setores chaves para a implementação das tecnologias digitais: aeroespacial; telecomunicações; produção e distribuição de energia; transportes, eletrodomésticos, máquinas e equipamentos, robótica, tecnologias de informação e comunicação, naval, ferroviário, veículos de energia limpa, equipamentos médicos e setor agrícola (WÜBBEKE *et al.*, 2016) (MÓDOLO; HIRATUKA, 2017).

Com base na análise documental e nos autores citados nessa seção, apresenta-se quadro de forças e fraquezas da China para a trajetória à manufatura avançada.

Quadro 14 - Forças e fraquezas da China no contexto da 4RI

	CATEGORIAS	CHINA
FORÇAS	Tecnologias	busca o aprofundamento do uso de IoT.
		plano prevê a implementação e digitalização de tecnologias digitais na indústria.
		criação de fábricas inteligentes.
	Indústria	orientação da produção é voltada à produção de máquinas e equipamentos para o setor industrial.
	Inovação	apresenta centros de inovação e capacidade para a criação de plataforma de inovação aberta e compartilhada.
	Startups	iniciativas apresentam a previsão de fundos para a abertura de startups e incentivos financeiros.
	Cooperação	iniciativas contam com a cooperação internacional.
	Acompanhamento de recursos/financiamentos	iniciativas são avaliadas.
	Desenvolvimento Sustentável	inclui nas estratégias planos e ações para o desenvolvimento verde.
	PMEs	prevê benefícios para as PMEs
	Capital Humano	treinamentos, captação de talentos e convênios com universidades.

	CATEGORIAS	CHINA
<b>FRAQUEZAS</b>	<b>Tecnologias</b>	não apresenta nos planos iniciativas para a segurança cibernética
	<b>Indústria</b>	apresenta lacunas na concepção e aplicação das iniciativas (algumas empresas operam ainda entre a indústria 1.0 ou 2.0).
	<b>Governança</b>	não apresenta nos planos estrutura de governança.
	<b>Recursos financeiros</b>	recursos financeiros tendem a atender soluções de custos reduzidos.
		a abordagem utilizada nas iniciativas é global e não atende as necessidades específicas de setores e empresas..
<b>Capital Humano</b>	ausência de habilidade necessárias para o uso das tecnologias digitais.	

Fonte: elaboração própria.

A China apresenta, como pontos fortes, o engajamento em criar infraestrutura inovadora, o que pode ser constatado nas iniciativas do país que envolvem a participação do setor privado, de consórcio para o setor manufatureiro, a criação de uma rede nacional compartilhada de manufatura com a presença de agências, especialistas e universidades, a criação de normas e processos que permitam a interoperabilidade das tecnologias de produção; troca de insumos e informação dos estágios de manufatura; e certificação de cyber-segurança em processos que envolvam o desenvolvimento de sistemas (NSTC, 2012).

Ademais, o país busca aumentar a qualidade de seus produtos, participar das iniciativas que envolvem a criação de estratégias voltadas à redução de: resíduos sólidos industriais; consumo de energia; emissões de dióxido de carbono e construir uma infraestrutura nacional para a indústria (STATE COUNCIL OF CHINA, 2015).

Contudo, o país apresenta um *gap* entre a implementação e aplicação das iniciativas que são elaboradas considerando as especificidades do país e não de setores, empresas e indústrias (WÜBBEKE *et al.*, 2016).

Os recursos financeiros tendem a atender soluções de custos reduzidos, são distribuídos sem levar em consideração as necessidades específicas de setores ou empresas e são avaliados somente no início dos projetos sem o devido acompanhamento para a verificação de valores orçados e realizados (DAI, 2017).

Embora o país seja reconhecido como um grande investidor na área da educação, no que refere aos movimentos preconizados pela 4RI, existe a ausência

de formação profissional compatível para o uso das tecnologias digitais (WÜBBEKE *et al.*, 2016).

A partir do exposto, verifica-se que, embora a China apresente desafios a serem enfrentados para a condução e sucesso das estratégias definidas, os planos são integrados e visam atender às necessidades imediatas do país.

A seguir, serão brevemente apresentadas as políticas industriais dos Estados Unidos da América no período anterior a 4RI e, na sequência, as iniciativas para a trajetória do país rumo à Manufatura Avançada.

#### 4.3 Política industrial nos Estados Unidos da América (EUA): uma breve análise no período anterior à Quarta Revolução Industrial

As ações constituídas nos EUA, a partir da Segunda Guerra Mundial, impulsionaram a inovação no setor industrial por meio de aplicações na área de tecnologia e maciços financiamentos públicos em Pesquisa e Desenvolvimento (especialmente em defesa e saúde), com a finalidade de atender ao uso comercial e a estratégia bélica norte-americana (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013; IED, 2017).

Contudo, no período pós Segunda Guerra Mundial, quando comparada a trajetória industrial dos EUA com a Alemanha e o Japão, observa-se que esses países se reconstruíram a partir de esforços voltados para o desenvolvimento de pesquisas tecnológicas significativas para o sistema de inovação. Já nos EUA esses esforços envolveram somente a pesquisa básica o que se consolidou em um sistema de inovação americano incompleto (BONVILLIAN, 2017).

A baixa participação industrial na economia do país e o deslocamento de plantas industriais para outros países, além de atividades administrativas e financeiras, a exemplo da Contabilidade e planejamento tributário, contribuíram sobremaneira para a retração da indústria norte-americana e, conseqüentemente, a redução de vagas de emprego no setor industrial (*NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL - NSTC*, 2012).

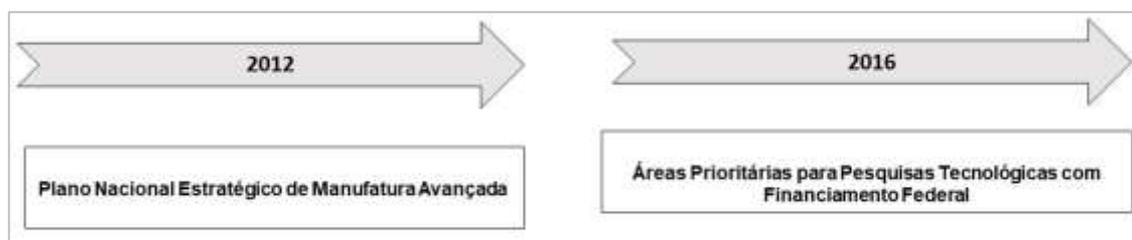
Para enfrentar os diversos desafios de ordem estrutural, os EUA priorizaram políticas de inovação que se tornaram um dos principais pilares da política industrial do país. Além de proporcionar a criação e financiar iniciativas que visavam ao crescimento da indústria de transformação, em 2012 foi anunciada pelo governo norte-americano, uma ampla iniciativa com o objetivo de direcionar investimentos públicos

para P&D com foco no desenvolvimento de tecnologias avançadas em conjunto com o setor industrial e universidades (IEDI, 2017).

A partir do exposto acima e, diante das iniciativas de políticas de inovação, as estratégias voltadas ao desenvolvimento da manufatura avançada no país evoluíram com a Parceria para Manufatura Avançada (AMP), envolvendo empresas e universidades em discussões, sugestões e recomendações para a retomada da indústria norte-americana (IEDI, 2017).

A seguir serão apresentadas as iniciativas para a trajetória rumo à manufatura avançada nos Estados Unidos da América. Tratamos aqui das seguintes iniciativas: Plano Nacional Estratégico de Manufatura Avançada e Áreas Prioritárias para Pesquisas Tecnológicas com Financiamento Federal representadas abaixo na linha do tempo (figura 12), e descritas na sequência.

Figura 12 - Iniciativas para a manufatura avançada nos EUA



Fonte: elaboração própria.

As iniciativas nacionais para a trajetória rumo à Quarta Revolução Industrial, nos EUA fazem parte de planos estratégicos que foram elaborados após o estudo e análise do setor industrial e dos eventuais desafios para garantir a competitividade do país no contexto das mudanças preconizadas por essa nova revolução (IEDI, 2017).

No limiar dessas mudanças, em 2012, a iniciativa “Plano Nacional Estratégico de Manufatura Avançada”, apresentou os princípios e os objetivos da nova estratégia para a manufatura avançada no país. O seu desenvolvimento contou com a cooperação e opiniões de representantes da área industrial, da academia e de um grupo de trabalho interagências para a Manufatura Avançada (AMP) (NSTC, 2012).

A iniciativa foi estruturada para operar em rede nacional, com focos tecnológicos especializados visando ao progresso da manufatura através de custos compartilhados e governança alcançada pela articulação público-privada (NSTC,

2012). O documento apresenta recomendações para três frentes: I: Inovação; II: Formação Profissional e Acadêmica; III: Melhoria do clima empresarial (NSTC, 2012).

No que se refere à inovação, o documento recomenda: a) iniciativas com a participação do setor privado para o desenvolvimento tecnológico visando à produção de interesse nacional e o progresso do setor manufatureiro; b) estruturação de consórcio de manufatura, no intuito de proporcionar contribuição coordenada para a elaboração de pesquisas em tecnologias de produção envolvendo o setor privado; c) a criação de uma infraestrutura para estimular a inovação nos institutos de pesquisa e inovação; d) a formação de centros tecnológicos para incentivar a inovação em diferentes estágios de maturidade, permitindo que PMEs beneficiem-se das oportunidades e investimentos em tecnologias digitais; e) a criação de normas e processos que permitam a interoperabilidade das tecnologias de produção; troca de insumos e informação dos estágios de manufatura; e certificação de cyber-segurança em processos que envolvam o desenvolvimento de sistemas; f) a articulação entre o Conselho Econômico Nacional, o escritório de Política de ciência e tecnologia, agências de execução e Departamentos, para a formação de uma rede nacional compartilhada de manufatura e uma estrutura de governança de inovação - NNMI, envolvendo agências, especialistas e Universidades (NSTC, 2012).

Para a formação profissional e acadêmica, o documento recomenda: a) apoio aos esforços para a divulgação da importância das carreiras e atividades desenvolvidas no setor manufatureiro; b) a implementação de certificações de habilidades reconhecidas em nível nacional; c) a promoção da articulação entre Universidades e empresas visando a novos modelos educacionais de formação profissional; d) o credenciamento de cursos que permitam o aprendizado online com apoio do Governo Federal e a transferência do conhecimento através de kits e manuais, ampliando o desenvolvimento de talentos e as oportunidades de trabalho (NSTC, 2012).

Quanto às estratégias voltadas para o setor empresarial, o documento recomenda: a) o fortalecimento do fluxo de informações, o fluxo de desenvolvimento de tecnologias, mercados e cadeias de suprimentos para as PMEs; b) o acesso ao capital através da formação de um fundo de investimento que envolva o setor público e o setor privado; c) o desenvolvimento de um fluxo de informações entre parceiros estratégicos, governo e fabricantes e o uso de incentivos fiscais para promover investimentos em manufatura (NSTC, 2012).

O documento sugere, ainda, com base nas necessidades do país no que se refere à demanda global, uma indústria mais competitiva e prontidão tecnológica, iniciativas que priorizem investimentos públicos para o desenvolvimento de tecnologias, apoiados no cumprimento de cinco objetivos interligados sendo que a evolução de qualquer um deles favorecerá os demais, são eles (NSTC, 2012):

1. Aumentar os investimentos para a produção de tecnologias voltadas ao setor industrial, sobretudo nas PMEs, inclusive considerando a utilização de instalações federais e a compra de produtos por agências federais.
2. Priorizar ações que envolvam a formação educacional, disponibilizar treinamentos para novas competências, contribuindo assim para um maior número de profissionais habilitados para o setor manufatureiro.
3. Estimular a parceria de atores nos âmbitos nacional, regional, público-privadas, com o governo, a indústria e universidades, no intuito de obter investimento e acelerar a implementação de tecnologias digitais.
4. Aprimorar investimentos por parte do Governo Federal para a indústria, gerando um portfólio e realizando ajustes adequados quando necessário.
5. Alavancar os investimentos do setor público e do setor privado para Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) focados na indústria.

A parceria entre instituições públicas, universidades, institutos de pesquisa, PMEs, e grandes empresas, contribuiu para a geração de ambientes compartilhados e orientados para a resolução de problemas gerando um ambiente propício à inovação e à geração de um sistema de transferência e de cogeração de tecnologias entre centros de excelência em produção do conhecimento (ARBIX *et al.*, 2017).

O documento que versa sobre as estratégias para o setor manufatureiro americano, incluiu princípios e ações que indicam as iniciativas que deverão ser tomadas abordando 5 princípios: 1) Política de Inovação para a Manufatura Avançada; 2) Revigoramento do “*Industrial Commons*”; 3) Incremento dos Investimentos Federais; 4) Parcerias entre o setor público e o setor privado e 5) Treinamento e Qualificação da força de trabalho (NSTC, 2012).

- 1) Política de Inovação para Manufatura Avançada: Para responder aos desafios inerentes às mudanças sociais, econômicas e políticas preconizadas pela Quarta Revolução Industrial, os EUA devem desenvolver uma política de inovação que leve em consideração: (I) a

diversidade de elementos das tecnologias industriais no âmbito público e privado e (II) as formas em que esses elementos se modificam ao longo da trajetória das tecnologias industriais (NSTC, 2012).

- 2) Revigoração das “Comunidades Industriais”<sup>10</sup>: PMEs que são inovadoras, muitas vezes fazem parte de “clusters industriais”. Tais clusters são constituídos de PMEs inovadoras e de grandes empresas que são dependentes de fornecedores menores, treinamento e instituições acadêmicas. Os clusters contribuem para o fortalecimento dos chamados “Industrial Commons”.

Investimentos públicos que visam à compra de bens industriais compartilhados, são capazes de trazer benefícios aos produtores e em especial às PMEs, como: a) Oportunidade de atualização da base tecnológica promovida por ativos compartilhados, o conhecimento adquirido e as instalações físicas; b) O alinhamento das várias capacidades produtivas e de processos entre empresas que certamente serão favorecidas com padronização e interfaces de sistema, métodos para testes e gestão de processos.

- 3) Incremento dos Investimentos Federais: Os investimentos públicos para P&D são ofertados em sua maioria para agências com um objetivo específico. Para resolver o interesse individual das agências, o documento do NSTC (2012), recomenda que a política de inovação seja única e complementar ao trabalho das agências individualmente. A recomendação é que seja criada uma carteira de investimentos em produção avançada com a análise dessa carteira e os devidos ajustes nas decisões tomadas pelas agências (NSTC, 2012).

A participação do Governo Federal é presente também nos investimentos voltados a plantas e equipamentos não financiados pela indústria privada,

---

<sup>10</sup> “*industrial commons*” – é o termo em inglês para se referir aos bens industriais em comum de um mesmo setor, localizados em uma determinada área geográfica. A exemplo de fornecedores, concorrentes, força de trabalho qualificada, clientes, universidades e a infraestrutura. Os bens industriais comuns são de propriedade das indústrias com fins lucrativos, mas o conhecimento adquirido nessas indústrias é compartilhado entre pessoas de outras empresas desse setor assim como as interações entre fornecedor e cliente, o compartilhamento de tecnologias e os processos que envolvem a imitação de produtos dos concorrentes (PISANO; SHIH, 2012).

devido aos riscos embutidos. Estes investimentos envolvem: (i) materiais avançados; (ii) plataformas para tecnologias de produção; (iii) processos avançados no setor produtivo; (iv) infraestrutura para *design* e produção de dados (NSTC, 2012).

4) Parcerias Público-Privadas: A academia, através dos seus pesquisadores deve estabelecer uma comunicação direta e eficaz nas parcerias formadas em indústrias. Investimentos federais devem estar em sintonia com investimentos estaduais, regionais e do setor privado para a implementação de tecnologias digitais. As parcerias que envolvem essa iniciativa incluem as agências, entidades públicas, estaduais, regionais, locais e privadas, empresas de pequeno, médio e grande porte, universidades, trabalhadores, associações sindicais e o público em geral (NSTC, 2012).

5) Qualificação necessária para atender as demandas do mercado de trabalho: no novo contexto pautado pelo uso de tecnologias na produção, a formação educacional nas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática - STEM, qualificação profissional e o aprendizado mais especializado e técnico são prerrogativas para atender indústrias e empresas. Conforme o setor de atividade, devido às especificações e particularidades do processo de produção, essas exigências podem se intensificar como é o caso dos setores que envolvem tecnologias para equipamentos médicos, de defesa e aeroespacial (NSTC, 2012).

Atividades que envolvem o movimento “*maker*” também é recomendado pelo NSTC (2012). Esse movimento requer a habilidade e criatividade para a fabricação de novos produtos como aparelhos eletrônicos, robótica e impressão 3D, incentivando as ações que envolvem o trabalho manual e colaborando para que jovens se destaquem nas formações “STEM” e atuem no setor manufatureiro (NSTC, 2012).

A oferta de formação acadêmica tradicional em conjunto com a formação em cursos de conhecimento especializado aplicado, deve ser uma iniciativa do Governo Federal, Governos Estaduais, locais e parcerias entre empresas e Universidades. O alinhamento de todo aprendizado adquirido

que envolvem o conhecimento técnico, em conjunto com o currículo de graduação, contribuirá para uma trajetória profissional no contexto da 4RI além de desenvolver habilidades que poderão ser aplicadas a futuros programas que visem ao aprendizado no setor industrial (NSTC, 2012).

Em abril de 2016, o documento “Áreas Prioritárias para Pesquisas Tecnológicas com Financiamento Federal”, divulgado pelo Governo Federal, apresentou o mapeamento das tecnologias digitais já existentes nas áreas de: Manufatura Aditiva, Compósitos Avançados, Design, eletrônica híbrida flexível, Fotônica, Materiais Ultraleves, Produção Inteligente, Têxteis e Eletrônica de potência e o mapeamento das áreas prioritárias para a implementação das tecnologias digitais: produtos farmacêuticos, biologia de engenharia, medicina regenerativa, bioprodutos e materiais avançados. O documento teve como objetivo principal compartilhar as prioridades com o setor público e privado no intuito de ambos colaborarem com iniciativas que visem à liderança do país em setores de alta intensidade tecnológica (NSTC, 2016).

Como exemplo de políticas públicas visando à competitividade do setor industrial, é importante ressaltar que o modelo americano pode ser avaliado de forma positiva quanto às parcerias formadas entre o setor público e o setor privado e Ciência, Tecnologia e Inovação, com mecanismos claros de compartilhamento financeiro para alavancar recursos privados além do previsto pelos editais. A exemplo dos institutos de inovação e das experiências do *DMDII-Digital Manufacturing and Design Innovation Institute* e do *Institute of Photonics - AIM Photonics*-, conforme apresenta-se no quadro 2 (IEDI, 2017).

As experiências do “*DMDII-Digital Manufacturing and Design Innovation Institute*”, localizado em Chicago, cujas atividades concentram-se no design digital integrado e manufatura, recebeu do setor privado como contrapartida, o investimento de trezentos e cinquenta milhões de dólares e do *Institute of Photonics - AIM Photonics*”, localizado em Nova York, cujas atividades concentram-se em Circuitos de fotônica integrados que registrou investimentos empresariais de duzentos e cinquenta milhões de dólares (contra 70 milhões de dólares do setor público) (ARBIX *et al.*, 2017).

Diante da relevância dada à ciência e à inovação, com foco na manufatura avançada e na aplicação industrial das tecnologias digitais, foram criados nos EUA, os Institutos Nacionais de Inovação Industrial, inspirados no modelo alemão – Instituto *Fraunhofer* e planejados para atender os seguintes objetivos (IEDI, 2017): a) estimular

a produção e a implementação de tecnologias digitais que possibilitem várias aplicações; b) estimular a comercialização das tecnologias digitais; c) apoiar o treinamento e a formação profissional especializada habilitando os trabalhadores no uso das novas tecnologias.

Foram criados, até o ano de 2017, 14 institutos regionais que recebem aportes financeiros das parcerias formadas entre indústrias de pequeno e grande porte, das universidades conceituadas, faculdades e dos governos locais. Empresas industriais e governos estaduais possuem a missão de complementar os recursos dispendidos pelo Governo Federal, em no mínimo, o mesmo valor (IEDI, 2017).

O quadro 15 apresenta a Rede de Institutos de Inovação Industrial criados no período de 2012 a 2017.

Quadro 15 - Rede de institutos de inovação industrial: 2012 a 2017

Instituto	Local	Agência Federal	Áreas de Atuação
America Makers – National Additive Manufacturing Innovation Institute - NAMII	<u>Youngstown, Ohio</u>	DoD <sup>11</sup>	Impressão 3D e manufatura aditiva
Digital Manufacturing and Design Innovation Institute – DMDII	<u>Chicago, Illinois</u>	DoD	Manufatura digital
Lightweight Innovations for Tomorrow – LIFT	<u>Detroit, Michigan</u>	DoD	Materiais leves
Next Generation Power Electronics Manufacturing Innovation Institute - PowerAmerica	<u>Raleigh, North Carolina</u>	DoE <sup>12</sup>	Eletrônica flexível
Institute for Advanced Composites Manufacturing innovation - IACMI	<u>Knoxville, Tennessee</u>	DoE	Polímeros e compósitos
American Institute for Manufacturing Integrated Photonics - AIM Photonics	<u>Rochester, New York</u>	DoD	Circuitos integrados e fotônica aplicada
Flexible Hybrid Electronics Manufacturing Innovation Institute - NextFlex	<u>San Jose, California</u>	DoD	Eletrônica Flexível
Advanced Functional Fabrics of America – AFFOA	<u>Cambridge, Massachusetts</u>	DoD	Fibras e tecidos
Smart Manufacturing Innovation Institute - SMII	<u>Los Angeles, Califórnia</u>	DoE	Manufatura Inteligente
National Institute for Innovation in Manufacturing Biopharmaceuticals – NIIMBL	<u>Newark, Delaware</u>	DoC <sup>13</sup>	Biomanufatura
Advanced Regenerative Manufacturing Institute – ARMI	<u>Manchester, New Hampshire</u>	DoD	Biomedicina
Advanced Robotics Manufacturing Institute – ARM	Pittsburgh, Pennsylvania	DoD	Humano-Colaborativo-Robótica / Inteligência Artificial / Automação
Rapid Advancement in Process Intensification Deployment Institute – RAPID	New York, New York	DoE	Intensificação/modularização de processos
Institute for Reducing Embodied Energy and Decreasing Emissions in Materials Manufacturing – REMADE	Rochester, New York	DoE	Remanufatura

Fonte: adaptado de NSTC, 2016.

<sup>11</sup> Departamento de Defesa.

<sup>12</sup> Departamento de Energia.

<sup>13</sup> Departamento de Comércio.

Observa-se que os institutos de inovação e suas redes estão localizados em diferentes cidades e regiões dos EUA que concentram empresas do setor industrial em áreas específicas como a indústria automobilística no Centro-Oeste, a indústria aeroespacial nas costas Leste e Oeste e a indústria farmacêutica no Nordeste. Contudo, é importante ressaltar que a estratégia do país deve levar em consideração as condições regionais além de permitir o transbordamento do conhecimento para as empresas em nível nacional (BONVILLIAN, 2017).

Os institutos de inovação foram planejados seguindo uma abordagem de cima para baixo em que as agências tomam decisões focando as suas áreas de atuação e não levando em consideração o setor industrial em sua amplitude (IEDI, 2017).

Bonvillian (2017) afirma que a maneira como as agências gerenciam as suas atividades de forma familiarizada, as induz à compreensão de que estão desenvolvendo um trabalho de supervisão de pesquisa. Porém, a atividade dos institutos envolve a colaboração de vários atores, empresas, pesquisadores em todas as fases de uma pesquisa que vão desde os testes, apresentação de uma tecnologia, desenvolvimento de produtos, formação educacional e capacitação da mão de obra (BONVILLIAN, 2017).

Na análise de Bonvillian (2017), planos que envolvem a inovação devem ser considerados no longo prazo. Somente alguns institutos criados nos EUA já possuem o tempo de atividade necessário para serem avaliados com relação às declarações de suas missões. O autor, apresenta algumas lições e desafios que poderão surgir de acordo com a evolução dos institutos, a saber:

- **Orientação para tecnologia versus produção:** Os institutos criados são voltados para atividades nas áreas temáticas que foram selecionadas pelas agências públicas de financiamento de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Tais áreas temáticas refletem as missões da agência, mas não necessariamente as necessidades prioritárias das indústrias especificamente. Neste sentido, a escolha das áreas temáticas e as necessidades tecnológicas foram orientadas conforme o entendimento das agências e não para atender as necessidades da indústria. Contudo, verifica-se uma tendência à autocorreção, tendo em vista que as agências buscam cada vez mais atender as solicitações do setor industrial.

Assim, conclui Bonvillian (2017), que se forem criados institutos adicionais, as agências federais poderiam formalmente atribuir maior peso aos critérios

propostos pela AMP em seu processo de seleção de áreas-alvo, para atender a correspondência entre as necessidades do setor industrial e agências, a saber: necessidade da indústria, demanda do mercado, transversalidade, segurança econômica e segurança nacional.

- **Formação Educacional e treinamento da força de trabalho:** A adoção ampla das tecnologias de manufatura requer que se tenha equipes formadas por engenheiros e que a força de trabalho seja capacitada para utilizar as tecnologias, sobretudo nas PMEs. Alguns institutos de inovação dos EUA, constataram que o treinamento da força de trabalho pode contribuir para outros setores além de permitir contato com diversas empresas. Essa pode ser uma forma de desenvolver uma rede entre empresas de pequeno, médio e grande porte, inclusive com outros Estados, que participam da formação educacional por meio de Universidades instaladas em seu entorno. Porém, nem sempre essa estratégia foi adotada, uma vez que boa parte dos responsáveis pelos programas das agências para os institutos possuem a formação tecnológica e não são especializados na área da educação, criando, deste modo, uma tendência para que os institutos se concentrem em atividades de Pesquisa e Desenvolvimento. Os institutos devem atender às atividades que envolvem os dois conjuntos de tarefas para contribuir com os setores industriais de forma plena e igualitária (BONVILLIAN, 2017).
- **Ênfase na Pesquisa e Desenvolvimento e na Aplicação:** ambos devem ser prioridades para os institutos de inovação. Os institutos devem ser capazes de atuar em todo o processo do desenvolvimento, testes e demonstração de tecnologias e, caso isso não seja possível, os institutos possivelmente limitarão o acesso de empresas de Pequeno e médio porte em virtude de as tecnologias procuradas por essas empresas não estarem prontas dentro da estrutura oferecida pelos institutos. Essa lacuna limita a disseminação das tecnologias para uso industrial (BONVILLIAN, 2017).
- **Ausência de experiência das agências federais com Pesquisa e Desenvolvimento direcionadas ao setor industrial:** A linha do tempo sobre liderança industrial nos EUA demonstra que governos federais consideraram o setor industrial como um dado e não elaboraram planejamentos estratégicos com foco na Pesquisa e Desenvolvimento.

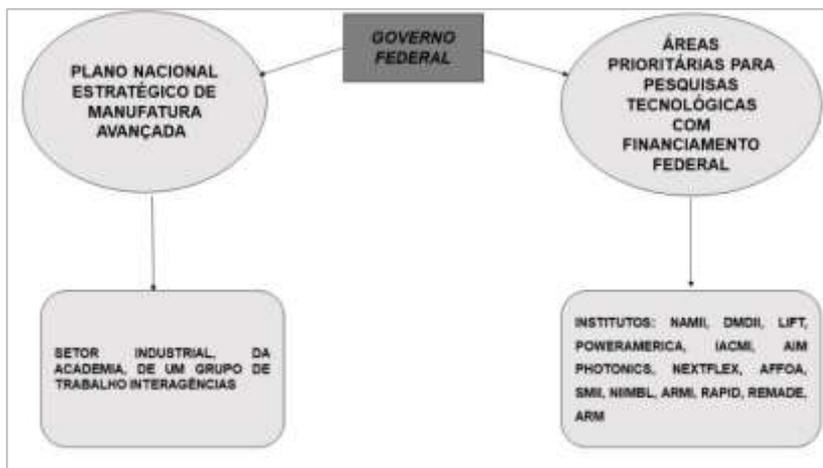
Motivo este que faz com que os institutos de inovação se concentrem mais em estágios iniciais do desenvolvimento tecnológico do que na aplicação da tecnologia, como proposto pela AMP. Embora a pesquisa básica seja necessária, a concentração nas tecnologias digitais para o setor industrial certamente será um ganho para os institutos (BONVILLIAN, 2017).

- **Fontes de Financiamento e o envolvimento dos governos estaduais e locais:** O investimento federal para os institutos no período de cinco anos, foi entre 70 e 120 milhões de dólares. Contribuíram com, no mínimo, o mesmo montante, consórcio de empresas, universidades e governos estaduais. Porém, em alguns casos, a contribuição ofertada por esses parceiros ficou acima dos recursos concedidos pelo Governo Federal. Por lei, durante o período de cinco anos, o suporte financeiro deve vir da esfera federal. Deste modo, a participação dos estados é essencial para a sustentabilidade financeira dos institutos. Certamente se os institutos não acompanharem a economia regional, a colaboração do estado não será promissora (BONVILLIAN, 2017).
- **Apoio Federal aos Institutos pelo período de cinco anos:** O entendimento de que os institutos se tornem sustentáveis financeiramente no prazo de cinco anos tende a ser um risco, em virtude de que a revitalização da inovação, requer planos elaborados para o longo prazo e, conseqüentemente, os desafios relacionados às tecnologias e aos negócios. Além disso, na Alemanha, os Institutos *Fraunhofer* que serviram de modelo aos institutos norte-americanos, contam com apoio constante do governo alemão e não enfrentam tal impedimento (BONVILLIAN, 2017).
- **Participação da cadeia de Fornecedores:** Os projetos de P&D de tecnologia geralmente incluem pesquisadores e empresas de grande porte. As empresas de pequeno porte não são incluídas nestas chamadas por possuírem uma capacidade baixa para desenvolvimento de pesquisa e desenvolvimento. Para empresas de pequeno porte adotarem tecnologias digitais, é necessário que toda cadeia de fornecimento integrem a estrutura dessas empresas. Neste caso, os institutos deverão envolver a cadeia de fornecedores em todas as fases de uma pesquisa que envolve – demonstração do produto, testes e treinamento para uso da tecnologia (BONVILLIAN, 2017).

Para Sakong (2017), no contexto da 4RI, os EUA destacam-se no desenvolvimento de negócios a partir de plataformas como Google, Facebook, Apple, Uber e Airbnb. Dispõe da tecnologia de Big Data e Inteligência Artificial. Contudo o autor ressalta que no país, ocorre a ausência de dados reais de campo e a indústria de transformação é fraca quando comparada à indústria de transformação da Alemanha.

A figura 13 apresenta os atores que fazem parte das iniciativas estabelecidas no país.

Figura 13 - EUA: iniciativas nacionais para a manufatura avançada



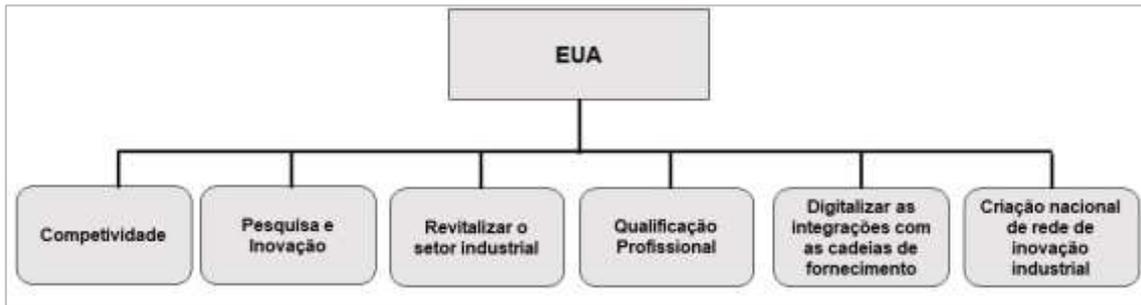
Fonte: elaboração própria.

Observa-se que o Governo Federal é o protagonista das duas iniciativas elaboradas pelo país. O Plano Nacional Estratégico de Manufatura Avançada tem a parceria de atores do setor industrial, academia e grupo de trabalho. E o Plano de Áreas Prioritárias para Pesquisas Tecnológicas com Financiamento Federal tem como parceiros os 14 institutos criados.

A seguir, será apresentada a síntese das iniciativas para a manufatura avançada nos Estados Unidos da América.

A partir da matriz de síntese (anexo A), foi elaborada a figura 14 que apresenta os objetivos das iniciativas para a manufatura avançada nos Estados Unidos da América.

Figura 14 - Pilares das iniciativas para a manufatura avançada nos EUA



Fonte: elaboração própria.

A partir da figura 14 é possível observar que os objetivos descritos nas iniciativas estão relacionados à: competitividade do país e do setor industrial; pesquisa e inovação; qualificação profissional; revitalização do setor industrial; digitalização das integrações entre as cadeias de fornecimento e a criação de rede de inovação industrial.

No intuito de se conhecer os principais assuntos discutidos nas iniciativas para a manufatura avançada nos EUA, foi gerada a nuvem de palavras (figura 15), a partir das informações organizada na matriz de síntese (anexo A). A nuvem de palavras foi elaborada levando em consideração as 30 palavras mais frequentes com sinônimos, conforme descrito no capítulo 3 – Procedimentos Metodológicos, item 3.3 – Tratamento dos dados e análise.

Figura 15 – EUA: Principais temas para a manufatura avançada



Fonte: elaboração própria a partir da matriz de síntese (2021). Processamento nvivo (2021).

A inovação está presente nas estratégias e ações estabelecidas nos planos do país com a participação do setor privado, de consórcio para o setor manufatureiro, a criação de uma rede nacional compartilhada de manufatura que envolva agências, especialistas e universidades, a criação de normas e processos que permitam a interoperabilidade das tecnologias de produção; troca de insumos e informação dos estágios de manufatura; e certificação de cyber-segurança em processos que envolvam o desenvolvimento de sistemas (NSTC, 2012).

Os incentivos para as estratégias elaboradas nos planos do país, estão relacionados a investimentos públicos que visam à compra de bens industriais compartilhados, atualização da base tecnológica, padronização e interfaces de sistema, controle de processos e métodos para testes, investimentos públicos para P&D e aplicação, investimentos para o desenvolvimento das seguintes tecnologias: materiais avançados; plataformas tecnológicas de produção; processos avançados de fabricação; infraestrutura de dados e *design* (NSTC, 2012).

Com relação a estratégias voltadas para planos piloto, o país investiu trezentos e cinquenta milhões de dólares na criação de institutos de inovação para o desenvolvimento de pesquisas em tecnologias de produção.

No que se refere às iniciativas para a qualificação profissional, o governo investiu em aprendizado especializado, certificações de habilidades reconhecidas em nível nacional; ocorre no país a articulação entre Universidades e empresas e iniciativas voltadas para novos modelos educacionais de formação profissional, aprendizado online, formação educacional nas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática além de estimular o movimento *maker* no setor de manufatura.

As tecnologias prioritárias e descritas nas iniciativas são: Manufatura Aditiva, Compósitos Avançados, Design, eletrônica híbrida flexível, Fotônica, Materiais Ultraleves, Produção Inteligente, Têxteis e Eletrônica de potência.

As fontes de financiamento são do setor público – governos federal, estadual, local e do setor privado e saem do Governo Federal para P&D; financiamento dos governos federal, estadual e local para institutos de inovação e do setor privado que investiu na criação dos institutos de inovação (ARBIX *et al.*, 2017).

Os 14 institutos criados até 2017 também recebem aportes das parcerias formadas entre indústrias de pequeno e grande porte, das universidades conceituadas, faculdades e dos governos locais. Empresas industriais e governos

estaduais possuem a missão de complementar os recursos dispendidos pelo Governo Federal, em no mínimo o mesmo valor (IEDI, 2017).

Os setores prioritários que fazem parte das iniciativas são: produtos farmacêuticos, biologia de engenharia, medicina regenerativa, bioprodutos e materiais avançados.

Com base na análise documental e nos autores citados nessa seção, apresenta-se quadro de forças e fraquezas dos EUA para a trajetória à manufatura avançada.

Quadro 16 - Forças e fraquezas dos EUA no contexto da 4RI

	CATEGORIAS	EUA
<b>FORÇAS</b>	<b>Tecnologias</b>	uso intensivo de tecnologias digitais voltadas à prestação de serviços – IOT e IOS. Exemplos: UBER e AIRBNB.
		expert no desenvolvimento de plataformas para negócios digitais. Exemplos: GOOGLE, FACEBOOK e APPLE.
		tem a tecnologia big data virtual.
		tem um nível elevado de tecnologia de inteligência artificial (ia).
	<b>Indústria</b>	investimentos voltados para o desenvolvimento de tecnologias no setor industrial.
	<b>Inovação</b>	tem institutos de pesquisa com ênfase no desenvolvimento e na aplicação de tecnologias.
	<b>Cooperação</b>	iniciativas contam com a cooperação internacional.
	<b>Governança</b>	apresenta estrutura de governança de inovação que envolve agências, especialistas e universidades.
	<b>Pequenas e Médias Empresas</b>	envolve as PMEs nas recomendações para formação de centros tecnológicos.
<b>Capital Humano</b>	investe no aprendizado especializado.	
<b>FRAQUEZAS</b>	<b>Tecnologias</b>	não apresenta dados reais de campo.
	<b>Indústria</b>	apresenta fragilidade na indústria de transformação.
	<b>Startups</b>	não apresenta nas iniciativas o envolvimento de startups
	<b>Recursos financeiros</b>	apoio financeiro do governo para os institutos de pesquisa são somente durante 5 anos.
	<b>Inovação</b>	institutos criados não atendem as necessidades específicas da indústria.
		os responsáveis pelas agências que atendem os institutos de pesquisa em sua maioria possuem formação tecnológica e não são da área acadêmica.
institutos se concentram mais no desenvolvimento de pesquisa básica.		

Fonte: adaptado de Sakong (2017).

Os EUA destacam-se nas forças relacionadas ao desenvolvimento de plataformas para negócios digitais que utilizam tecnologias emergentes da 4RI, como IoT e IoS. Além de se destacar por ter avançado na implementação das tecnologias de Big Data e Inteligência Artificial, investe no desenvolvimento de tecnologias para o setor industrial por meio dos institutos de inovação industrial. Mas apresenta uma infraestrutura frágil para a indústria de transformação além de não ter dados reais de campo para o avanço na implementação das tecnologias digitais.

Os institutos recebem aportes do governo somente durante 5 anos o que é um risco diante da revitalização da inovação, que deve ser considerada em planos de longo prazo, dos desafios relacionados à implementação das tecnologias digitais e do surgimento de novos modelos de negócios.

A seguir serão brevemente apresentadas as políticas industriais do Japão no período anterior a 4RI e, na sequência, as iniciativas para a trajetória do país rumo à Manufatura Avançada.

#### 4.4 Política industrial no Japão: uma breve análise no período anterior à Quarta Revolução Industrial

A nação japonesa, é reconhecida mundialmente por se posicionar como um país industrial sofisticado, com indústrias e empresas de liderança mundial e especializadas na qualidade de seus produtos e componentes.

No país, a indústria automotiva corresponde a aproximadamente 30% da produção de automóveis produzidos no mercado mundial e eletrônicos corresponde a 60% da produção de câmeras digitais. Além de outras áreas que são destaques mundial: produção mecânica, robótica, componentes para aeronaves e produtos químicos (IEDI, 2018).

A partir da segunda metade do século XX, o país se beneficiou de sua política industrial para ser reconhecido mundialmente. Indústrias do setor automobilístico, eletrônicos, máquinas e aço tiveram a sua participação na economia por volta do ano de 1950 (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013).

A parceria entre o Governo Federal, bancos e instituições financeiras públicas permitiu a concessão de financiamentos de longo prazo. Incentivos fiscais foram concedidos a empresas, além de subsídios para exportação e aportes financeiros para pesquisas (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013).

Estrategicamente foram criadas pelo Governo Federal leis que estimulavam as empresas industriais a investirem nos fornecedores parceiros, concedendo a estes retornos sobre o capital ou promovendo a participação de especialistas com qualificação específica para compartilhamento de conhecimento técnico (IEDI, 2018).

A partir do ano de 2015, o governo japonês tem realizado esforços para a elaboração de iniciativas voltadas a trajetória rumo à Manufatura Avançada, que serão apresentadas a seguir.

Tratamos aqui das seguintes iniciativas: Consórcio para Aceleração da IoT, Revolução Robótica (RRI), Quinto Plano Básico de Ciência e Tecnologia (C&T), Visão Futura da Estrutura Industrial Inovadora e Indústrias Conectadas – Tóquio 2017 representadas abaixo na linha do tempo (figura 16), e descritas na sequência.

Figura 16 - Iniciativas para a manufatura avançada no Japão



Fonte: elaboração própria.

As mudanças advindas do novo contexto industrial, fazem parte de estudos e pesquisas realizadas em parceria com o *Ministry of Economics, Trade and Industry - METI* e a iniciativa Ásia-Pacífico (API), criado para elaborar e executar planos relacionados a políticas inovadoras conjuntamente com líderes empresariais globais, Governo japonês, sociedade civil, organizações internacionais e as *startups* (ABDI, 2018).

A agenda de políticas do governo japonês foi elaborada levando em consideração o médio e o longo prazo com a cooperação do setor privado e contempla planos e ações que visam reduzir os pontos fracos do país assim como aumentar os pontos fortes direcionando a economia para a trajetória da 4RI (IEDI, 2018).

A elaboração de políticas públicas voltadas para a industrialização no Japão é de responsabilidade do *Research Institute of Economy, Trade and Industry (RIETI)* e do *National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)* (ABDI, 2018) e segue as diretrizes de combinar estratégias com foco no desenvolvimento, na implementação e na disseminação das tecnologias emergentes da 4RI como a

robótica e a inteligência artificial, modernizar e digitalizar o setor industrial para manter a competitividade (IEDI, 2018).

Na composição dessa agenda política, algumas iniciativas foram elaboradas como a criação do Consórcio para Aceleração da IoT, com o objetivo de promover o desenvolvimento e a demonstração da tecnologia *IoT* com suporte financeiro e regulatório para projetos elaborados no médio e longo prazo. A iniciativa é coordenada pelo Ministério da Economia, Comércio e Indústria (METI) e do Ministério de Assuntos Internos e Comunicações (MIC) e cooperação do setor industrial e da academia.

A estrutura da Iniciativa de Revolução Robótica (RRI) conta com a parceria de organizações privadas como as associações industriais dos setores automobilístico, agrícola, saúde, infraestrutura, além de universidades, institutos e laboratórios de pesquisa. Além de organizações do setor público, como o Conselho de Competitividade Industrial, o Conselho de Ciência e Inovação Tecnológica, o Conselho de Reforma Regulatória, e organizações internacionais como a IIT-Iniciativa para a Implementação da Internet Industrial dos EUA e a Plataforma Indústria 4.0 da Alemanha (METI, 2015).

A estratégia foi elaborada para estimular a fabricação e a disseminação do uso sistemático de robôs em setores centrais a saber: automobilístico, eletrônica, serviços e agrícola. A sua organização é representada por três grupos de trabalho, sendo o primeiro voltado para o estímulo da inovação por meio da IoT; o segundo tem como tarefa promover a utilização de robôs e o terceiro visa à inovação da robótica (IEDI, 2018).

Dentre as ações dessa iniciativa, destacam-se a criação de sistemas e programas em áreas de valor agregado e os integradores de sistemas entre os ambientes de *software* e *hardware* (METI, 2015).

Para resolver as lacunas da falta de profissionais capacitados, a iniciativa relaciona medidas que visam à especialização em atividades da área de robótica. Tais medidas serão concretizadas por meio de formação na modalidade de ensino público que envolvem cursos profissionalizantes, a certificação de qualificação em sistemas e o desenvolvimento de pesquisas em institutos e universidades. Soma-se a estas ações, a iniciativa do governo em divulgar os conhecimentos sobre robôs para o público em geral, envolvendo a área educacional primária e secundária e espaços culturais para que todos tenham conhecimento de como se dá a construção de um robô e se ambientem com eles (METI, 2015).

O planejamento estratégico da iniciativa prevê como metas os seguintes avanços até 2020: a) Duplicar a escala de mercado dos robôs utilizados passando de 60 bilhões de ienes para 120 bilhões de ienes; b) Elevar a produtividade do trabalho na indústria de transformação para mais de 2% ao ano; c) Elevar a utilização de robôs nas linhas de produção 25% para grandes empresas e 10% para empresas menores; d) Coletar cerca de 30 melhores práticas em nova aplicação de robô a cada ano; e) Desenvolver e comercializar 1.000 ou mais produtos de hardware interoperáveis; f) Expandir o mercado relacionado à integração do sistema.

O campo da robótica é posição de destaque para a economia do Japão. No ano de 2012, a receita com a exportação de robôs no país chegou a aproximadamente 340 bilhões de dólares, representando cerca de 50% do mercado global. No que se refere à fabricação de materiais para a composição de robôs o país ocupa 90% desse mercado (IEDI, 2018).

Contudo, apesar de o país ser considerado líder na fabricação e exportação de robôs, a sua posição competitiva no mercado foi ameaçada diante de novos entrantes no mercado de robótica como é o caso dos EUA com a Iniciativa de Robótica, a União Europeia com o projeto que envolve o setor público e privado – SPARC e a entrada da China e da Coreia do Sul que encontraram nesse nicho de mercado uma oportunidade para se tornarem mais competitivos (IEDI, 2018).

Com relação à inovação, o país apresenta forte tendência para se adaptar a novas tecnologias que envolvem as funções tradicionais, facilitando dessa forma, as relações entre a força de trabalho e a robótica, criando um ambiente de trabalho favorável a ambas as partes (SAKONG, 2017).

O Quinto Plano Básico de Ciência e Tecnologia (C&T), lançado em 2016, tendo como um dos pilares a iniciativa “Sociedade 5.0”, tornou-se a principal política para revitalizar a economia do país visando às melhorias para a sociedade a partir do cumprimento de quatro objetivos: crescimento e desenvolvimento sustentável e a criação de empregos; segurança e proteção para a sociedade; enfrentamento dos obstáculos e contribuir para a aplicação da Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) e a criação de ativos intangíveis, traduzida pela oferta de força de trabalho qualificada (METI, 2016).

Visando transformar o país em uma sociedade superinteligente, o Plano de C&T priorizou tecnologias a serem implementadas no país e são elas: robótica,

sensores e atuadores, biotecnologia, tecnologia de interface humana, material/nanotecnologia e tecnologia de luz/quantum (MET, 2016).

O relatório “Visão Futura da Estrutura Industrial Inovadora” é uma iniciativa criada com a participação do governo, da indústria e da academia e tem como objetivo descrever a estratégia japonesa na elaboração de planos que possibilitem mudanças para uma economia projetada até o ano de 2030, além de indicar reformas que devem ser realizadas em setores para que essa projeção seja executada com sucesso (IEDI, 2018).

Os setores identificados que devem passar por reformas são: indústria de transformação, mobilidade, saúde, agricultura, turismo e educação. No setor fabril, o relatório visa, como prioridades, às reformas relacionadas à inovação, segurança e cadeia de suprimentos (METI, 2016).

As mudanças sugeridas no relatório são: desenvolver capacidade de resposta imediata, com produção em grande escala e personalizada, eliminar o desperdício na fabricação, redução do tempo de entrega ao cliente, apropriação de *drones* para entregas rápidas, monitoramento constante dos equipamentos da fábrica, visando à antecipação de problemas e falhas no processo fabril (METI, 2016).

Como em outros países, no Japão a estratégia segue no intuito de tornar a economia do país mais competitiva e criar espaço para novos mercados nos setores que envolvem: produção, medicina, logística, dentre outros (SAKONG, 2017).

Estrategicamente, o Japão avançou em novas iniciativas para o uso da tecnologia de Inteligência Artificial – IA na oferta de serviços prestados. Em 2017, foi elaborado um roteiro para o médio e o longo prazo, a partir do ano de 2020 até o ano de 2030, que teve como principal objetivo promover a P&D e a industrialização da tecnologia de IA, em três setores a saber: produção, saúde e mobilidade (METI, 2017).

Para a escolha dos setores prioritários, foram analisados três fatores: as urgências de ordem social; os resultados e benefícios econômicos gerados com a implementação da tecnologia de IA além das contribuições que a nova tecnologia trará à sociedade e aos setores escolhidos para fazer parte desse avanço tecnológico no país (METI, 2017).

Incentivos foram concedidos pelo Governo Federal para a execução de todas as fases do roteiro estratégico. A promoção de P&D em IA, investimento em recursos humanos e ações que promovam um ambiente capaz de gerar dados assim como o apoio necessário para empreendimentos que estão iniciando os seus negócios de

base tecnológica. As atividades de P&D serão coordenadas pelos institutos *RIKEN* e *AIST* e realizadas em parceria com universidades, indústrias e Governo Federal, no modelo de inovação aberta (METI, 2017).

Em 2017, foi lançado no país a ideia de “Indústrias Conectadas” que visa à competitividade internacional; à conexão de indústrias em um ambiente propício a inovações, ao uso de novas tecnologias e uma sociedade conectada.

Levando em consideração pontos divergentes encontrados no país como a falta de cooperação em algumas áreas, a proposta para a criação de uma nova estratégia que tenha como base indústrias conectadas sugere novos modelos de negócios e o aprimoramento do desenvolvimento de talentos. Assim, no mesmo ano foi lançada pelo METI a iniciativa de “Indústrias Conectadas Tóquio 2017” (METI, 2017).

A iniciativa priorizou os campos de mobilidade, robótica, indústria de transformação, biotecnologia e materiais, segurança de indústrias, infraestruturas e sociedade inteligente. Cada campo de prioridade receberá investimentos públicos e terá que cumprir as medidas necessárias para o sucesso da iniciativa” (METI, 2017).

No que se refere à indústria de transformação e robótica, as prioridades elencadas na iniciativa envolvem a padronização de formatos e dados no âmbito internacional, o estímulo à colaboração de empresas em áreas como a segurança cibernética e recursos humanos e o estímulo do uso das tecnologias IoT em PMEs (METI, 2017).

Alguns aspectos foram apresentados por Sakong (2017) como pontos fortes do país e justificam essa evolução para a implementação no setor fabril de tecnologias como a M2M, a robótica, computação em nuvem, *big data* e *big analytics* além de expandir essa implementação nas áreas médica e de tráfego. O país ocupa mundialmente o segundo lugar em redes de comunicação avançada, ficando atrás somente da Coreia do Sul (SAKONG, 2017).

Para Sakong (2017), a nação nipônica apresenta pontos fortes como: capacidade de resposta rápida a força de trabalho, habilidades técnicas para utilização de novas tecnologias, o grande número de robôs industriais em operação e as diversas indústrias de apoio em atividade no país.

Contudo, o autor ressalva que o país apresenta pontos fracos, são eles: a) disponibilidade ainda baixa da tecnologia de *Big Data* e capacidade limitada para o uso da tecnologia de Inteligência Artificial; b) baixa produção e escassez de força de trabalho para a fabricação de softwares; c) rigidez da estrutura de governança

corporativa, dificultando o envolvimento de grandes empresas em investimentos que envolvem ativos com riscos incorporados; d) a estrutura da indústria japonesa se constitui de forma vertical e integrada. A cultura e o modelo de gestão atuante nas empresas não são preparados para a inovação aberta que se destaca nos últimos anos como um modelo de predominância no desenvolvimento de novos produtos. O modelo de inovação aberta, determina que exista um conjunto de empresas conduzindo atividades para um mesmo fim, com patentes, direitos autorais compartilhados, a padronização e a integração de sistemas (SAKONG, 2017).

A figura 17 apresenta as iniciativas do Japão para a manufatura avançada.

Figura 17 - Japão: iniciativas nacionais para a manufatura avançada



Fonte: elaboração própria.

É possível observar que o Governo Federal participa de todas as iniciativas junto ao METI. Destaca-se no país o Consórcio criado para estimular a IoT no país que é coordenado pelo Ministério da Economia, Comércio e Indústria (METI) e do Ministério de Assuntos Internos, e Comunicações (MIC) e a cooperação do setor industrial e da academia.

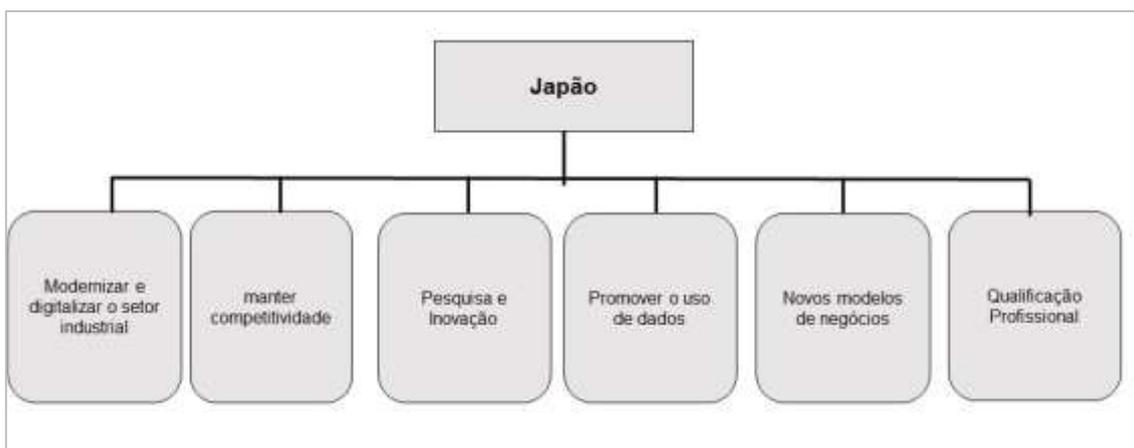
A estrutura da iniciativa de Revolução Robótica (RRI) conta com a parceria de organizações privadas como as associações industriais dos setores automobilístico, agrícola, saúde, infraestrutura, além de universidades, institutos e laboratórios de pesquisa. Além de organizações do setor público como o Conselho de Competitividade Industrial, o Conselho de Ciência e Inovação Tecnológica, o Conselho de Reforma Regulatória, e organizações internacionais como a IIT-Iniciativa

para a Implementação da Internet Industrial dos EUA e a Plataforma Indústria 4.0 da Alemanha (METI, 2015).

A seguir será apresentada síntese das informações encontradas nas iniciativas do Japão.

A partir da matriz de síntese (anexo A), foi elaborada a figura 18 que ilustra os objetivos das iniciativas para a manufatura avançada no Japão.

Figura 18 - Pilares das iniciativas para a manufatura avançada no Japão



Fonte: elaboração própria.

A partir da figura 18 é possível observar que os objetivos descritos estão relacionados a: modernizar e digitalizar o setor industrial; manter a competitividade do país combinando estratégias que visam ao desenvolvimento, a pesquisa e inovação a partir das tecnologias de IoT e robótica; promover o uso de dados para a implementação de tecnologias digitais; estimular a abertura de novos modelos de negócios para estimular a inovação sobretudo nas PMEs e o uso de tecnologias digitais.

Com relação à qualificação profissional no país, as iniciativas apresentam planos para cursos de especialização em atividades da área de robótica, cursos profissionalizantes, certificação de qualificação na área de sistemas e o desenvolvimento de pesquisas em institutos e universidades.

No intuito de se conhecer os principais assuntos discutidos nas iniciativas para a manufatura avançada no Japão, foi gerada a nuvem de palavras (figura 19), a partir das informações organizadas na matriz de síntese (anexo A). A nuvem de palavras foi elaborada levando em consideração as 30 palavras mais frequentes com sinônimos,

conforme descrito no capítulo 3 – Procedimentos Metodológicos, item 3.3 – Tratamento dos dados e análise.

Figura 19 – Japão: Principais temas para a manufatura avançada



Fonte: elaboração própria a partir da matriz de síntese (2021). Processamento nvivo (2021).

De acordo com a nuvem de palavras, é possível reafirmar que a inovação se encontra no centro das iniciativas criadas no país, assim como a importância dada a sociedade e ao setor industrial. A sociedade faz parte das iniciativas nipônicas para a trajetória rumo à 4RI. Isso fica claro no Quinto Plano Básico de Ciência e Tecnologia (C&T) criado em 2016 que apresenta como pilar a iniciativa Sociedade 5.0, que objetiva beneficiar a sociedade com melhorias por meio do crescimento e desenvolvimento sustentável e a criação de empregos; segurança e proteção para a sociedade; enfrentamento dos obstáculos e contribuir para a aplicação da Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) e a criação de ativos intangíveis, traduzida pela oferta de força de trabalho qualificada (METI, 2016).

As fontes de recursos para incentivar a trajetória de empresas são de natureza pública, vindas do Governo Federal e estão separadas de duas formas. Os projetos que envolvem temáticas relacionadas às tecnologias de múltiplas empresas são ofertados para cumprimento de metas no médio e no longo prazo. Já para projetos individuais as ofertas são para financiamentos somente no curto prazo.

As principais tecnologias relacionadas nas iniciativas são: IoT, Inteligência Artificial (IA), Robótica, *Big-data*, sensores e atuadores, biotecnologia, tecnologia de

interface humana, material/nanotecnologia e tecnologia de luz/quantum, M2M, computação em nuvem e *big analytics*.

Os setores prioritários, de acordo com as metas estabelecidas nas iniciativas do país são: automotivo, eletrônico, serviços, agrícola, indústria da transformação, mobilidade, saúde, agricultura, turismo, educação, produção, robótica, biotecnologia, materiais, segurança, infraestruturas, sociedade inteligente, cidades inteligentes, fabril, medicina e logística.

Com base na análise documental e nos autores citados nessa seção, apresenta-se quadro de forças e fraquezas do Japão para a trajetória à manufatura avançada.

Quadro 17 - Forças e Fraquezas do Japão no Contexto da 4RI

	CATEGORIAS	JAPÃO
<b>FORÇAS</b>	<b>Tecnologias</b>	destaca-se na produção de robôs industriais, nas tecnologias de M2M e IOT e na automação das fábricas.
		compete com a Alemanha e os EUA no ambiente estabelecido para a coleta de big data e tecnologia de comunicação.
		possui estoque de dados de campo (reais).
		apresenta habilidades técnicas para o uso das tecnologias digitais.
		possui um elevado número de robôs atuantes na indústria.
	<b>Indústria</b>	possui pontos fortes para a indústria da transformação.
	<b>Inovação</b>	estimula a inovação a partir da iot e da robótica.
		possui institutos de inovação.
<b>Cooperação</b>	iniciativas contam com a cooperação internacional.	
<b>Capital Humano</b>	as iniciativas envolvem a qualificação profissional a partir da oferta de cursos de especialização, cursos profissionalizantes, certificação de qualificação na área de sistemas e o desenvolvimento de pesquisas em institutos e universidades.	
<b>FRAQUEZAS</b>	<b>Tecnologias</b>	ausência de experiência no processamento de big data.
		baixa disponibilidade de big data e limitação de Inteligência Artificial.
	<b>Indústria</b>	indústria constituída de forma vertical e integrada.
	<b>Organizacional</b>	cultura corporativa vulnerável a inovação aberta.
	<b>Governança</b>	o modelo de governança adotado no país faz com que os processos de tomada de decisão sejam lentos para grandes investimentos.
<b>Força de trabalho</b>	ausência de força de trabalho na área de desenvolvimento de <i>software</i> .	

Fonte: elaboração própria.

O Japão, estrategicamente, apresenta vantagem competitiva em relação a outros países com relação às novas tendências tecnológicas da 4RI, à indústria de transformação, aos esforços para estimular e criar institutos de inovação, à cooperação internacional e as iniciativas para o desenvolvimento do capital humano.

Contudo, a nação nipônica, apresenta fraquezas relacionadas à indisponibilidade de Big Data, além da falta de experiência para o uso da tecnologia e a Inteligência Artificial é limitada no país. Embora o país apresente forças relacionadas à indústria de transformação, para Sakong (2017), a indústria japonesa constitui-se de forma vertical e integrada. A cultura corporativa do país apresenta uma vulnerabilidade para esforços relacionados à inovação aberta. As tomadas de decisões são lentas em virtude do modelo de Governança adotado no país e ocorre a falta de força de trabalho qualificado para a área de desenvolvimento de *softwares* (SAKONG, 2017).

#### 4.5 Considerações finais do capítulo 4

A partir da análise das iniciativas dos países selecionados nesta pesquisa - Alemanha, China, EUA e Japão, observa-se que o setor industrial encontra-se posicionado de formas diferentes e as expectativas relacionadas à modernização, a partir da digitalização, são distintas.

Os objetivos estabelecidos para cada país são diferentes, sendo que, para Alemanha e Japão, os principais propósitos são para manter a liderança e a competitividade na posição mundial das empresas industriais nos setores de alta tecnologia.

Contudo, alguns objetivos são comuns nas iniciativas dos quatro países analisados: Competitividade, Pesquisa e Inovação, e Qualificação Profissional. Em todas as iniciativas a contemplação desses fatores são considerados primordiais para a trajetória rumo à 4RI.

Os EUA empenham-se para reverter o processo de desindustrialização, aumentar a produção e criar oportunidades de emprego no setor industrial, além de direcionar esforços para fortalecer as articulações estratégicas nas cadeias globais de valor. A China busca aproveitar as oportunidades oferecidas no novo contexto da 4RI para implementar alterações estruturais no setor industrial e reduzir as diferenças de competitividade frente às nações mais desenvolvidas.

Desse modo, é possível afirmar que os principais propósitos no que se refere ao setor industrial desses países para a trajetória rumo a manufatura avançada estão assim representados:

Figura 20 - Principais propósitos das iniciativas para a manufatura avançada



Fonte: elaboração própria.

Na Alemanha, as metas estabelecidas para os objetivos estão voltadas para o cumprimento de ações que visam à integração de tecnologias da manufatura avançada em máquinas industriais e nas “fábricas inteligentes”, projetando esforços para as tecnologias IoT, IoS, Simulação, M2M, sistemas integrados e sistemas ciber-físicos.

Nos EUA, as ações dão ênfase às tecnologias emergentes para a revitalização do setor industrial das quais se destacam: Manufatura Aditiva, Compósitos Avançados, Design, eletrônica híbrida flexível, Fotônica, Materiais Ultraleves, Produção Inteligente, Têxteis e Eletrônica de potência.

Na China, as ações são voltadas para modernizar o parque industrial, obter autonomia tecnológica, avançar no *reshoring* para desenvolver um setor produtor de equipamentos industriais de alto valor agregado. A ênfase é dada às tecnologias: IoT, computação em nuvem, *big data*, a Inteligência Artificial (AI) e a computação quântica.

No Japão, diante das oportunidades visualizadas pelo Governo Federal, as ações são direcionadas para as oportunidades de produção de robôs autônomos no contexto da “Internet das Coisas” e a integração de robótica avançada com a inteligência artificial.

Os dados encontrados nesta análise, serão ampliados no capítulo 7 e discutidos em conjunto com as forças e fraquezas do Brasil para a manufatura avançada, visando traçar proximidades e distanciamentos entre o que se tem nos países pesquisados e no Brasil.

## 5 AS MÚLTIPLAS INICIATIVAS PARA A MANUFATURA AVANÇADA NO BRASIL

O capítulo 5 apresenta uma breve discussão da política industrial brasileira no período que antecede os movimentos e estratégias voltadas para a manufatura avançada. Ressalta-se que essa breve apresentação não tem a intenção em descrever todas as políticas e programas, mas sim aquelas que se destacaram por suas estratégias. Após essa breve apresentação serão descritas as iniciativas que demarcam a trajetória rumo à manufatura avançada no Brasil.

### 5.1 Políticas industriais no Brasil de 2004 a 2014

Até meados dos anos 1980, a política industrial brasileira foi marcada pelas condicionantes macroeconômicas, pelo endividamento externo e pela inflação. As prioridades de determinantes macroeconômicos para a política industrial naquele período resultaram em restrições às concessões de crédito para financiamento e aos investimentos que, sobretudo, comprometeram a reestruturação da indústria brasileira e contribuíram para aumentar as lacunas de competitividade e desenvolvimento tecnológico diante dos padrões internacionais (ERBER, 1992; ERBER; CASSIOLATO 1997).

A intensificação do processo de liberalização e desregulamentação da economia brasileira que ocorreu a partir de 1990 foi o marco para a constituição de políticas que redefiniram a ação do Estado em prol da formulação e implementação de políticas de desenvolvimento (SUZIGAN; VILLELA, 1997).

Destacam-se, nesse sentido, a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) e o Plano Brasil Maior (PBM), representadas, a seguir, na linha do tempo (figura 21).

Figura 21 - Políticas industriais brasileiras no período de 2004 a 2014



Fonte: elaboração própria.

Em 2004 a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), composta de 57 medidas distribuídas em 11 programas setoriais, foi amparada pela Lei nº 10.973/04 – a Lei da Inovação Tecnológica – e pela criação de dois novos órgãos: o Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (RIOS; ARAÚJO, 2013).

A PITCE tinha como principais objetivos aumentar a eficiência da estrutura produtiva, promovendo a inovação nas empresas e as exportações. Para atingir a esses objetivos propostos, o plano priorizou a inovação empresarial com benefícios gerados pelo crédito tributário sobre investimentos em P&D, recursos não reembolsáveis para as micro, pequenas e médias empresas e políticas horizontais (SUZIGAN; FURTADO, 2010; IEL, 2017).

Em 2008, foi lançada a PDP, com o propósito de fomentar o investimento interno e promover o crescimento com foco nos setores de atividades econômica. Para tanto, era composta de quatro metas previstas para o ano de 2010: 1) elevar a taxa de investimento para 21% do PIB; 2) ampliar as exportações brasileiras para 1,25% do comércio mundial; 3) expandir os gastos privados em P&D; 4) aumentar o número de PMEs exportadoras (RIOS; ARAÚJO, 2013).

A PDP buscou alavancar o investimento e a inovação, mas foi comprometida pela crise financeira global e transformou-se em programa anticíclico, crucial nas ações do Governo Federal naquele período (KUPFER, 2014). Ademais, os mecanismos de apoio utilizados não detalharam de que forma os recursos seriam priorizados em segmentos que envolviam gastos elevados pelo setor público como Saúde e Educação. A medida de desoneração fiscal para investimentos na compra de máquinas e equipamentos só envolveu dois dentre os 25 setores priorizados na PDP: bens de capital, automóveis e autopeças (IEDI, 2008).

O Plano Brasil Maior (PBM), lançado em 2011, ratificou e ampliou os objetivos anunciados nas duas políticas anteriores – PITCE e PDP. Tinha como principais objetivos estimular a inovação para agregar valor nas cadeias produtivas, com ações que favoreciam a economia interna e a competitividade (MDIC, 2011).

Um fator que diferencia essa iniciativa das demais refere-se à integração com outras políticas de desenvolvimento com foco no espaço local e regional, infraestrutura, defesa, meio ambiente, saúde, logística, energia e C&T (CEPAL, 2018). Contudo, o direcionamento econômico voltado para o curto prazo que envolvia a balança de pagamentos, a crise internacional e o “custo Brasil” impediram a implantação efetiva de ações contínuas e sustentáveis no longo prazo (IEL, 2017).

As iniciativas adotadas pelo governo brasileiro de 2004 a 2014 não impactaram os índices de competitividade internacional da indústria, considerando-se que os indicadores que apresentavam a competitividade no período estavam mais associados às especificidades de cada setor – capacidade inovadora de firmas locais, participação no mercado de atuação, ritmo de expansão da demanda doméstica e/ou internacional e dotação de recursos naturais (RIOS; ARAÚJO, 2013).

Posto isto, a seguir são apresentados os esforços para a elaboração de planos e programas assim como estudos realizados para estimular a implementação da manufatura avançada no Brasil.

## 5.2 Múltiplas iniciativas brasileiras rumo à manufatura avançada

Tratamos aqui dos seguintes planos e programas: Plano Nacional de Internet das Coisas, Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil - ProFuturo, Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (E-Digital), Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 no Brasil, Programa Rota 2030, Projeto Indústria 2027, Mapa Estratégico da Indústria: Período de 2018 a 2022, Plataforma Câmara Brasileira da Indústria 4.0 e o Programa “Brasil Mais”, representadas abaixo na linha do tempo (figura 22), e descritas na sequência.

Figura 22 - Linha do tempo das múltiplas iniciativas para a manufatura avançada



Fonte: elaboração própria.

### 5.2.1 Plano Nacional de Internet das Coisas (*IoT*)

O Plano Nacional de Internet das Coisas reafirma a chamada para uma rede de inovação que melhor represente as atividades do setor privado (BNDES, 2017). Para tanto, detalha que o ecossistema de inovação correlato deve envolver as *startups* baseadas em tecnologia, grandes empresas dispostas a investir em inovação, assim como centros acadêmicos de pesquisa (OCDE, 2020).

O plano foi iniciado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações em cooperação com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) que, em 2018, concedeu R\$ 30 milhões para financiar quinze planos de projetos-piloto de soluções tecnológicas de *IoT* em três áreas prioritárias: Cidades inteligentes, Saúde e Agricultura, selecionados entre mais de 53 propostas recebidas (BNDES, 2019).

O ecossistema de inovação deveria focar na parceria entre os fornecedores de *IoT* e os potenciais clientes, além de oferecer um fórum para as partes interessadas discutirem problemas comuns, como falta de trabalhadores qualificados, ou falta de interoperabilidade entre os dispositivos (BNDES, 2017).

O plano está organizado para responder as seguintes questões: “O que” (objetivos estratégicos) será resolvido por *IoT* nos setores classificados como prioritários (cidades, saúde, agronegócio e manufatura), e “Como” se define a atuação dos atores nos objetivos específicos, que consideram Capital humano, segurança e privacidade, inovação e inserção internacional, infraestrutura de conectividade e interoperabilidade e regulação (BNDES, 2017).

O princípio norteador do plano de ação é a aspiração do Brasil para Internet das Coisas, que foi definida durante a primeira fase do estudo e prevê a execução das ações no período de 2018 a 2022. A partir dessa aspiração geral e de longo prazo

para o país, foram definidas as Visões particulares de cada um dos quatro ambientes priorizados (BNDES, 2017).

Essas visões desdobram-se em objetivos estratégicos e os desafios do ambiente que *IoT* deve solucionar para entregar valor para a sociedade. Cada ambiente tem os seus objetivos estratégicos, fundamentais para direcionar os esforços na direção do alcance de sua visão.

Para o setor de manufatura, o plano envolve fábricas e a indústria de base, tendo como propósito incentivar a produção de itens mais complexos, estimular a produtividade da indústria nacional e a cooperação nas cadeias produtivas (BNDES, 2017).

Para alcançar esses propósitos, foram definidos objetivos que visam à eficiência e à flexibilidade dos processos industriais; a produção de novos equipamentos; a criação de novos modelos de negócios que apresentem soluções de *IoT* no setor de BK; a participação e cooperação de fornecedores de bens, componentes, serviços e insumos e; a inserção de soluções desenvolvidas localmente para desafios do ambiente (BNDES, 2017).

O Plano Nacional de Internet das Coisas antecipa 75 iniciativas, organizadas em quatro eixos transversais: 1) inovação e integração do mercado internacional; 2) capital humano; 3) ambiente regulatório, segurança e privacidade e 4) infraestrutura para conectividade e interoperabilidade (BNDES, 2017).

Para a OCDE (2020), o plano não dispõe de mecanismos que envolve despesas de ministérios específicos e instrumentos de financiamento de instituições, a exemplo do BNDES e FINEP, dependendo dessa forma de recursos emergenciais ofertados por atores para o desenvolvimento de novas áreas.

O sucesso do Plano *IoT* requer estratégias bem alinhadas e coordenadas que envolvam tecnologias digitais, nos âmbitos nacional, setorial e regional (OCDE, 2020). Isso inclui uma estrutura de governança global, um planejamento orçamentário e uma atribuição correta de fundos e responsabilidades dos diferentes atores envolvidos. É importante que se implemente a monitoração do Plano periodicamente, haja vista que foi prevista na elaboração, mas até o presente momento não foi concretizada (OCDE, 2020).

### 5.2.2 Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil - ProFuturo

O Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) para Manufatura Avançada no Brasil - ProFuturo foi lançado em 2017, e está alicerçado na Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação - ENCTI 2016-2022, com a parceria dos seguintes atores: Governo, representado pelas instituições - MCTI, MEC, Ministério do Trabalho, MRE, CAPES, CNPq, FINEP, BNDES, EMBRAPA, FAP, INPI, CGEE, Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI); Acadêmico, representado pelas Universidades, Institutos de Ciência e Tecnologia, Parques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas; Empresarial representado pelo Sistema CNI, SEBRAE, Centrais Sindicais, ABNT, Agências, Entidades Empresariais, Aceleradoras; atores para a cooperação internacional - BID, UNESCO, UE, além de países referência em manufatura avançada (MCTI, 2017).

Na elaboração do plano, as seguintes tecnologias foram relacionadas para atender às necessidades tecnológicas da cadeia produtiva: sistemas ciber-físicos, IoT, robótica, inteligência artificial (IA), manufatura aditiva, realidade aumentada, sensoriamento, plataforma de comunicação, interoperabilidade, digitalização, Big data, computação em nuvem, integração de sistemas, plataformas tecnológicas, simulação e modelagem, serviços inteligentes de internet e segurança cibernética (MCTI, 2017).

O plano contempla desafios que deverão ser enfrentados para eleger áreas tecnológicas estratégicas e prioritárias; estimular os centros e instituições de CT&I brasileiras; construir *roadmaps* tecnológico para manufatura avançada; apoiar as iniciativas que incluam a *IoT*; elaborar normas técnicas de interoperabilidade, integração e arquitetura para aplicações; estabelecer padrões para aplicação de protocolos (*profibus* e *fieldbus*, entre outros) e meios (*bluetooth* e *RFID*, entre outros) de comunicação adequados à manufatura avançada (MCTI, 2017).

No que tange o capital humano, o plano visa criar iniciativas para capacitação e requalificação de profissionais e empresários a partir de adequações em cursos de nível fundamental, médio, superior e de pós-graduação; promover iniciativas de valorização dos profissionais; estimular o intercâmbio de conhecimentos e habilidades profissionais; fomentar a inclusão de linhas de apoio à integração de professores e alunos em atividades empresariais; apoiar iniciativas que pretendem desenvolver fornecedores de serviços e produtos inteligentes; fomentar a inclusão de *startups* e

empresas de setores econômicos para o desenvolvimento de produtos e processos compartilhados (MCTI, 2017). Em virtude de não haver informações disponíveis no sítio do MCTI, não foi possível avaliar os avanços propostos nessa iniciativa.

### 5.2.3 Estratégia brasileira para a transformação digital – E-Digital

Em 2018, foi publicado pelo Governo Federal documento intitulado “Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (E-Digital)”, abrangendo o período de 4 anos (2018-2021). O documento coordena diferentes iniciativas governamentais sobre questões digitais, para fomentar o processo de digitalização da produção, promover o ensino e o treinamento para o ambiente digital, além de possibilitar o crescimento econômico (MCTI, 2018).

A iniciativa é coordenada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações com a participação de entidades do Governo Federal, do setor privado, das comunidades científica e acadêmica, da sociedade civil, nas várias etapas do processo de elaboração (MCTI, 2018).

A iniciativa é composta de dois eixos temáticos: o dos habilitadores da transformação digital e o da transformação digital em si. Os habilitadores incluem iniciativas para a construção de ambiente propício à transformação digital da economia brasileira: a) infraestrutura e acesso a tecnologias da informação e comunicação (TIC); b) atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação; c) criação de ambiente regulatório apropriado; d) regras e normas que promovam a confiança no ambiente digital; e) competências educacionais e profissionais para a economia digital; e, f) presença internacional do Brasil (MCTI, 2018).

As ações que se relacionam diretamente com o processo de transformação digital incluem (MCTI, 2018): a) economia baseada em dados, dispositivos conectados e novos modelos de negócio; b) digitalização dos serviços prestados pelo governo - cidadania no mundo digital e eficiência na prestação de serviços governamentais (MCTI, 2018).

Para a OCDE (2020), as ações previstas na iniciativa são específicas e são oportunas na criação de um ambiente digital envolvendo os setores público e privado, favorece uma economia baseada em dados e para o surgimento de novos modelos de negócios.

As verbas disponíveis para essa iniciativa não são previstas na lei orçamentária. As ações estratégicas estão disseminadas pelos diversos ministérios e agências do governo que possuem dotações orçamentárias específicas. Como a maioria das iniciativas é transversal, é possível que os fundos necessários para implantar uma ação, corresponda ao orçamento atribuído a mais de um projeto. Deste modo, a estratégia não dispõe de mecanismos claros quanto aos financiamentos (OCDE, 2020).

#### 5.2.4 Programa rota 2030

O Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística, lançado em 2018 no Brasil, surge no lugar do extinto Inovar-Auto. No lançamento, a iniciativa foi comandada pelo MDIC, incorporado em 2019 pelo Ministério da Economia (ME, 2018).

O Programa foi iniciado pelo recebimento de propostas de programas prioritários apresentadas por instituições engajadas para fomentar P&DI e apoiar os avanços tecnológicos na indústria automobilística (ME, 2018).

As propostas avaliadas na primeira fase do programa foram: 1) incremento da produtividade da cadeia de fornecedores do setor automotivo, incluindo máquinas agrícolas e rodoviárias autopropulsadas; 2) automatização de processos, conectividade industrial e manufatura avançada na cadeia de fornecedores do setor automotivo, incluindo máquinas agrícolas e rodoviárias autopropulsadas; 3) aumento dos investimentos em P&DI na cadeia de fornecedores do setor automotivo, incluindo máquinas agrícolas e rodoviárias autopropulsadas; 4) fortalecimento da cadeia de ferramental e moldes destinados a produtos automotivos; e 5) estímulo à produção de novas tecnologias relacionadas a biocombustíveis, segurança veicular e propulsão alternativa à combustão (ME, 2018).

#### 5.2.5 Agenda brasileira para a indústria 4.0 no Brasil

A Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 no Brasil foi lançada em 2018, pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) (atualmente incorporado pelo Ministério da Economia) e pela ABDI. A Agenda contém 10 medidas, estabelecidas para serem cumpridas no período de 2018 a 2020, e visam auxiliar o

setor industrial brasileiro quanto aos desdobramentos para o novo cenário industrial pautado pela 4RI (ABDI, 2018).

Grande parte das medidas da agenda deveriam ser implementadas nos anos de 2018 e 2019 e sua estrutura previa: a) estratégias e ações para estabelecer planos que ofertem condições para empresários alcançarem a transformação digital; b) preparar o Brasil para avançar no cenário marcado por essa transformação na produção manufatureira; c) facilitar a difusão dos conceitos referentes à indústria 4.0 intencionando a disponibilização de crédito para que indústrias possam estabelecer planejamentos que objetivem a implementação de tecnologias digitais; d) superar os desafios impostos por esse novo contexto produtivo e, e) aumentar a competitividade da indústria nacional (ABDI, 2018). O quadro 18 apresenta as medidas, objetivos e ações que foram estabelecidas na agenda.

Quadro 18 - Agenda brasileira para indústria 4.0

MEDIDAS	OBJETIVOS/AÇÕES
<b>1) Disseminação dos conceitos de Indústria 4.0</b>	Executar campanhas permanentes de comunicação, com ações em mídia espontânea, redes sociais e internet, além de realização de seminários e <i>workshops</i> para divulgar os conceitos e aplicações-piloto com instituições parceiras e conforme demanda do público-alvo. Meta: R\$ 25 milhões.
<b>2) Plataforma de avaliação para oportunidades de negócios 4.0</b>	Disponibilizar uma plataforma de autoavaliação para as dimensões tecnológicas, operacionais, organizacionais e estratégicas que possibilitem a aferição do grau de maturidade da indústria em relação à jornada para a Indústria 4.0. Meta: 3 mil empresas atendidas no período 2018-2019.
<b>3) “Hub” 4.0</b>	Permitir a empresa se conectar aos provedores de tecnologia como uma das etapas fundamentais para a digitalização e modernização do parque industrial. Metas: 3 mil empresas industriais atendidas no período 2018-2019; volume de investimento (público e privado) de R\$ 35 milhões.
<b>4) Brasil mais produtivo 4.0</b>	Ampliar o número de empresas com aplicação da manufatura enxuta e suporte para que as interessadas no B+P migrem para o primeiro passo da digitalização industrial. Meta: 1,5 mil empresas apoiadas no período 2018-2019.
<b>5) Fábricas do futuro ou <i>testbeds</i></b>	Financiar projetos de <i>testbeds</i> e a formatação de “fábricas do futuro” por meio do MDIC e da ABDI em parceria com agências federais e estaduais de fomento, para a realização de testes de soluções inovadoras. Metas: 20 <i>testbeds</i> ou fábricas do futuro apoiados; volume de investimento (público e privado): R\$ 30 milhões em 2018-2019.

MEDIDAS	OBJETIVOS/AÇÕES
<b>6) Conexão entre Startups<sup>14</sup> e indústrias</b>	<p>Criar e fomentar um ambiente de conexão entre <i>startups</i> e indústrias no intuito de promover o desenvolvimento tecnológico de soluções a partir de demandas industriais, fomentar novas formas de gestão de desenvolvimento tecnológico baseadas em métodos e ferramentas ágeis, foco no cliente e na criação de processos que promovam a mudança cultural necessária para a inserção dos conceitos de Indústria 4.0 no Brasil.</p> <p>Metas: 50 indústrias e 100 <i>startups</i> apoiadas; volume de investimento (público e privado): R\$ 30 milhões em 2018-2019.</p>
<b>7) Mercado de trabalho e educação 4.0</b>	<p>Mapear competências, compreender as demandas de mercado e requalificar trabalhadores.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. formatar modelo nacional de competências para a Indústria 4.0 para ajudar as empresas e profissionais, permitindo a oferta e a demanda de cursos, por meio de uma base nacional proposta;</li> <li>2. atrelar o modelo nacional de competências para a Indústria 4.0 em diferentes itinerários formativos, nas estruturas de oferta educacional pública e privada;</li> <li>3. Modelar “Fundo” para robotização e treinamento de trabalhadores, como forma de mitigar os impactos no emprego, aplicado a pelo menos 5 mil trabalhadores, de forma experimental;</li> <li>4. Formar 1,5 mil professores de Educação Profissional e Tecnológica (EPT) em Indústria 4.0, assim como capacitar 10 mil alunos da rede federal de EPT;</li> <li>5. implantar até 100 laboratórios voltados às tecnologias da 4RI na rede de EPT.</li> </ol>
<b>8) Regras do Jogo 4.0</b>	<p>Propor uma agenda de reformas legais e infra legais que promovam a aceleração da jornada da indústria brasileira em direção ao 4.0.</p> <p>Ações:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Robôs colaborativos (COBOT) – Adequação regulatória de diversos normativos (NR-12, ISO 10218:1, 13849 etc.) para acelerar a robotização da indústria brasileira;</li> <li>2. Polo Industrial de Manaus (PIM) 4.0 – Ajustes de instrumentos (PPBs, P&amp;D, PPIs etc.) para permitir que as empresas do PIM possam realizar investimentos na modernização e digitalização do seu parque industrial;</li> <li>3. Privacidade e proteção de dados – Em consonância com outros planos e programas de governos passados e atuais, é de substancial importância a aprovação de um marco legal que garanta enquadramento do tema de forma a sustentar juridicamente o caminho para a Indústria 4.0.</li> </ol>
<b>9) Financiamentos para a Indústria 4.0</b>	<p>Descrever as linhas de crédito especiais que contribuam para a modernização das plantas produtivas, produção de máquinas ou sistemas. Garantir, por meio de parcerias com bancos públicos e privados e agências de fomento, um leque de opções de financiamentos acessíveis a diferentes empresas e necessidades.</p>

<sup>14</sup> A Lei Complementar nº 182, de junho de 2021, prevê condições mais favoráveis para a abertura de startups no Brasil, considerando as particularidades desse nicho de mercado, no que se refere à tributação, oferta para fomentar investimentos, questões regulatórias de cunho trabalhista e o envolvimento do setor público no que diz respeito à contratação dos serviços e produtos criados em startups.

MEDIDAS	OBJETIVOS/AÇÕES
<b>10) Comércio Internacional na Indústria 4.0</b>	<p>Inclusão do tema indústria 4.0 em todos os acordos comerciais, tendo como ações:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <i>Zeroing</i> (zeragem) das alíquotas do imposto de importação de diversos tipos de bens e insumos para a indústria do futuro;</li> <li>2) Redução da alíquota do imposto de importação de robôs industriais e robôs colaborativos, classificados na NCM 8479.50.00, dos atuais 14% para 0%, objetivando reduzir os seus custos de aquisição e agilizar todo o procedimento de importação. Metas: volume de investimento estimado no valor de R\$ 1,04 bilhão no período 2018-2020, e com validade em 31/12/2020.</li> <li>3) Redução da alíquota do Imposto de Importação para impressoras 3D e equipamentos da manufatura aditiva, classificados nas NCMs 8477.80.90 e 8477.90.XX, dos atuais 14% para 0%. Metas: volume de investimento estimado no valor de R\$ 200 milhões no período 2018-2020, e com validade em 31/12/2020.</li> <li>4) inserir o tema da Indústria 4.0 em todos os acordos bilaterais de comércio entre o Mercosul e outros países ou blocos, com destaque para as negociações com a União Europeia, o México e o Canadá;</li> <li>5) incentivar cooperações e projetos bilaterais em Indústria 4.0 com diferentes países (<i>Plattform industrie 4.0, Industrie du Futur etc.</i>).</li> </ol>

Fonte: adaptado de Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 (ABDI, 2018).

O MDIC e a ABDI também propuseram uma estrutura de governança para a Agenda Brasileira Indústria 4.0, composta por um Conselho Governamental formado por oito ministérios e comandada pelo MDIC que atuem na definição de orientações de políticas públicas e decisões de natureza estratégica. A ABDI atuaria como Entidade Gestora da Agenda e o monitoramento da agenda é realizado por um Comitê constituído por entidades convidadas. Finalmente, é sugerida a formação de Grupos de Trabalho e Comunidades de Especialistas para prestar assessoria técnica (ABDI, 2018).

Amorim *et al.* (2020) avaliaram o estágio de cumprimento das ações estabelecidas na Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 e afirmaram que as medidas 2 (Plataforma de avaliação para oportunidades de negócios 4.0), 8 (Regras do Jogo 4.0), 9 (Financiamentos para a Indústria 4.0) e 10 (Comércio Internacional na Indústria 4.0), estão em andamento, devido ao atraso das ações estabelecidas e prazos não cumpridos. As medidas 4 (Brasil mais produtivo 4.0) e 7 (Mercado de trabalho e educação 4.0), estão na fase de elaboração e a medida 3 (“Hub” 4.0), em fase de reestruturação.

Concluem os autores que as evidências sobre as fases a serem cumpridas no período de 2018 a 2019 encontram-se incipientes e contribuem para incertezas do desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil (AMORIM *et al.*, 2020). Ainda que as

medidas 1 (Disseminação dos conceitos de Indústria 4.0) e 5 (Fábricas do futuro ou *testbeds*), estejam em andamento e a medida 6 (Conexão entre *Startups* e indústrias), tenha alcançado os objetivos determinados (AMORIM *et al.*, 2020).

#### 5.2.6 Plataforma Câmara Brasileira da Indústria 4.0

A Câmara Brasileira da Indústria 4.0, foi criada em 2019 pelo Ministério da Economia e pelo MCTI a Câmara Brasileira da Indústria 4.0, pretendendo a coordenação entre as partes interessadas da indústria e agências governamentais. É formada por quatro grupos de trabalhos: Desenvolvimento Tecnológico e Inovação; Capital Humano; Cadeias Produtivas e Desenvolvimento de Fornecedores; e Regulação, Normalização Técnica e Infraestrutura (ME, 2019).

A organização insere as micro, pequenas e médias empresas nos planos que preveem a implementação das tecnologias digitais, estimula a criação de plataformas de teste e prevê mudanças no regulamento da legislação trabalhista, tributação de dispositivos de *IoT* e para a proteção de dados (ME, 2019).

O Conselho Superior da Câmara Brasileira da Indústria 4.0 é composto pelo MCTI, Ministério da Economia, CNI, Agência Nacional de Inovação e Pesquisa, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, BNDES, ABDI, SEBRAE e EMBRAPA (ME, 2019).

Além desse Conselho, a Câmara conta com o apoio da Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ), Associação de Empresas de Desenvolvimento Tecnológico Nacional e Inovação (P&D BRASIL), Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM), Associação Brasileira da Indústria Têxtil (ABIT), Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras (ANPEI), Associação Nacional de Entidades Promotoras de Empreendimentos Inovadores (ANPROTEC), Associação Brasileira das Empresas de Tecnologia da Informação e Comunicação (BRASSCOM), Sindicato Nacional das Empresas de Telefonia e de Serviços Móvel Celular e Pessoal (SINDITELEBRASIL), e Associação Brasileira de Internet Industrial (ABII) (ME, 2019).

### 5.2.7 Programa “Brasil Mais”

O programa “Brasil Mais” – iniciativa do Governo Federal, foi lançado em 2020 e dá continuidade ao programa anterior “Brasil Mais Produtivo” que tem como propósito contribuir para que micro, pequenas e médias empresas do setor de manufatura, serviços e varejo desenvolvam capacidades para gerenciar negócios sobretudo no contexto da indústria 4.0 (ME, 2020).

O programa oferece consultoria que objetiva a transformação digital, disponibilizada em uma plataforma com os módulos de Gestão de Desempenho, Gestão do Capital Humano, Gestão Financeira, Gestão da Produção, Gestão de Produtos e Transferência Digital e Gestão de Operações e Vendas (ABDI, 2020).

A sua coordenação é realizada pelo Ministério da Economia, a gestão é de competência da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e a execução do plano fica a cargo do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) juntamente com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) (ABDI, 2020).

### 5.2.8 Projeto Indústria 2027

O projeto “Indústria 2027, estudo realizado em 2017, visou apontar riscos e oportunidades para o Brasil avançar no contexto da QRI. O estudo foi coordenado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) e elaborado pelo Instituto Euvaldo Lodi (IEL) com o apoio da Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), Instituto de Economia da UFRJ e Instituto de Economia da Unicamp (IEL, 2017).

O estudo I2027 identificou as tendências e impactos das tecnologias digitais nos sistemas produtivos no horizonte de cinco a dez anos; avaliou a capacidade da indústria brasileira para superar riscos e aproveitar as oportunidades e recomendou um planejamento estratégico por parte das empresas para esse novo cenário, além de propor subsídios para a formulação de políticas (IEL, 2017).

Para avaliar as tendências e impactos das tecnologias digitais, o estudo foi organizado em oito *clusters* por proximidade de bases técnicas: Inteligência Artificial (IA), *Big data*, Nuvem (IA), Redes de Comunicação (Redes), Internet das Coisas (IoT), Produção Inteligente e Conectada (PIC), Materiais Avançados (MA), Nanotecnologia

(NANO), Biotecnologia (BIO), Armazenamento de Energia (AE) e oito sistemas produtivos e focos setoriais<sup>15</sup>.

Conforme estudo, o setor de Bens de Capital (BK) terá impacto potencialmente disruptivo nas seguintes tecnologias: Materiais avançados, nanotecnologia e armazenamento de energia, além de Inteligência Artificial, Redes de Comunicação, Internet das Coisas, e Produção Inteligente e Conectada (IEL, 2017).

Deste modo, a trajetória para a manufatura avançada é desafiadora e apresenta implicações relevantes para as empresas como: elaboração de planos de ações devidamente formulados para o acompanhamento das ações; quadro de profissionais capacitados; serem de grande porte e já estarem situadas em setores de intensidade tecnológica (IEL, 2017).

Para avaliar as implicações objetivando a elaboração de políticas públicas e estratégias empresariais o estudo tomou como base as iniciativas para a manufatura avançada dos Estados Unidos, Alemanha, China, Japão, Reino Unido, Coreia do Sul e França. A partir da análise das iniciativas dos sete países selecionados, foi elaborado modelo com estratégias para o Brasil avançar na trajetória da manufatura avançada, conforme apresenta-se na figura 23:

---

<sup>15</sup> É oportuno esclarecer que o I2027 foi elaborado levando em consideração setores da atividade econômica no Brasil e sistemas produtivos que foram agrupados da seguinte forma: a) difusores de inovações; b) produtores de insumos intermediários e c) provedores de bens de consumo. Contudo, para atender ao escopo deste trabalho de tese, nessa seção serão descritas somente as análises do sistema de Bens de Capital (BK) que é difusor de inovação e engloba o setor de máquinas e equipamentos - objeto de estudo neste trabalho de tese. As informações referentes aos demais setores produtivos analisados pelos especialistas do I2027 podem ser encontrados no documento: Indústria 2027 - Síntese dos Resultados.

Figura 23 - Modelo de estratégias nacionais para inovações disruptivas



Fonte: IEL (2017, p. 271).

O modelo proposto considerou o posicionamento geopolítico do país, a visão de longo prazo, iniciativas e programas para clusters tecnológicos, sistemas produtivos, a inserção de PMEs e startups, capital humano, infraestrutura, regulação, normas e desenvolvimento regional. Para o cumprimento dos programas e iniciativas, o modelo prevê recursos financeiros e não financeiros além da demanda e oferta das tecnologias digitais (IEL, 2017).

A dimensão da Governança tem como propósito estabelecer as prioridades, o direcionamento estratégico a estruturação de instituições públicas privadas; envolver as agências executoras, os atores da esfera privada como empresas, associações de classe e outras instituições privadas e atores da esfera pública como universidades, empresas estatais e laboratórios de pesquisa (IEL, 2017).

A análise dos clusters tecnológicos *versus* sistemas produtivos, evidenciou vários estágios de desenvolvimento das tecnologias além daquelas que já estão em ritmo acelerado de mudanças. Diversas soluções tecnológicas ainda não estão padronizadas em virtude do leque de alternativas que ainda não foram selecionadas e das mutações que estão ocorrendo nos clusters tecnológicos (IEL, 2017).

O tempo para a seleção e as mutações que ocorrem nos clusters tecnológicos, aumentam a imprevisibilidade do progresso técnico e, conseqüentemente, influenciam nas tomadas de decisões empresariais (IEL, 2017).

Assim, é importante ressaltar que as transformações em curso deixam claro que, para as organizações aproveitarem as oportunidades e reduzirem ao máximo os seus riscos, a inovação deve estar no centro das estratégias empresariais e ser o alvo para a competitividade no curto, médio e longo prazo (IEL, 2017).

A 4RI deverá ocorrer no longo prazo, mas o horizonte de 10 anos estabelecido no I2027 é curto diante da difusão de novas tecnologias que se estabelecem a taxas crescentes em virtude da queda dos custos de tecnologias-chave. Assim, diante das facilidades para a implementação de novas tecnologias, as janelas de oportunidades emergem e são amplas para empresas e toda a cadeia produtiva (IEL, 2017).

Contudo, o relatório I2027 adverte que, embora o novo cenário seja oportuno para as janelas de oportunidades que possibilitam a geração, a absorção e a difusão das novas tecnologias, as decisões estratégicas não estão isentas de desafios e riscos que envolvem:

- a) Fatores relacionados a políticas públicas que sejam direcionadas às necessidades e oportunidades para a produção, implementação e aplicação das novas tecnologias;
- b) As medidas regulatórias e normativas, padrões relacionados à interoperabilidade;
- c) A aplicação das novas tecnologias, aspectos que estão associados a ativos intangíveis – capital humano, capacitações tecnológicas, organizacionais, infraestrutura atual ou complementar e;
- d) As implicações do trabalho e da qualificação profissional necessárias para a transição a esse novo contexto tecnológico (IEL, 2017).

Para Vermulm (2018), as iniciativas nacionais para a manufatura avançada inclusive no âmbito do Governo Federal, ainda não contemplam um Plano Nacional para a Indústria 4.0 que envolva a coordenação entre as instituições públicas entre si e entre elas e o setor privado. Vermulm (2018) chama a atenção para a fragilidade institucional encontrada no Brasil em que as decisões não são efetivamente implementadas, as políticas não definem prioridades, existe a ausência de instrumentos de ação, além da frágil articulação entre governo, instituições, empresariado etc.

A seguir são apresentadas as iniciativas de organizações públicas, privadas e Universidades para uma trajetória rumo à manufatura avançada no país.

### 5.3 Organizações em ação para a trajetória rumo à manufatura avançada

Com base na análise documental realizada anteriormente referente aos esforços do Brasil para a manufatura avançada, foram selecionadas as organizações que colaboram para que o país avance em estratégias e ações necessárias à trajetória rumo à manufatura avançada. Trataremos, nesta seção, das ações referentes às seguintes instituições: Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia, Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPPII), Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras (ANPEI), Confederação Nacional da Indústria (CNI), Instituto Euvaldo Lodi, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDES) e a Financiadora de Inovação à Pesquisa (FINEP).

#### 5.3.1 Iniciativas dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia

O Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs) é uma iniciativa do Governo Federal, junto ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, do CNPq, CAPES e das Fundações de Amparo à Pesquisa estaduais, além de cooperações internacionais. Esse programa tem como objetivo o desenvolvimento de pesquisas em temas como saúde, ecologia e meio ambiente, engenharia, tecnologia da informação, energia, nanotecnologia, políticas públicas, entre outros (INCT, 2020).

Além de atender às políticas públicas do Governo Federal no âmbito da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, o programa também atende políticas públicas voltadas ao Plano Brasil Maior, ao Plano Nacional de Educação, ao Plano Nacional de Saúde, a Agenda Nacional de Prioridades de Pesquisa em Saúde e a Política Nacional de Agronegócio (INCT, 2020).

Dentre os Institutos, destacam-se o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia de Software e o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Internet do Futuro. O Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia de Software é parte fundamental do Instituto SENAI de Inovação para Tecnologias da Informação e Comunicação que, em suas 26 unidades, apoiam e estimulam a competitividade das empresas nacionais em todos os setores da cadeia produtiva e dentro das diretrizes do "Plano Brasil Maior" (INCT, 2020).

### 5.3.2 Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII)

A Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial-EMBRAPII é uma agência governamental criada em 2014, que surgiu em virtude da demanda do setor produtivo por mecanismos menos burocráticos e mais ágeis para inovar. A criação da instituição foi inspirada na Embrapa e no Instituto *Fraunhofer*, instituição que cumpre o papel de ajudar a indústria alemã e, principalmente, as médias e pequenas empresas (GORDON, 2020).

Os recursos da organização são ofertados pelo Ministério de Ciências, Tecnologia e Inovação e do Ministério da Educação. A partir da entrada dos recursos na Embrapii, esses não são mais caracterizados como recursos públicos e a alocação é realizada de acordo com a necessidade e evolução do projeto, o que dá flexibilidade para apoiar a inovação (GORDON, 2020).

Até agosto de 2020, 42 centros de pesquisa foram credenciados em cinco áreas tecnológicas: Biotecnologia, Materiais e Química, Mecânica e Manufatura, Tecnologia da Informação e Comunicação e Tecnologias Aplicadas (EMBRAPII, 2020).

A rede EMBRAPII de IOT e Manufatura 4.0 tem 19 unidades credenciadas no Comitê da Área de Tecnologia da Informação (CATI) para desenvolver projetos com os recursos desse programa. São centros de pesquisas de excelência que atuam em todo o Brasil e reconhecidos por seus profissionais altamente qualificados para atender a demanda da indústria por inovação. Cada centro tem um foco tecnológico, com cerca de 40% dos projetos na região Nordeste (EMBRAPII, 2020).

A EMBRAPII mantém parcerias internacionais com algumas empresas estrangeiras para o desenvolvimento de PD&I na indústria brasileira. Até dezembro de 2020, a Instituição havia firmado acordos com a União Europeia, Israel, República Tcheca, Alemanha, Suíça, Suécia, EUA e Reino Unido, além de negociações com Irlanda, Índia e Países Baixos (EMBRAPII, 2020).

Com relação às PMEs, a parceria entre EMBRAPII e SEBRAE contribui para apoiar projetos focados em Internet das Coisas, saúde e agricultura. O SEBRAE, pode financiar até 70% da contribuição de uma empresa para o projeto. Especificamente no âmbito deste contrato, o limite de faturamento da empresa beneficiária está sujeito ao valor de R\$ 4,8 milhões. Nesta modalidade foram elaborados 139 projetos, com

135 empresas beneficiadas e valores investidos até 2020 de aproximadamente R\$ 85 milhões (EMBRAPII, 2020).

No caso de projetos realizados em parceria com outra empresa, a exemplo de startups ou grandes empresas, os recursos disponíveis são de até 80% (EMBRAPII, 2020). Para essa modalidade são ofertadas três formas de financiamento: Desenvolvimento tecnológico, encadeamento tecnológico e aglomeração tecnológica.

A EMBRAPII é uma experiência que busca apoiar iniciativas de instituições, contudo ainda não se dispõe de instrumentos avaliativos e dos impactos dos fomentos realizados em seus projetos (VERMULM, 2018).

### 5.3.3 Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras (ANPEI)

A ANPEI, foi criada em 1983 no âmbito do Programa de Administração em Ciência e Tecnologia, no âmbito da Fundação Instituto de Administração da Universidade de São Paulo (ANPEI, 2020).

Atua como instituição de apoio às empresas para o desenvolvimento de atividades voltadas para a inovação além de proporcionar atualizações de temas e de articulação de políticas de inovação (ANPEI, 2020). O apoio ofertado pela instituição relaciona temas como Gestão da Inovação, Fomento para a Inovação, Indústria-Startup, Propriedade Intelectual e ICT-Empresas (ANPEI, 2020). Em sua estrutura organizacional estão presentes as seguintes instituições: Agência USP de Inovação – AUSPIN, Parque Tecnológico de São José dos Campos, Finep, Sebrae, IEL, CNI, EMBRAPII, Ministério da Ciência Tecnologia, Inovações e Comunicações e FIEMG (ANPEI, 2020).

A instituição oferta cursos em sua plataforma Educanpei para capacitação na área de Inovação no formato de trilhas com cursos de Gestão da Inovação, Gestão da Propriedade Intelectual, Gestão de Projetos de Inovação, Inovação Aberta, Inovação Baseada em Tecnologia, Inovação na PME, Negócios Inovadores e Recursos para Inovação (ANPEI, 2020).

#### 5.3.4 Confederação Nacional da Indústria (CNI)

A CNI é a principal representante da indústria no Brasil e contribui para a promoção de políticas públicas voltadas para o empreendedorismo e a produção industrial (CNI, 2020). A sua atuação está presente em assuntos como Competitividade, Diálogo e Articulação, Inovação, Agendas das Indústrias para o Brasil, Diagnósticos e Cenários da Indústria, Internacionalização e Comércio Interior e Relações do Trabalho (CNI, 2020).

No que concerne à sua atuação no Desenvolvimento e Competitividade, a instituição elaborou, em 2018, o Mapa Estratégico da Indústria para o período de 2018-2022 (CNI, 2020). O documento apresenta os principais desafios que o país precisa enfrentar para crescer de forma competitiva e sustentável sob a ótica de 11 fatores-chave: produtividade e Inovação; Política Industrial, Política de Inovação e de Comércio Exterior; Infraestrutura; Tributação; Relações do Trabalho; Educação; Financiamento; Recursos Naturais e Meio Ambiente; Segurança Jurídica; Ambiente Macroeconômico; Eficiência do Estado, Governança e Desburocratização (CNI, 2020). A CNI criou o movimento “Mobilização Empresarial pela Inovação” (MEI), formado por mais de 200 lideranças empresariais, autoridades do governo e outras instituições.

#### 5.3.5 Instituto Euvaldo Lodi (IEL)

O Instituto Euvaldo Lodi foi criado em 1969 com o objetivo de promover cursos para estagiários das linhas de montagem. Com o tempo, as necessidades do meio empresarial ficaram mais intensas e o IEL começou a atuar na área de consultoria para empresários que buscam se aperfeiçoar na gestão dos seus negócios, em assuntos relacionados à inovação e atualizações das práticas empresariais além de contribuir com o conhecimento para a difusão do empreendedorismo (IEL, 2020).

Dentre as ações do IEL, destaca-se o curso voltado para a qualificação de fornecedores, cujo objetivo é aumentar a competitividade industrial a partir da interação entre empresas de médio e grande porte e seus fornecedores. Para tanto, a instituição oferece cursos nas seguintes áreas: estratégica, comercial, finanças, controle da qualidade, saúde e segurança do trabalho, desenvolvimento da produção, estímulo à inovação e responsabilidade social e ambiental (IEL, 2020).

Além de contribuir para a capacitação, o IEL participa como articulador no desenvolvimento de trabalhos que visam compreender melhor a estrutura industrial e sugerir avanços que contribuam para o crescimento da indústria brasileira, como o estudo Indústria 2027, descrito neste capítulo (IEL, 2020).

### 5.3.6 Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI)

A Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) contribui para o desenvolvimento econômico com foco no setor produtivo brasileiro a partir da execução de programas e iniciativas que envolvem o setor público e privado nas estratégias relacionadas à transformação digital, novos modelos de negócios e cidades inteligentes (ABDI, 2020). Participa como parceira no GTI 4.0, atuando com um modelo de maturidade e no desenvolvimento de Fábricas do Futuro - *testbeds*. O modelo de maturidade, consiste em uma plataforma que a própria indústria se cadastra e verifica qual é o grau de maturidade em que se encontra com relação à indústria 4.0 (ABDI, 2020).

Os *testbeds*, estão inseridos nas seguintes áreas: desenvolvimento e conhecimento tecnológico; mecanismos de inserção e adoção de tecnologias; habilidades sistêmicas e formação educacional 4.0; teste e validação de modelos de fomento e financiamento para a adoção e geração de tecnologias para a indústria 4.0 (ME, 2018). O investimento da ABDI para a compra dos *testbeds* foi de R\$ 5 milhões (AUTOMOTIVE BUSINESS, 2017).

No que se refere à transformação digital, a ABDI subsidia políticas públicas e desenvolve projetos, produtos e serviços para auxiliar o setor produtivo brasileiro nos seus processos de jornada de transformação digital (ABDI, 2020). No sítio eletrônico da ABDI, dois projetos estão disponíveis: O “Digital BR”, iniciativa que tem como objetivo estimular políticas, projetos e programas propostos por redes e ecossistemas de inovação que estejam voltados à transformação digital do setor produtivo, com foco em micro, pequenas e médias empresas e o projeto “Brasil Mais”, já descrito neste capítulo (ABDI, 2020).

A ABDI também está à frente do projeto “O Futuro do Trabalho” em parceria com o Governo Federal e o setor produtivo. O projeto tem como objetivo contribuir com políticas públicas voltadas à capacitação de profissionais de acordo com as novas necessidades do mercado de trabalho diante das mudanças preconizadas pela

4RI. A Agência participou em parceria com o Ministério da Educação (MEC) da consulta pública para o processo de atualização do Catálogo Nacional de Cursos Técnicos (CNCT) (ABDI, 2020).

### 5.3.7 Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)

O BNDES é uma instituição pública que tem como objetivo disponibilizar financiamentos de longo prazo a instituições que contribuam para o desenvolvimento do país (BNDES, 2019). Em sua carteira de produtos disponíveis, encontram-se oportunidades financeiras para projetos de investimento, aquisição de novas máquinas e equipamentos, exportações de maquinário, serviços e equipamentos brasileiros e aquisição de bens e insumos de produção (BNDES, 2019).

No setor de TIC, o BNDES oferece suporte direto por meio da disponibilização de crédito sob condições preferenciais para atividades de inovação relacionadas a software, *data centers* e serviços de TI, além de suporte ao desenvolvimento de banda larga (BNDES, 2019). Nos últimos cinco anos, o volume de crédito concedido ao setor de TIC correspondeu a 13 bilhões de reais e contribuiu para:

- Atender aos financiamentos gerados a partir do cartão BNDES;
- Aportes para financiamento do capital de giro (FINEM);
- Incentivos à inovação (MPME Inovadora e FINEM Inovação);
- Instalação de banda larga (FINEM Telecom);
- Digitalização da gestão pública (FINEM PMAT e PMAT Automático);
- Apoio a grandes empresas que receberam a maior parcela de crédito.

O Cartão BNDES foi criado em 2003 para o aprimoramento da produção, especialmente nas PMEs (NOGUEIRA, 2016), e se constitui em uma linha de crédito pré-aprovada no valor de até R\$ 2 milhões (US\$ 510.000), destinada a financiar a aquisição de bens de capital. Pode ser usado na compra de maquinário, equipamentos, *softwares* ou serviços de desenvolvimento de *software* (PIRES; RUSSELL, 2017).

As taxas de juros do cartão são bonificadas em 1,3% e estão sujeitas a um processo de solicitação mais simples do que o de outros programas de crédito. No entanto, a exigência local de conteúdo relacionada a bens de TIC, permite o acesso somente a tecnologias e insumos estrangeiros na fronteira tecnológica, podendo

dessa forma limitar os ganhos de produtividade e a inovação (PIRES; RUSSELL, 2017).

O BNDES vem atuando de forma efetiva em linhas de crédito que beneficiem também as PMEs. No primeiro semestre de 2018, os gastos com PMEs, incluindo micro empreendimentos, alcançaram 48.6% das atividades gerais de empréstimos diretos do BNDES, um aumento de 18% quando comparado com os gastos de 2016 que foram de 30,6% (BNDES, 2019). Contudo, para a OCDE (2020) esses resultados ainda estão na contramão para as PMEs no Brasil, haja vista as dificuldades de oferta de financiamento pelo mercado com baixo acesso ao crédito e uma taxa média de juros de 25% ao ano (OCDE, 2020).

Equipamentos de TI e automação enquadram-se no Financiamento de Máquinas e Equipamentos (FINAME), mas precisam ser adquiridos de fornecedores credenciados pelo BNDES. É considerado fornecedor credenciado, aquele que comprovar que, pelo menos, 50% do valor agregado de seus produtos é gerado no Brasil. Equipamentos importados, para os quais não haja equivalente no país, qualificam-se às condições do fundo, porém a realização do pagamento não pode gerar transferências internacionais (BNDES, 2020).

O BNDES crédito Serviços 4.0 é uma nova modalidade de financiamento para contratação de serviços tecnológicos relacionados à otimização da produção, viabilização de projetos de manufatura avançada, implantação de soluções de cidades inteligentes e outros similares (BNDES, 2021). As seguintes categorias são consideradas para essa modalidade de financiamento: a) manufatura enxuta<sup>16</sup>; b) Digitalização; c) Internet das Coisas (IoT); d) Manufatura Avançada; e) Desenvolvimento Tecnológico de Novos Produtos e Processos; f) Tecnologias Industriais Básicas; g) Eficiência Produtiva e Energética. Empresas interessadas apresentam uma proposta de solução de serviços como, por exemplo, uma solução de *IoT* e caso seja aprovada, o BNDES financia, por exemplo, a partir de uma assinatura mensal, o usuário e o provedor da tecnologia (BNDES, 2021).

---

<sup>16</sup> O credenciamento dessa categoria de serviços está disponível aos prestadores de serviços credenciados no âmbito do Programa Brasil Mais Produtivo.

### 5.3.8 Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP)

A FINEP é uma organização do Governo Federal, amparada pelo MCTI que tem como missão promover o desenvolvimento econômico e social do Brasil por meio de linhas de crédito que contribuem para o fomento público à Ciência, Tecnologia e Inovação em empresas, universidades, institutos tecnológicos e outras instituições públicas ou privadas e projetos em diferentes níveis de desenvolvimento tecnológico (FINEP, 2021).

Dentre as linhas de crédito disponíveis, encontra-se a FINEP Inovação, que é destinada ao apoio da difusão tecnológica no âmbito da inovação e disponibilizado para todos os estágios da inovação (do estágio “crítico” à difusão), com diferentes condições e taxas de juros, de acordo com o estágio do desenvolvimento tecnológico (FINEP, 2021).

Em setembro de 2019, a FINEP lançou o Inovacred 4.0 que foi a primeira iniciativa da Câmara Brasileira da Indústria 4.0. Essa iniciativa é o resultado da colaboração entre a Confederação Nacional da Indústria (CNI), o Ministério da Economia e o MCTI (FINEP, 2021), e seu objetivo é aumentar a produtividade da indústria brasileira promovendo a inovação comercial em áreas como IoT, *big data*, computação em nuvem, segurança digital, robótica avançada, manufatura digital e aditiva, inteligência artificial (IA) e digitalização (FINEP, 2021).

Ainda nessa modalidade existe o Plano Empresarial de Digitalização Estratégica que tem como premissa envolver a inovação a partir de uma “empresa integradora” que se caracteriza como um intermediário responsável por elaborar e implementar planos de digitalização em empresas, via personalização de soluções que podem ser equipamentos, sensores e software a serem usados no desenvolvimento e implementação de planos para adoção de tecnologias e adaptadas sob medida à empresa específica (FINEP, 2021).

No tocante às PMEs da indústria, com receitas anuais de até R\$ 30 milhões (USD 7.6 milhões), a FINEP atua com o programa experimental que envolve um orçamento de R\$ 200 milhões (USD 50.9 milhões). Cada PME beneficiada com a iniciativa recebe um suporte no valor de R\$ 5 milhões (USD 1.4 milhão) para financiar o desenvolvimento e a implementação do “Plano Estratégico de Digitalização Empresarial” (OCDE, 2020).

Para participarem da iniciativa, as PMEs precisam apresentar planos de digitalização elaborados por empresas integrantes do grupo credenciado pela FINEP. Até janeiro de 2020, sete empresas foram credenciadas pela FINEP e apenas quatro empréstimos foram concedidos (OCDE, 2020).

Devido ao valor do orçamento concedido para essa iniciativa e o tamanho das intervenções, possivelmente somente algumas empresas terão esse benefício. Contudo, é importante ressaltar que a iniciativa é promissora e tem a colaboração do setor público e privado e pode ser considerada um exemplo para futuras ações voltadas à implementação da Estratégia E-Digital (OCDE, 2020).

O programa *Software* FINEP foi criado em 2019 e tem como objetivo promover a aquisição de software e serviços de implementação. Com aporte de R\$ 500 milhões, ao longo de três anos, a iniciativa é aberta a empresas brasileiras de todos os portes e atende às necessidades de aquisição e implementação de software, incluindo treinamento. A partir dos dados disponibilizados no sítio da FINEP não foi possível levantar o montante já desembolsado para projetos apresentados na plataforma (FINEP, 2021).

No tocante às startups, Vermulm (2018) sugere que a FINEP e o BNDES instituem juntos fundos específicos para atender a esse nicho de mercado no que se refere à indústria 4.0. Ademais, o autor ainda recomenda que seja constituído um fundo de investimento fechado com recursos da Lei da Informática para atender às startups, além da mobilização de recursos da subvenção econômica do FNDCT e do Fundo Tecnológico (Funtec/BNDES) para empresas que estão iniciando os seus empreendimentos de base tecnológica com foco nas tecnologias da indústria 4.0 (VERMULM, 2018).

#### 5.4 Organizações em ação rumo à manufatura avançada

Nesta seção serão apresentadas as ações voltadas para a formação de nível médio e técnico para o avanço da manufatura avançada no Brasil. Para tanto, foram selecionadas 2 ações: as iniciativas do SENAI e o Programa Novos Caminhos.

#### 5.4.1 Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI

O SENAI é um importante protagonista no desenvolvimento da educação, capacitação e aprendizado aplicados à indústria. Dentre as atividades desenvolvidas pela instituição, destacam-se o treinamento, a oferta de serviços técnicos, suporte tecnológico e disseminação de tecnologias da indústria 4.0 (SENAI, 2021). É representado no Brasil por 84 Institutos, sendo 26 Institutos SENAI de Inovação e 58 Institutos SENAI de tecnologia. Dos 84 Institutos SENAI, onze já estão credenciados pela EMBRAPPII e suas iniciativas contam com recursos diferenciados para financiamento de projetos (SENAI, 2021).

Os institutos ainda desenvolvem projetos com recursos de investimentos diretos pelas empresas, financiamento pelo Edital de Inovação para a Indústria ou outras fontes regionais e nacionais de fomento à pesquisa e inovação (SENAI, 2021).

O desenvolvimento de competências para a Indústria 4.0 tornou-se um dos objetivos da instituição que, a partir do seu portal “SENAI 4.0” ([senai40.com.br](http://senai40.com.br)), oferece serviços de consultoria, cursos de treinamento, e uma ferramenta gratuita de avaliação para medir o grau de maturidade da Indústria 4.0, indicando a partir de três etapas caminhos a serem seguidos por empresas para a trajetória rumo à indústria 4.0 (SENAI, 2021).

Os cursos de treinamento ofertados pela instituição dentro do contexto da Indústria 4.0, estão disponíveis em quatro níveis de educação: técnico, iniciação profissional, extensão profissional e pós-graduação. As tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 como *IoT*, Computação em nuvem, *Big data*, Segurança digital, Integração de sistemas, Robótica avançada, Manufatura digital e Manufatura aditiva são abordadas nos cursos (SENAI, 2021).

#### 5.4.2 Programa novos caminhos

O Programa “Novos Caminhos”, é um conjunto de ações cujo objetivo é o fortalecimento da política de Educação Profissional e Tecnológica, em apoio às redes e instituições de ensino, no planejamento da oferta de cursos alinhada às demandas do setor produtivo e na incorporação das transformações produzidas pelos processos de inovação tecnológica (MEC, 2020).

O programa foi lançado em outubro de 2019, no intuito de contribuir para o alcance da meta definida no Plano Plurianual 2020-2023, de elevar em 80% o total de matrículas em cursos técnicos e de qualificação profissional, ofertando treinamento profissional e tecnológico para 3,4 milhões de matrículas até 2023. A estrutura do programa apresenta-se em três eixos: Eixo 1, Gerenciamento e Resultados (CNCT); Eixo 2, Articulação e fortalecimento; Eixo 3, Inovação (MEC, 2020).

No eixo 1 - Gerenciamento e resultados, os esforços são voltados para a atualização do Catálogo Nacional de Cursos Técnicos (CNCT) realizado em parceria com o setor privado, no intuito de alinhar a oferta de treinamento com as novas necessidades do mercado de trabalho (MEC, 2020). O Ministério da Educação (MEC) aprovou em 18/12/2020 o novo Catálogo Nacional de Cursos Técnicos. No portal do MEC é possível explorar os cursos que serão ofertados no novo catálogo (MEC, 2020).

No setor industrial destacam-se os cursos de Controle e Processos Industriais, Infraestrutura e Produção Industrial. Ainda que não estejam claras quais atividades práticas serão ofertadas, é esperado que o desenvolvimento da trilha de conhecimento e aprendizado seja com base na teoria e prática, proporcionando que o estudante ingresse no mercado de trabalho correspondendo às expectativas das empresas (MEC, 2020).

No eixo 2 - Articulação e fortalecimento, o objetivo é de potencializar opções de cursos em diferentes áreas profissionais e por distintas trilhas, propiciando flexibilidade de caminhos de formação e desenvolvimento de competências profissionais adequadas ao atual contexto socioeconômico (MEC, 2020). A previsão é de treinamento e aprimoramento das competências profissionais de mais de 20 mil professores nas matérias de treinamento vocacional e profissional. Para atender esse plano serão ofertados mais cursos de matemática e ciências naturais pelos institutos federais de educação, ciências e tecnologia, cuja função é a de treinar professores da educação básica (MEC, 2020).

Ainda nesse eixo, o programa prevê alterações no modelo de financiamento, estabelecendo a obrigação de os estados vincularem os gastos com bolsas de estudo de treinamento às demandas mapeadas de acordo com as necessidades locais nos setores industrial, de serviços e agrícola (MEC, 2020).

No eixo 3 - Inovação, as ações visam principalmente fortalecer os vínculos entre educação, trabalho e desenvolvimento socioeconômico local e regional,

disseminando a cultura do empreendedorismo e da inovação de processos e produtos no âmbito da Educação Profissional e Tecnológica. Sob este eixo, os principais destaques são a ampliação dos Polos de Inovação nos Institutos Federais de Educação Profissional, Científica e Tecnológica (MEC, 2020).

O programa incentivará projetos de estímulo à pesquisa aplicada, à inovação e a atividades tecnológicas, por meio de atividades competitivas para grupos de estudantes, professores e pesquisadores (MEC, 2020). Destaca-se nesse pilar a previsão de cinco centros de inovação em cooperação com a EMBRAPA, além dos nove já existentes, que terão a missão de disseminar a cultura do empreendedorismo, explorar o desenvolvimento da pesquisa aplicada para atendimento às demandas reais do setor privado e proporcionar a aproximação da educação com as necessidades do mercado de trabalho (MEC, 2020).

Embora ocorram no Brasil iniciativas para o progresso da educação, para a OCDE (2018), a criação de políticas e programas de treinamento voltados a competências, que prevejam e eliminem os desequilíbrios e atendam às necessidades do mercado de trabalho, devem ser formuladas no Brasil. Também iniciativas rígidas e sistemáticas para avaliações de competências devem ser estabelecidas (OCDE, 2018).

De acordo, ainda, com relatório da OCDE (2020), no Brasil não existem políticas para aumentar o nível de diplomados em ciências, tecnologia, engenharia e matemática (*Science, Technology, Engineering and Mathematics - STEM*), embora ocorreram a realização de algumas iniciativas por parte de certos protagonistas dessas áreas, em especial o treinamento vocacional no ensino médio.

O Programa Meninas Digitais da Sociedade Brasileira de Computação é um exemplo a ser citado. O objetivo do programa é descobrir e promover talentos em STEM, dentre estudantes de cursos de graduação. Com essa mesma finalidade, as entidades acadêmicas organizam diversas “Olimpíadas” em diferentes campos de STEM, para estudantes do ensino médio: matemática, física, robótica e astronomia (OCDE, 2020).

## 5.5 Iniciativas de universidades e empresas para o contexto da manufatura avançada

As iniciativas que envolvem Universidades e empresas são essenciais na criação de um ambiente propício ao transbordamento do conhecimento para

instituições que certamente beneficiar-se-ão em termos de qualidade e produtividade no trabalho. A seguir serão apresentadas as Universidades que dispõem de pesquisas, cursos, laboratórios e experimentos capazes de fomentar o ensino e o conhecimento técnico aplicado, bem como algumas empresas que se inserem nesse cenário para o compartilhamento do aprendizado técnico.

Trataremos as ações das seguintes Universidades: Centro Universitário FEI, Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade de Campinas (UNICAMP), Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Federal do ABC (UFABC).

#### 5.5.1 Centro Universitário FEI

O projeto ROBOFEI foi criado em 2003 e envolve alunos de graduação em Ciências da Computação, Engenharia Elétrica, Automação e Controle e Engenharia Mecânica. Os estudos realizados no laboratório contam com o uso de tecnologias avançadas, robótica e inteligência artificial (FEI, 2020). Em 2016, o centro Universitário FEI inaugurou o laboratório Indústria 4.0 de manufatura Digital para pesquisas na área de Engenharia, aproximando o meio acadêmico e empresas que atuam no setor industrial a partir de pesquisas e projetos em conjunto. A instalação do laboratório tem parceria da *Siemens PLM Software*, unidade de negócios da *Siemens Digital Factory DivISlon*, que investiu mais de R\$ 3 milhões no fornecimento de 100 licenças do portfólio *Tecnomatix*, ferramenta essa que inclui tecnologias para planejamento de processos de manufatura, com soluções capazes de validar processos robotizados a exemplo da solda a ponto e pintura e a robotização (FEI, 2020).

Em 2019, a Agência FEI de Inovação (AGFEI) iniciou parceria com as empresas *FESTO* e *VTECH* com a intenção de integrar indústria e academia na produção de tecnologias por meio de ações como a utilização de softwares específicos das empresas pelos discentes da FEI em sala de aula e em projetos desenvolvidos, disseminar o conhecimento a partir de workshops, cursos, palestras e treinamentos (FEI, 2020).

Além dessas iniciativas, a FEI oferece cursos de mestrado e doutorado com linhas de pesquisa voltadas para a inovação no curso de Administração (Capacidades

Organizacionais, Estratégias de Mercado e Competitividade e Sustentabilidade). No curso de mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica, a ênfase é nas linhas de pesquisa em caracterização elétrica de dispositivos eletrônicos, simulação e modelagem de dispositivos eletrônicos (FEI, 2020). O curso de Inteligência Artificial Aplicada à Automação e Robótica disponibiliza várias linhas de pesquisas: Raciocínio Automático e Aprendizado de Máquina, Robótica Inteligente e Sistemas Inteligentes Integrados (FEI, 2020).

O Programa de Mestrado e Doutorado em Engenharia Mecânica disponibiliza cursos nas áreas de concentração: Inovação e Gestão de Operações que, dentre os estudos realizados, contribui para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas a modelos de negócios, desenvolvimento tecnológico, análise de cadeias produtivas, sistemas locais de produção e clusters regionais (FEI, 2020).

Ainda em 2019, a FEI lançou a plataforma de Inovação FEI – Megatendências 2050 que tem como propósito promover o conhecimento para que alunos possam desenvolver soluções para os desafios do futuro e estão relacionados a: tecnologias, sociedade, produção de alimentos e qualificação profissional. Para tanto, a plataforma é composta de 3 pilares: cultura inovadora, agenda de futuro, e currículo profissional (FEI, 2020).

Em 2020, a FEI inaugurou a plataforma de *IoT* da *Siemens*. A parceria entre as duas instituições ocorreu em virtude de a *Siemens* já vir adotando essa ferramenta há anos e pela importância dentro do contexto de inovação e digitalização necessárias à academia e às indústrias (FEI, 2020). A ferramenta consiste em um sistema operacional aberto para Internet das Coisas (*IoT*) com base em nuvem, proporcionando a conexão de máquinas e infraestruturas físicas com o mundo digital e transformando dados em conhecimento. Além de a oportunidade viabilizar novos modelos de negócios digitais, permite aos alunos uma formação profissional aliada às necessidades do mercado de trabalho a partir da formação técnica em ferramentas digitais. A plataforma está disponível tanto para apoio em salas de aulas como nos laboratórios de projetos e pesquisas científicas envolvendo alunos da graduação e da pós-graduação (FEI, 2020).

### 5.5.2 Instituto Mauá de Tecnologia (IMT)

O Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) disponibiliza a plataforma “Jornada Rumo à Indústria 4.0” que permite avaliar as operações de uma empresa para diagnosticar em que estágio de maturidade ela se encontra e propor uma jornada para o alcance de maior maturidade. Para isso, o IMT conta com a parceria da *Symnetics*, consultoria que trabalha os pontos relacionados à metodologia e visão estratégica para o alcance de oportunidades inovadoras. A plataforma foi criada seguindo as recomendações publicadas pela *National Academy of Science and Engineering - ACATECH* (IMT, 2020).

No que diz respeito à oferta de cursos, são ofertados cursos voltados para a Indústria 4.0, Inteligência Artificial, Mobilidade Autônoma Elétrica, Tecnologias Habilitadoras para Internet do Futuro, Inovação e Indústria 4.0, Arquitetura de Soluções para Inteligência Artificial e dados, Ciência de Dados e Inteligência Artificial, Indústria Digital 4.0 – PLM, Manufatura Digital & Digital Enterprise e Métodos Avançados de Inteligência Artificial (IMT, 2020).

### 5.5.3 Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

A Rede RS Indústria 4.0 é uma iniciativa de entidades de classe e universidades para desenvolver ações em dois níveis (Governança e Operações), tendo como propósito unir esforços para alavancar a competitividade da Indústria no Rio Grande do Sul (UFRGS, 2020). As ações sobre Governança buscam a captação de oportunidades para a divulgação de cases de indústria 4.0, contribuindo, assim, para que empresários compreendam essa trajetória 4.0, bem como as conexões com fornecedores que demandam soluções tecnológicas 4.0 (UFRGS, 2020).

As ações operacionais, visam contribuir com o fornecimento de soluções tecnológicas para as empresas captadas a partir das ações realizadas na Governança. O sucesso das ações realizadas no nível operacional, contam com a parceria de empresas fornecedoras de tecnologias da indústria 4.0, o Instituto SENAI e laboratórios de Universidades (UFRGS, 2020). São parceiros do projeto Abimaq, Abinee - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, Associação Brasileira das Indústrias de Calçados (ABICalçados), Federação das Indústrias do Estado do

Rio Grande do Sul (FIERGS), SENAI, SEBRAE, Instituto Euvaldo Lodi (IEL-RS), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Unisinos, PUCRS, Universidade Luterana do Brasil (Ulbra), Governodo Estado do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2020).

O projeto Aliança Local para a Manufatura Avançada 4.0 (ALMA) é uma parceria entre grupo de empresas coordenadas pelo Núcleo de Engenharia Organizacional (NEO) da UFRGS, com o apoio do Arranjo Produtivo Local de Automação e Controle da ABINEE e tem como objetivo desenvolver soluções integrais para a Indústria 4.0 de acordo com necessidades empresariais das empresas localizadas no Estado do Rio Grande do Sul (NEO-UFRGS, 2018).

O projeto está sendo desenvolvido e implantado na nova planta da empresa NOVUS e conta com a colaboração de todos os parceiros envolvidos para a criação de uma célula de manufatura autônoma e reconfigurável em tempo real, e que possa ser replicada em outras empresas, ou seja, o aprendizado tecnológico adquirido neste projeto irá beneficiar outras empresas (NEO-UFRGS, 2018). A Universidade também oferta o curso de Especialização em Indústria 4.0 e Transformação Digital que tem como objetivo preparar os Gestores para serem líderes na implementação da indústria 4.0 em empresas brasileiras (UFRGS, 2020).

#### 5.5.4 Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

A Universidade Federal de Santa Catarina por meio do Departamento de Engenharia Mecânica (EMC) possui o Laboratório de Mecânica de precisão (LMP) que desenvolve pesquisas tecnológicas nas áreas de usinagem convencional, de precisão e ultra precisão (UFSC, 2020).

São parceiros dessa iniciativa as seguintes empresas e instituições: *Bosch, Embraco, Gerdau, GMBH, Flowdrill, Promotec, Finep, Fundação Fraunhofer Gesellschaft* e Institutos de pesquisa das universidades técnicas *Aachen, Kassel, Ilmenau, Hamburgo - Braunschweig*, na Alemanha e a Universidade Técnica de Zurique na França (UFSC, 2020).

A Universidade também possui o Núcleo de Inovação em Moldagem e Manufatura Aditiva (NIMMA) que tem como propósito desenvolver pesquisas acadêmicas e aplicadas na área de manufatura aditiva. De acordo com informações

publicadas na página da Universidade, já foram concluídos mais de 100 trabalhos de iniciação científica, mestrado e doutorado sobre o tema Impressão 3D (UFSC, 2020).

#### 5.5.5 Universidade de Campinas (UNICAMP)

A Unicamp, por meio do Núcleo de Economia Industrial e da Tecnologia (NEIT) tem desenvolvido estudos e pesquisas nas áreas de Economia Industrial, Tecnologia e Inovação Internacional. Os projetos desenvolvidos fazem parte de um acervo de temas como, por exemplo: política industrial e tecnológica, arranjos locais, cadeias produtivas, serviços de infraestrutura e competitividade internacional (UNICAMP, 2020).

A Faculdade de Administração possui o Laboratório de Fabricação Digital - FabLab que possibilita a construção de protótipos conceituais e funcionais além de disponibilizar um conjunto de ferramentas de prototipagem rápida, como fresoras de pequeno porte, impressora 3D, computadores e *softwares* de programação – CAD E CAM. Os projetos são criados em 2D no computador e depois transferidos para 3D nas máquinas, permitindo, assim, o aprendizado a partir da “mão na massa” (UNICAMP, 2020).

O Centro de Pesquisa em Engenharia de Produção (CENPRO) possui um Laboratório de Empreendedorismo, Inovação e Comércio Internacional (LEICI) que tem como objetivo gerar conhecimento e foca nos processos empresariais financeiros, organizacionais e relativos ao setor industrial. Algumas das linhas de pesquisas desenvolvidas no LEICI são: Inovação tecnológica, organizacional e de marketing, industrial, de serviços e no terceiro setor (UNICAMP, 2020).

O Centro de Pesquisas em Tecnologia (CTMOBI) contribui para o desenvolvimento tecnológico dos meios de movimentação e transporte de pessoas, animais e produtos e possui linhas de pesquisa voltadas para as áreas de Projetos de Máquinas, Elementos de Máquinas, Máquinas, Motores e Equipamentos e Métodos de Síntese e Otimização Aplicados ao Projeto Mecânico, Eletrônica Industrial, Controle de Processos Eletrônicos e Telecomunicações (UNICAMP, 2020).

O Centro de Pesquisas em Administração (CEPAD) desenvolve pesquisas voltadas para estudos relacionados à Organização Industrial e Inovação com a utilização de indicadores de ciência, tecnologia, inovação e relações universidade-empresa-governo (UNICAMP, 2020).

A Agência de Inovação da Unicamp (INOVA), criada em 2003, tem como objetivo desenvolver uma rede de relacionamentos da Unicamp com a sociedade no intuito de incrementar as atividades que envolvem a pesquisa, o ensino e o conhecimento. As áreas de atuação da agência são: propriedade intelectual e empreendedorismo (UNICAMP, 2020).

A Unicamp ainda dispõe do Parque Científico e Tecnológico, que possui laboratórios de inovação, incubadora de empresas de base tecnológica, ambientes para projetos temporários de inovação e ambientes para pré-incubação de empresas inovadoras nascentes (UNICAMP, 2020).

O Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial (DCA) da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp dispõe de ambiente propício às pesquisas relacionadas a sistemas de controle, sistemas embutidos, sistemas inteligentes, aprendizado de máquina, visualização de informação científica e engenharia software dentre outras (UNICAMP, 2020).

Faculdade de Engenharia Mecânica apresenta a linha de pesquisa na área de automação e integração da manufatura que envolve estudos em automação industrial, robótica industrial, sistemas flexíveis de manufatura (SFM), Manufatura Assistida por computador (CAM) dentre outros (UNICAMP, 2020).

#### 5.5.6 Universidade de São Paulo (USP)

A Universidade de São Paulo (USP) possui laboratórios de pesquisa que, ao longo dos últimos anos, vem apresentando projetos relacionados à manufatura avançada. O Departamento de Engenharia Elétrica da USP de São Carlos possui o Laboratório de Automação Inteligente de Processos e Sistemas (LAIPS) que disponibiliza todas as ferramentas necessárias para o desenvolvimento, implementação, análise, avaliação e aplicação de arquiteturas de sistemas inteligentes para áreas de automação, com destaque para as áreas associadas ao controle de processos, processamento de sinais, aprendizado de máquinas e robótica. Dentre as técnicas estudadas nesse Laboratório para o desenvolvimento de sistemas inteligentes encontram-se as redes neurais artificiais, os sistemas e controladores nebulosos – fuzzy e a computação evolutiva (USP, 2020).

A Escola Politécnica da USP (POLI), por meio do Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos (PMR), dispõe de laboratório para pesquisas

nas áreas de robótica, sensores, atuadores, sistemas mecatrônicos, projeto de máquinas e processos de fabricação (USP, 2020). O Laboratório de Automação (LSA) atua no desenvolvimento de estudos e aplicação de técnicas de modelagem apoiadas em ferramentas computacionais que envolvem sistemas de produção industrial, automação de processos de manufatura, sistemas de transporte, sistemas de saúde, sistemas de comunicação, sistemas de defesa, edifícios inteligentes etc. Os projetos de pesquisas desenvolvidas nesse laboratório contam com o apoio de organizações como: CNPQ, CAPES, FINEP, FAPESP, MONBUSHO (Japão), JICA (Japão), ECLA (União Europeia), ICI (Espanha), JNICT (Portugal), Marinha do Peru (Peru), TITECH (Japão), LAAS (França), UNL (Portugal) e IPK (Alemanha) (USP, 2020).

O Centro de Inovação da USP (INovaUSP) possui iniciativas de inovação e empreendedorismo com interação entre o ambiente interno da USP e o ambiente externo (USP, 2020). O projeto *Samsung Ocean* faz parte do InovaUSP e é uma iniciativa da empresa *Samsung* no Brasil que oferece capacitação tecnológica à comunidade além de fomentar a criação de empresas de bases tecnológicas (*startups*) (USP, 2020). A iniciativa já contribuiu para a qualificação de 71 mil pessoas e foi propulsora de treinamentos e workshops voltados para a disseminação dos conceitos da indústria 4.0. Dentre as parcerias do InovaUSP destacam-se a Motorola, IBM, Itaú, *Schneider Electric*, *Siemens*, FAPESP, ABDI e TOTVS (USP, 2020).

Em 2014, foi criado também na POLI um laboratório voltado para o desenvolvimento de tecnologias nas áreas de games, realidade virtual, internet das coisas e comunicação móvel que foi idealizado para oferecer infraestrutura e capacitação tecnológica a estudantes e desenvolvedores de sistemas. O laboratório é uma parceria com o projeto *Samsung Ocean* (USP, 2020).

O Centro de Inovação, Empreendedorismo e Tecnologia (CIETEC) é a entidade gestora da Incubadora de Empresas de Base Tecnológica em São Paulo –USP/Ipen (USP, 2020).

Na Incubadora, são desenvolvidas metodologias para a seleção de empresas nascentes de base tecnológica, com fomento de investimentos público e privado, dentre eles “investimento anjo”, “capital semente” e “venture capital”, que contribuem para o desenvolvimento de produtos, serviços e processos (USP, 2020). De acordo com a avaliação das propostas de negócios, são disponibilizados às empresas os módulos de pré-incubação, incubação e pós-incubação (USP, 2020).

No âmbito dos programas de Mestrado e Doutorado, a USP oferece, em seu curso de Administração, a linha de pesquisa Inovação e Gestão Tecnológica; no curso de Engenharia da Produção, as linhas de pesquisa de Gestão da Tecnologia da Informação e a linha de Pesquisa Trabalho, Tecnologia e Organização (USP, 2020).

A Escola Politécnica da USP (POLI), a partir do curso de Engenharia de Produção, dispõe do projeto “Fábrica do Futuro” que é um ambiente de manufatura envolvendo a pesquisa, ensino e demonstrações de tecnologias da Indústria 4.0. Deste modo, o laboratório contribui para o desenvolvimento de provas de conceito, capacitação da mão de obra e a disseminação de novas tecnologias (USP, 2020).

Quanto à difusão do conhecimento, além dos cursos de engenharia, a USP oferece cursos à distância e gratuitos para incentivos ao empreendedorismo a partir do uso de tecnologias digitais móveis e inteligência artificial (USP, 2020).

#### 5.5.7 Universidade Federal do ABC (UFABC)

A Agência de Inovação (InovaUFABC) tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento econômico sustentado a partir de pesquisas que promovam o apoio às ações relacionadas à proteção intelectual, o estímulo tecnológico para intensificação de atividades de P&D, empreendedorismo e inovação (UFABC, 2020). As seguintes divisões técnicas foram estabelecidas pela UFABC para a coordenação de projetos: empreendedorismo tecnológico, inteligência Estratégica, propriedade intelectual, transferência de tecnologia, incubadoras e parques tecnológicos e extensão e formação continuada (UFABC, 2020).

Em abril de 2021, a UFABC, em parceria com o Parque Tecnológico de Santo André, disponibilizou o espaço *Smart Testbed* UFABC que oferece um ambiente propício ao desenvolvimento de testes de conceitos e prototipagem nos moldes da indústria 4.0 e capacitação profissional (UFABC, 2021).

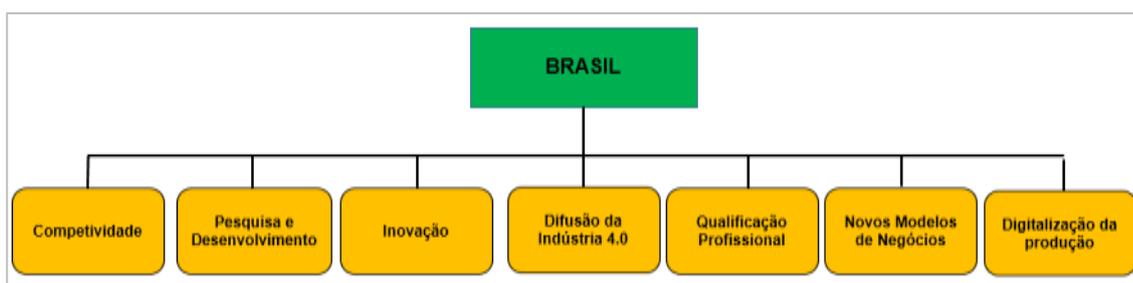
Com relação à oferta de cursos, a Universidade disponibiliza os programas de Doutorado Acadêmico Industrial (DAI) e o Mestrado Acadêmico para Inovação (MAI). As linhas de pesquisas ofertadas são na área de Gerenciamento Flexível de Infraestrutura Computacional para Sociedades Inteligentes (UFABC, 2020).

## 5.6 Considerações finais do capítulo

Este capítulo teve como objetivo fazer uma breve apresentação das políticas industriais anteriores aos movimentos marcados pela 4RI e as políticas posteriores que envolvem as iniciativas para a manufatura avançada no Brasil. A partir do exposto foi possível compreender que as iniciativas desenvolvidas no período de 2004 a 2014, tinham como objetivos reestabelecer o desenvolvimento industrial do país por meio de investimento interno, investimentos em P&D, a competitividade e a inovação.

A partir de 2014 foram criadas várias iniciativas por meio de planos, programas e estudos que visam à inserção do país no novo contexto marcado pelo uso intensivo das tecnologias digitais. A seguir, apresenta-se a figura 24 que ilustra os componentes centrais das iniciativas para a manufatura avançada no Brasil.

Figura 24 - Pilares das iniciativas para a manufatura avançada no Brasil



Fonte: elaboração própria.

A partir da matriz de síntese (anexo A) e análise dos documentos que versam sobre as iniciativas no Brasil para a manufatura avançada, é possível observar que os objetivos descritos nas iniciativas estão relacionados à competitividade, pesquisa e desenvolvimento, inovação, difusão da indústria 4.0, qualificação profissional, novos modelos de negócios e digitalização da produção.

No total, foram analisadas 9 iniciativas, dentre planos, programas e estudos, conforme apresentam-se na figura 25, além dos projetos elaborados por Institutos de Pesquisa e atores das esferas pública e privada.

Figura 25 - Múltiplas iniciativas para a manufatura avançada

Plano Nacional de Internet das Coisas	Plano de CT&I p/Manufatura Avançada no Brasil-ProFuturo	Estratégia Brasileira para a Transformação Digital-E-digital	Agenda Brasileira para a Indústria 4.0	Programa Rota 2030	Projeto Indústria 2027	Mapa Estratégico da Indústria-2018-2022	Plataforma Câmara Brasileira da Indústria 4.0	Programa Mais Brasil
---------------------------------------	---	--	--	--------------------	------------------------	---	---	----------------------

Fonte: elaboração própria.

Os planos e programas levam em consideração o curto e o médio prazo: Internet das Coisas (2018 a 2022), Profuturo (2018 a 2021), Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 (2018-2019), Programa Rota 2030 (2020-2030) e Programa Brasil Mais (não existe prazo determinado). O estudo Projeto Indústria 2027, considera o longo prazo (2018 a 2027) e o Mapa da Estratégia Industrial considera o curto prazo (2018-2022).

Neste sentido, os prazos estipulados ficam comprometidos, haja vista que, para o cumprimento de metas e ações, é necessário um prazo maior para que os objetivos sejam alcançados. Já os estudos apontam para as mudanças que devem ser realizadas, assim como os ganhos obtidos na implementação das tecnologias digitais, mas não são instrumentos direcionados para a prática – implementação e aplicação das tecnologias digitais.

De acordo com os documentos analisados, no que se refere aos incentivos propostos, esses estão relacionados à inovação, apoio às PMEs e a linhas de crédito para apoiar a difusão tecnológica.

O apoio à implementação, aplicação e difusão das tecnologias habilitadoras da 4RI fica mais dinâmico a partir da construção de planos pilotos que podem ser conduzidos em plataformas de *testbeds* inseridos em institutos de pesquisa, universidades e empresas como ocorre nos EUA e na Alemanha. Contudo, dentre as iniciativas apresentadas, somente na Agenda Indústria 4.0 existe a previsão de implantação desses *testbeds*, mas, até o ano de 2020, essa medida ainda estava em fase de execução (AMORIM *et al.*, 2020).

A formação educacional é necessária para as novas atuações profissionais e tecnologias habilitadoras da manufatura avançada. Neste sentido, as iniciativas brasileiras apresentam relatórios para estimular a capacitação, requalificação e formação educacional, de acordo com as novas exigências do mercado de trabalho. Existe um plano do MEC para que, a partir do ano de 2022, sejam incluídas, nas

formações do ensino médio, disciplinas voltadas para a área tecnológica. Mas essas mudanças ocorrerão a partir do próximo ano e as ações voltadas para a manufatura avançada ocorrem desde 2011 em outros países, que já executam planos e ações para a formação educacional de nível médio e tecnológico.

Um esforço ocorre no Brasil a partir de cursos ofertados pelo SENAI. Contudo, não abrange todos os indivíduos em idade escolar que serão inseridos no mercado de trabalho no futuro próximo.

Verifica-se que todas as Universidades pesquisadas possuem laboratórios de pesquisas para a indústria 4.0 e a maioria dispõe de cursos de graduação e pós-graduação na temática indústria 4.0. Contudo, alguns fatores são importantes e merecem destaque como, por exemplo, as Universidades que possuem parcerias com empresas, contribuindo, desta forma, para a difusão do conhecimento acadêmico no interior de instituições. Nesse quesito, FEI, UFRGS, UFSC e USP apresentam parcerias que possibilitam a difusão do conhecimento.

As fontes de financiamento destacadas nos planos são de origem pública, vindas do governo e envolvem o curto e médio prazo. No entanto, de acordo com Amorim *et al.*, (2020), no que se refere à agenda da indústria 4.0, as medidas que envolvem a concessão de financiamentos estão em fase de execução e não há nenhuma informação nos sítios eletrônicos dos ministérios quanto ao cumprimento das metas estabelecidas e relacionadas a financiamentos concedidos.

Com relação aos setores que estão sendo considerados nas iniciativas, destacam-se: cidades inteligentes; saúde; agronegócio; manufatura; alimentos processados; insumos básicos; siderurgia; química; bioeconomia; petróleo e gás; exploração de águas profundas; bens de capital; máquinas agrícolas; máquinas ferramenta; motores elétricos; automotivo; veículos leves; TIC; telecomunicações; microeletrônica; software; farmacêutico; biofármacos; bens de consumo; têxtil; vestuário; serviços; varejo; meio ambiente; engenharia; energia; nanotecnologia; e o setor de políticas públicas.

No que se refere ao setor de manufatura ou setor industrial, o Plano Nacional de Internet das Coisas (IoT) envolve fábricas e indústrias. O Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil não menciona em quais setores industriais serão aplicadas as metas estabelecidas e a Agenda Brasileira da Indústria 4.0 menciona o termo indústria de forma genérica (parque industrial).

O primeiro refere-se às formas de se produzir com o menor custo possível e não necessariamente o termo está vinculado à indústria 4.0, e o segundo termo é sinônimo de impressora 3D. Deste modo, com relação ao setor de manufatura, os termos não estão claros e as metas e ações não foram definidas.

A Plataforma Câmara Brasileira da Indústria 4.0 – menciona a importância de inserir as MPEs no contexto das tecnologias digitais de manufatura e o projeto Indústria 2027 prevê a inserção do setor de manufatura no contexto da indústria 4.0. As iniciativas preveem a inclusão da legislação necessária para a trajetória rumo à indústria 4.0, no entanto, não há um instrumento único que relacione a legislação descrita nos documentos.

Da mesma forma que ocorre com a legislação, o termo “padronização” é mencionado nos planos, contudo não existem padrões estabelecidos que definam as normas e regras necessárias a serem praticadas no contexto da indústria 4.0. Inclusive as normas e regras para o novo contexto industrial e o mercado de trabalho.

No intuito de se conhecer os principais assuntos discutidos nas iniciativas para a manufatura avançada no Brasil, foi gerada a nuvem de palavras (figura 26), a partir das informações organizadas na matriz de síntese (anexo A). A nuvem de palavras foi elaborada levando em consideração as 30 palavras mais frequentes com sinônimos, conforme descrito no capítulo 3 – Procedimentos Metodológicos, item 3.3 – Tratamento dos dados e análise.

Figura 26 – Brasil: Principais temas para a manufatura avançada



Fonte: elaboração própria a partir da matriz de síntese (2021). Processamento nvivo (2021).

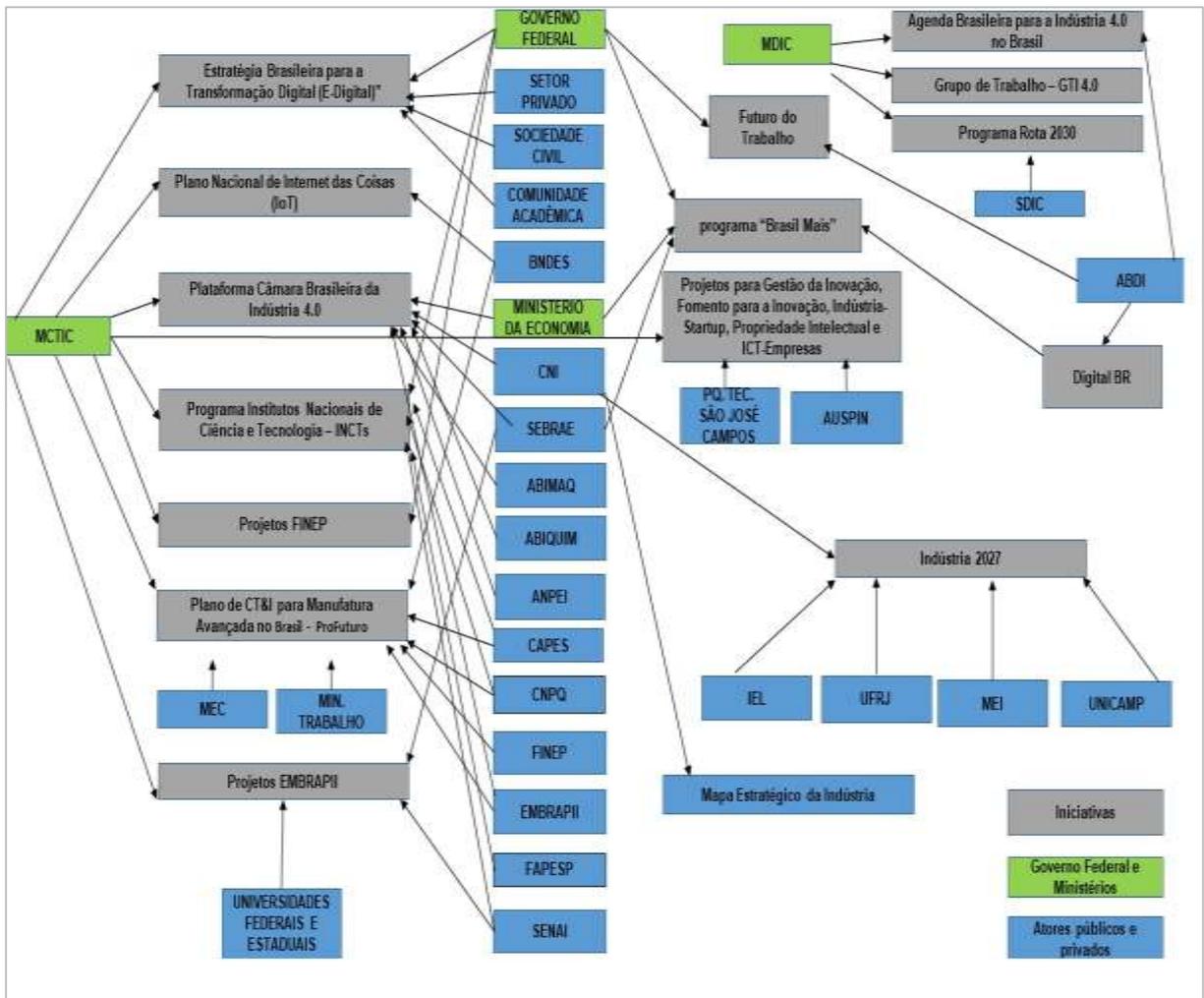
Em análise, verifica-se que as palavras mais utilizadas nas iniciativas, planos e programas são: produtos, indústria e manufatura.

No que refere a produtos, o termo é utilizado para fazer menção à qualidade de produtos, a novos produtos ofertados, a políticas públicas de tecnologias para o desenvolvimento de produtos. Os termos “indústria” e “manufatura” são utilizados para se referir à indústria 4.0, indústria brasileira, indústria manufatureira sempre com a intenção de chamar a atenção para a importância de inserir o setor industrial ao contexto da 4RI.

No entanto, os termos são utilizados de forma genérica sem mencionar quais setores industriais estão sendo tratados nos planos/iniciativas ou estudos. Exceto o programa Rota 2030 que menciona a manufatura avançada na cadeia de fornecedores do setor automotivo, incluindo máquinas agrícolas e rodoviárias, o mapa estratégico da indústria que faz menção a sistemas produtivos e focos setoriais, e o estudo Indústria 2027 que apresenta setores selecionados.

Com relação às integrações das múltiplas iniciativas para a manufatura avançada, a figura 27 apresenta os relacionamentos entre atores na esfera pública e privada, os Ministérios envolvidos nas iniciativas, além dos projetos de institutos de inovação e Universidades públicas.

Figura 27 - Múltiplas iniciativas brasileiras para a manufatura avançada<sup>17</sup>



Fonte: elaboração própria.

A figura 27 foi elaborada levando em consideração cada iniciativa para a manufatura avançada no Brasil, que foram descritas neste capítulo e os atores das esferas pública e privada que participam dessas iniciativas.

Em análise, observa-se que as iniciativas, planos e estudos são fragmentados e não há uma integração entre o setor público e o setor privado.

A iniciativa Estratégia Brasileira para a Transformação Digital – E-Digital, envolve o setor público e o setor privado. Contudo, as ações definidas no documento são específicas e não deixam explícitas como envolverão os novos modelos de negócios e os dispositivos conectados (OCDE, 2020).

<sup>17</sup> O Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) foi extinto em 01/01/2019 e as iniciativas desse Ministério foram incorporadas no Ministério da Economia. Para uma melhor visualização das iniciativas na elaboração da figura 27, foram consideradas as iniciativas iniciadas pelo MDIC separadas.

Conforme afirmado pela OCDE (2020), a iniciativa apresenta o propósito de tornar a economia brasileira digital, entretanto, não estabelece como serão executados os eixos temáticos: habilitadores e transformação digital.

Ademais, como já afirmado pela OCDE (2020), a iniciativa não apresenta previsão de gastos na Lei Orçamentária, assim como quais são os mecanismos que serão utilizados para as diversas ações que envolvem Ministérios e como serão distribuídos os financiamentos de acordo com as necessidades e evolução da iniciativa.

O Plano IoT envolve somente uma das tecnologias da manufatura avançada. Embora seja um plano para os setores de saúde, agronegócio e manufatura, no que se refere a esse último, não contempla as necessidades do setor industrial além de ser um plano mais voltado para o setor de serviços como exemplo das plataformas digitais disponíveis – UBER, IFood, Airbnb.

Conforme já afirmado pela OCDE (2020), o plano não deixa claro os mecanismos de financiamento e depende da disponibilidade financeira de atores para assumirem as despesas referentes a investimentos em novas áreas. A estratégia deveria levar em consideração os setores e regiões e ter os prazos para o cumprimento das metas monitorados. Ademais, o plano tem a participação do MCTI e do BNDES, mas não envolve outras instituições públicas e o setor privado (VERMULM, 2018).

A Plataforma Câmara Brasileira para a Indústria 4.0 envolve vários atores em sua estrutura e está direcionada para assuntos relacionados à pesquisa, tecnologia e inovação, capital humano, cadeias de produção, regulamentações, regularização técnica e infraestrutura. Contudo, a partir da análise documental não foi possível verificar a integração da Plataforma com os planos anteriores estruturados como o E-Digital e o Plano Internet das Coisas (IoT).

Ademais, conforme dados publicados no sítio eletrônico da plataforma, as atividades estão voltadas para apoiar as PMES, a proteção de dados, legislação trabalhista ou tributação de dispositivos de *IoT*. Deste modo, limita-se somente na IoT e nas pequenas e médias empresas, deixando de fora as grandes empresas do setor industrial.

Os INCTs foram criados a partir de iniciativa do Governo Federal e tem como parceiros o MCTI, a rede Senai, a Capes, CNPQ e Fapesp. Porém, não existe a integração desses projetos com as medidas relacionadas na agenda indústria 4.0.

Ademais, não foi possível encontrar nas informações disponibilizadas se os institutos possuem em sua estrutura parcerias com universidades públicas.

O Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil foi uma das primeiras iniciativas brasileira para as novas demandas tecnológicas das cadeias produtivas e envolve um grande número de tecnologias digitais que devem ser exploradas no país. Contudo, o plano não aproveita as metas e ações elaboradas no Plano de IoT e não foi inserido na Agenda Brasileira para a Indústria 4.0. Embora envolva vários atores, não foi possível encontrar nenhuma evidência sobre os resultados desse plano no período de 2018 a 2020.

A Embrapii possui integração com o MCTI, rede Senai, Universidades Federais e Estaduais e o Sebrae. Entretanto, o foco da organização é a disseminação da tecnologia de IoT e metade dos projetos apresentados pela organização estão concentrados no Nordeste o que não se relaciona com o grande número de empresas do setor de máquinas e equipamentos que estão localizadas nas regiões Sul e Sudeste.

A Agenda Brasileira para a Indústria 4.0, no Brasil, é uma das iniciativas mais importantes no contexto das mudanças preconizadas pela 4RI, mas tem integração somente com o MDIC<sup>18</sup> e com a ABDI. A maioria das medidas inseridas na agenda, envolve estratégias apresentadas em outras iniciativas como o Plano Internet das Coisas, a E-Digital e Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil. Mas esses planos não se integram. Ou seja, as estratégias são as mesmas, mas não são operacionais.

O Programa Rota 2030, embora seja voltado para o setor automotivo é transversal e prevê a conectividade da indústria com o setor de manufatura avançada na cadeia de fornecedores do setor automotivo. O programa, porém, não se relaciona com as outras iniciativas para a manufatura avançada. Deste modo, é possível que as ações desenvolvidas nesse programa venham atender somente o setor automobilístico. Além do mais, fornecedores de insumos para o setor automobilístico podem atender às demandas de outros setores.

O Programa Mais Brasil é voltado para as PMEs do setor de manufatura e tem como objetivo oferecer consultoria para a gestão dos negócios. É uma iniciativa da

---

<sup>18</sup> Optou-se por conservar a integração da Agenda com o MDIC somente para melhor visualização. Mas, a iniciativa é responsabilidade atual do Ministério da Economia.

ABDI com parceria do SENAI e do SEBRAE, mas não envolve outras iniciativas que já preveem o desenvolvimento de ações para a decolagem das PMEs no Brasil.

O relatório Indústria 2027 é um esforço para identificar as tecnologias disruptivas e quais ações devem ser tomadas para o novo contexto industrial. No entanto, em nenhum dos programas e planos elaborados para a manufatura avançada no Brasil, contemplam as tecnologias elencadas nesse estudo. Neste sentido, o estudo serve de diretriz para o futuro da indústria brasileira.

Já o Mapa Estratégico da Indústria 2018 a 2022 aborda os seguintes tópicos: Ambiente de Negócios, Fatores de Produção, Ambiente de Negócios e Custos de Produção, Infraestrutura, Políticas Específicas para a Indústria, Ações das Próprias Empresas que são abordados em outros planos de forma fragmentada e subjetiva, mas as metas estipuladas não foram implementadas até o momento, a exemplo do Plano IoT elaborado em 2014 e da Agenda Brasileira para Indústria 4.0 elaborada em 2018, mesmo ano em que o estudo foi elaborado pela CNI.

Os Projetos Digital BR e Futuro do Trabalho são de coordenação da ABDI. O primeiro está previsto no projeto Brasil Mais e tem como foco contribuir para a implementação de tecnologias digitais em PMES do setor produtivo. O segundo projeto tem como foco a capacitação de profissionais para a manufatura avançada, contudo não explica como serão realizadas as capacitações e é uma iniciativa que faz parte da Agenda Brasileira para Indústria 4.0 que essa organização também coordena.

Os projetos da ANPEI contam com a participação de vários atores que contribuem para a efetividade e sucesso das ações propostas. Ademais, possui investimento público do BNDES e do setor privado.

Com relação à captação de recursos para a implementação, aplicação ou aprimoramento das tecnologias habilitadoras da manufatura avançada, a tabela 3 apresenta os montantes investidos em planos e por instituições para financiamentos concedidos a empresas de pequeno, médio e grande porte.

Tabela 3 - Posição do *funding* para a manufatura avançada no Brasil<sup>19</sup>

Ano	Plano/Instituição	Investimento
2018	Plano IoT - BNDES	30.000.000,00
2018	Agenda Brasileira para a Indústria 4.0/MDIC e ABDI	1.290.000.000,00
2020	EMBRAPII	85.000.000,00
2003	Cartão BNDES	2.000.000,00
2020	Crédito e Serviços 4.0	Não disponível
2015 -2020	BNDES - TIC	13.000.000,00
<b>Total</b>		<b>1.420.000.000,00</b>

Fonte: elaboração própria.

De acordo com os valores disponibilizados nos documentos analisados referentes às iniciativas, assim como projetos apresentados pela EMBRAPPII, o montante total de investimentos para fomento da indústria 4.0 soma algo em torno de R\$ 1,42 bilhão.

É importante ressaltar que, com base na análise documental das nove iniciativas apresentadas, os investimentos disponíveis para a manufatura avançada no Brasil não estão disponíveis para verificação de quanto já foi dispendido desse montante total.

De acordo com pesquisa realizada pela OCDE em 2020, no Brasil, prevalece a ausência de programas para promover a digitalização de empresas, as iniciativas são dispersas e sem a previsão de recursos necessários para assegurar os planos estabelecidos ao longo dos próximos anos (OCDE, 2020).

Não existe, pois, uma hierarquia estabelecida dentre as diversas estratégias governamentais e, por este motivo, em algum momento podem se sobrepor. Por exemplo, a Câmara Brasileira da indústria 4.0 está vinculada ao Plano Nacional de Internet das Coisas e seu eixo vertical de manufatura. Outras estratégias, como a Profuturo e a agenda Brasileira para a Indústria 4.0, também são documentos que foram construídos e são essenciais à orientação para a trajetória rumo à manufatura avançada no Brasil (OCDE, 2020).

Assim, a coordenação entre instituições e instrumentos rumo à trajetória da manufatura avançada no Brasil deve articular-se ao ecossistema de inovação e aumentar os vínculos entre projetos e equipes.

<sup>19</sup> Valores aproximados conforme documentos analisados.

Vermulm (2018) sugere a criação de uma infraestrutura de Política para a Indústria 4.0 no Brasil que seja formada por departamentos específicos para o conjunto de competências necessárias ao desenvolvimento da indústria 4.0 no país. As aprovações por parte dessa instituição levariam em consideração pesquisas e projetos de longo prazo em áreas prioritárias e a sua gestão ficaria a cargo de uma instituição privada para não depender de regras criadas pela gestão pública além do orçamento público.

Nos próximos capítulos trabalharemos em especial o tema da estruturação da política industrial para a manufatura avançada e voltaremos a uma série de pontos abordados até aqui.

## **6 SETOR DE BENS DE CAPITAL: CARACTERIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA PARA O CONTEXTO DA MANUFATURA AVANÇADA NO BRASIL**

Neste capítulo será abordada a indústria de bens de capital (BK), com enfoque no segmento de máquinas e equipamentos utilizadas para fins industriais.

O capítulo está dividido em três seções. Na primeira seção faz-se uma apresentação do setor de BK; na segunda seção é realizada uma análise do ponto de vista econômico-financeiro do setor e na terceira seção serão apresentadas as oportunidades tecnológicas e estratégias nacionais propostas para a competitividade do setor de BK no contexto da 4RI, de acordo com o estudo indústria 2027 e o Mapa Estratégico da Indústria 2018-2021.

### **6.1 Caracterização do setor de BK**

O conceito de bens de capital – BK vincula-se de forma funcional e direta à sua aplicabilidade. Para tanto, o setor é dividido em subsetores agrupados sob a seguinte tipologia: bens de capital para fins industriais (seriados e não-seriados); bens de capital agrícolas; peças agrícolas; bens de capital para construção; bens de capital para o setor de energia elétrica; bens de capital para equipamentos de transporte; e bens de capital de uso misto (IBGE, 2019).

Os bens de capital seriados são produzidos em lotes grandes, padronizados e apresentam um grau de customização baixo. Já os bens de capital não seriados são fabricados sob encomenda, atendem necessidades específicas, são customizados e demandam maior proximidade entre cliente e fornecedor (IBGE, 2019).

Vermulm e Erber (2002) asseveram que, na produção de bens de capital seriados, é necessário que haja maquinário especializado e rigidez nos processos de produção, cujas economias de escala são mais importantes do que na produção de bens de capital não seriados.

Na produção de bens de capital não seriados, a proximidade entre produtores e clientes é comum e o processo de produção depende dos equipamentos, da força de trabalho e do tempo de resposta para as especificações demandadas pelos clientes (VERMULM; ERBER, 2002).

Neste sentido, o trabalho da engenharia de produto é essencial às empresas produtoras de bens de capital sendo que o grau de importância é menor para os bens de capital seriados, tornando-se fundamentais a participação da engenharia de

processo e a escala de produção, uma vez que o fator principal de concorrência é o preço do produto (VERMULM, 2003).

Um fator importante desse setor está relacionado à finalidade das máquinas quanto ao seu destino, aos meios de controle, aos acessórios e ao seu desempenho, sendo a produção conduzida para máquinas eletromecânicas, como de Comando Numérico Computadorizado (CNC) (SANTOS; PICCININI, 2008).

Nessa perspectiva, a oferta de BK disponível na indústria mecânica, apoia a expansão de outros setores industriais, além de proporcionar o progresso técnico mediante mudanças tecnológicas. Assim, o desenvolvimento da indústria mecânica é essencial para o avanço da industrialização (MARSON, 2012, p. 13).

Acrescem Chang, Andreoni e Kuan (2013) que o setor de BK tem a capacidade de produzir insumos essenciais à produção de bens de consumo. No setor agrícola, é possível verificar o aumento da produção devido ao desenvolvimento das máquinas agrícolas, fertilizantes e pesticidas (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013).

No setor de serviços, o aumento da produtividade nas áreas de logística e varejo é possível, em virtude da participação efetiva do setor manufatureiro com a produção de equipamentos de transporte mais eficientes, computadores e armazéns mecanizados (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013).

A heterogeneidade é uma das características do setor de BK, tendo em vista que o segmento produz equipamentos com vários níveis de tecnologias envolvidos, atende aos mais variados setores da economia e empresas de pequeno, médio e grande porte, constituídas de capital nacional e multinacional, com plantas industriais e fornecedores em todo país (MIGUEZ; WILLCOX; DAUDT, 2015).

A competitividade do setor de BK está relacionada às instalações, máquinas e força de trabalho especializado disponíveis nas indústrias, além de fornecedores especializados, competências específicas na engenharia de projeto e produto, qualidade da comercialização, assistência técnica e atendimento pós-venda (ERBER; VERMULM, 2002).

Contudo, Vermulm e Erber (2002) argumentam que algumas condicionantes impactam a capacidade da indústria brasileira de BK: a) escala reduzida de produção; b) excesso de verticalização que é associado a um ambiente de fornecedores que atendem partes do processo de produção, componentes pouco desenvolvido e formado por boa parte das empresas de pequeno porte; c) diversificação excessiva de linhas de produtos fabricados por cada empresa; d) limitação da capacidade

técnica da área de engenharia de processo e produto; e) nível reduzido de automação de eletrônica de processos; f) baixa integração entre a automação de desenho e a automação da manufatura; e g) baixa capacidade para fazer a gestão de vendas e serviços pós-venda.

Para melhor compreender como o setor de BK está posicionado na economia brasileira, é oportuno que se apresente uma análise setorial com informações referentes à receita operacional, à sua importância quanto à geração de empregos, ao número de empresas instaladas por região e à balança comercial.

## 6.2 Análise setorial – BK

Com base nos dados da Associação Brasileira de Máquinas (ABIMAQ), os anos de 2016 (R\$ 130,0 bilhões) e 2017 (R\$ 127 bilhões) foram de recuo na receita líquida no setor, quando comparados ao ano de 2012 (R\$ 240,1 bilhões) – melhor ano da série de resultados (ABIMAQ, 2020). Entre os anos de 2014 e 2016, com os desdobramentos da crise financeira internacional iniciada nos EUA em 2007-2008, além da crise econômica e política que se instalou no Brasil, a queda dos investimentos afetou significativamente o setor de BK, que também apresentou um grau elevado de penetração de importações (SARTI, HIRATUKA, 2017; ABIMAQ, 2020).

Em 2020, o desempenho do setor de máquina e equipamentos voltou a apresentar crescimento, com 5,1% de elevação na receita líquida (R\$ 144,50 bilhões em 2020 contra R\$ 137,50 bilhões em 2019<sup>20</sup>) (ABIMAQ, 2020). Em destaque, esse crescimento origina-se pelo poder de resposta das empresas dos setores da indústria de transformação, que apresentou aumento de 5,4% na receita líquida, da indústria de infraestrutura e de base, que apresentou aumento de 9,0% e de máquinas e equipamentos agrícolas, que aumentou 17,6%, conforme destacado na tabela 4 (ABIMAQ, 2020).

---

<sup>20</sup> Valores em moeda corrente.

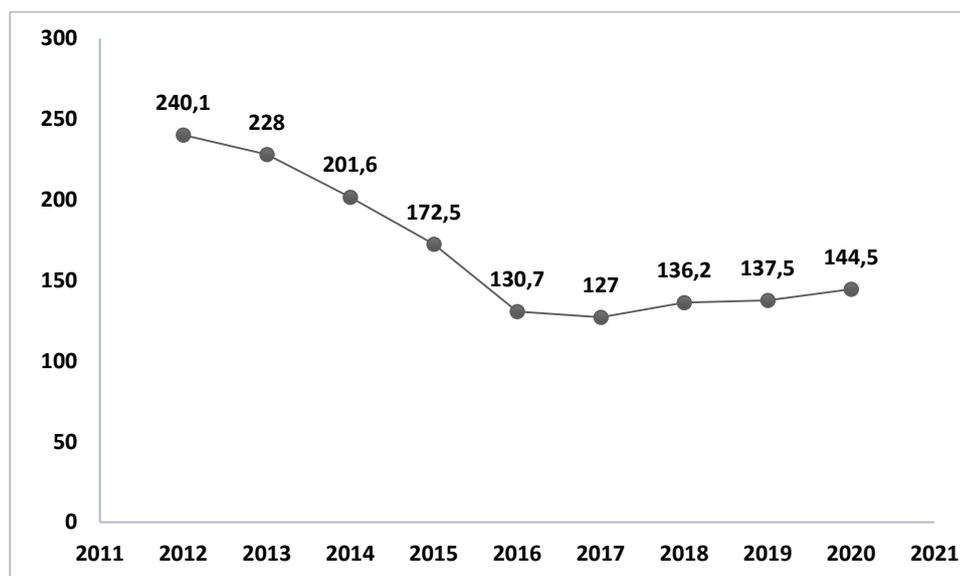
Tabela 4 - Evolução da receita líquida do setor de BK por segmento de mercado (2020/2019)

Segmentos	Receita Líquida
Bens de Consumo	-38,5
Indústria da Transformação	5,4
Componentes da Indústria de BK	-7,6
Infraestrutura e Indústria de Base	9,0
Logística e Construção Civil	-10,6
Máquinas e Implementos agrícolas	17,6

Fonte: elaborado a partir de dados extraídos da Abimaq, 2020.

Evidentemente, o crescimento ainda está longe dos resultados de 2012, e de fato comparando-se 2020 com 2012, a queda é de -39,8% (R\$ 240,1 bilhões em 2012 e R\$ 144,5 bilhões em 2020), conforme ilustra a figura 28 (ABIMAQ, 2020).

Figura 28 - Setor de BK – receita líquida no período de 2012 a 2020 em R\$ bilhões



Fonte: elaborado a partir de dados extraídos da Abimaq, 2020.

Ressalta-se que nos anos de 2011 e 2012, a economia do país foi estimulada por políticas no âmbito fiscal e monetário, dentre as quais destacou-se o aumento do crédito público, as desonerações tributárias a vários setores da economia, e a adoção de uma política fiscal mais expansionista, o que contribuiu para os resultados positivos do setor de BK neste período (HORTA; GIAMBIAGI, 2018).

O desempenho de 2020 é reflexo da capacidade produtiva utilizada, que chegou a 73,0%. Cabe ressaltar que o setor que apresentou a menor capacidade de utilização foi a indústria de transformação que esteve com 49,6% e o setor que apresentou a maior capacidade de aproveitamento produtivo foi o setor de bens de consumo com 84,9% (ABIMAQ, 2020).

Esses resultados ocorreram em decorrência da pandemia da Covid-19 (que persiste ainda em 2021), considerando o fechamento dos estabelecimentos, a necessidade de *lockdown* no Brasil para frear o crescimento no número de casos de infectados, a escassez de materiais e insumos necessários para a produção de determinados produtos, além do desemprego e queda na renda familiar, que também contribuíram para mudanças no consumo das famílias.

Com base nos dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA), o setor de BK em 2019 era composto por 8.911 empresas (tabela 1) que correspondiam a aproximadamente 5,0% dos estabelecimentos da indústria nacional, entendida pela somatória da indústria extrativa e de transformação - distribuídas geograficamente nas regiões do Brasil. A tabela 5 apresenta o número de empresas do setor de BK por região no ano de 2019 (IBGE, 2019).

Tabela 5 - Setor de BK – total de empresas instaladas por região<sup>21</sup>

Região Sudeste	Região Sul	Região Nordeste	Região Centro-Oeste	Região Norte	Total Geral
4.912	3.388	296	257	70	8.911

Fonte: elaborado a partir de dados extraídos do IBGE, 2019.

Conforme tabela 5, a região Sudeste concentrava o maior número de empresas (4.912), sendo que 80% estão localizadas no Estado de São Paulo. Em seguida, vem a região Sul, com 3.338 empresas, sendo que 40% estão localizadas no Rio Grande do Sul. A região Nordeste vem depois com 296 empresas, seguida do Centro-Oeste com 257 e da região Norte com 70 empresas (IBGE, 2019).

Em termos das exportações, os dez maiores destinos dos produtos brasileiros do setor de máquinas e equipamentos são Estados Unidos, Argentina, Holanda, Chile,

<sup>21</sup> Tabela 1849 – Dados gerais das unidades locais industriais de empresas industriais com 5 ou mais pessoas ocupadas, por Unidade da Federação, segundo as divisões de atividades - CNAE 2.0 – divisão 28 – setor de BK.

Paraguai, México, Peru, Colômbia, Alemanha e Canadá. A tabela 6 apresenta o ranking dos 10 maiores importadores de BK em 2020 e 2019.

Tabela 6 - Maiores importadores de BK brasileiros

Ranking	Países	Em Milhões de US\$		Variação %
		2020	2019	
1º	Estados Unidos	2.093,4	2.923,9	-28,4
2º	Argentina	637,6	726,9	-12,3
3º	Holanda	435,3	616,2	-29,4
4º	Chile	296,9	431,6	-31,2
5º	Paraguai	284,2	341,9	-16,9
6º	México	274,3	420,1	-34,7
7º	Peru	221,6	271,1	-18,3
8º	Colômbia	203,9	252,6	-19,3
9º	Alemanha	199,5	346,9	-42,5
10º	Canadá	173,3	262,2	-33,9

Fonte: elaborado a partir de dados extraídos da Abimaq (2020).

Os Estados Unidos lideram o ranking de importadores de BK brasileiros. Porém, observa-se, pelos valores em dólares, que o país importou menos no ano de 2020 (US\$2.093,4) comparado a 2019 (US\$2.923,9) (ABIMAQ, 2020). O país vizinho, Argentina, vem na sequência, com valores de US\$ 726,9 milhões em 2019 e US\$ 637,6 milhões em 2020 de BK importadas do Brasil. A Holanda, terceira do ranking, importou em 2019 US\$ 616,2 milhões e em 2020 US\$ 435,3 na compra de BK produzidos no Brasil (ABIMAQ, 2020).

Em seguida, no ranking, estão países que também reduziram a compra de BK em 2020: Chile (-31,2%), Paraguai (-16,9%), México (-34,7%), Peru (-18,3%), Colômbia (-19,3%), Alemanha (-42,5%) e Canadá (-33,9%) (ABIMAQ, 2020).

Desde a década de 1990, o setor de BK vem enfrentando um processo de reestruturação que é fruto da abertura econômica que alterou a dinâmica do setor fazendo com que ocorresse uma redução das vendas líquidas e do lucro da indústria nacional (ALMEIDA, 2020). Ressalta-se que a dependência externa do país compromete o crescimento econômico brasileiro, em momentos de crise ou restrição internacional (CAVALCANTI; DE NEGRI, 2011).

Para o crescimento do mercado doméstico, deve-se analisar os fatores que impedem esse crescimento. A dependência logística e produtiva da China, deve ser reduzida, assim como a participação de fornecedores locais deve ser aumentada

(ABIMAQ, 2020). As importações de BK, por sua vez, são de origem dos Estados Unidos, China, Alemanha, Itália, Japão, Reino Unido, Espanha, França, Coreia do Sul e Suíça. A tabela 7 apresenta o ranking dos 10 maiores países fornecedores de máquinas e equipamentos para a economia brasileira.

Tabela 7 - Importação de BK por origem

Países	2020	2019	Variação %
Estados Unidos	3.483,1	3.467,9	0,4
China	3.235,1	3.436,9	-5,8
Alemanha	2.286,3	2.219,2	3,0
Itália	1.010,4	1.168,7	-13,5
Japão	688,2	790,0	-12,9
Reino Unido	407,6	356,4	14,4
Espanha	314,4	303,4	3,6
França	295,7	393,3	-24,9
Coreia do Sul	255,3	400,5	-36,3
Suíça	224,7	571,0	-60,6

Fonte: elaborado a partir de dados extraídos da Abimaq (2020).

É importante ressaltar que o setor de BK demanda insumos industriais para outros setores industriais (SARTI; HIRATUKA, 2017) e boa parte da demanda interna de máquinas e equipamentos no Brasil, é abastecida a partir da exportação de produtos de outros países. Ademais algumas empresas estrangeiras do setor de BK encontram-se instaladas no Brasil e possuem posição de destaque no mercado doméstico conforme apresenta-se na tabela 8.

Tabela 8 - Maiores empresas do setor de BK no Brasil (2019)

Ranking	Empresas	Em US\$ Milhões			
		Controle acionário	Vendas líquidas	Lucro líquido <sup>22</sup>	Patrimônio Líquido <sup>23</sup>
1º	Weg Equipamentos	Brasileiro	1.560,6	351,3	1.784,6
2º	Atlas Schindler	Suíço	508,4	64,7	176,5
3º	Jacto	Brasileiro	405,1	24,0	262,9
4º	ThyssenKrupp	Alemão	346,6	33,1	135,8
5º	Nordex	Espanhol	293,1	32,0	86,6
6º	Stara	Brasileiro	256,9	30,3	133,8
7º	Aeris Energy	Brasileiro	207,7	23,1	45,2
8º	Schultz	Brasileiro	202,5	23,2	156,9
9º	Hydro Extrusion	Norueguês	174,0	-12,8	8,1
10º	Weg Linhares	Brasileiro	152,8	27,9	80,2

Fonte: Exame: Melhores & Maiores (2019, p. 20).

<sup>22</sup> Lucro líquido ajustado após efeitos da inflação.

<sup>23</sup> Patrimônio líquido após efeitos da inflação.

Considerando o resultado das receitas líquidas, dentre as dez maiores empresas do setor de BK, seis são de controle acionário brasileiro. A primeira e a última no ranking - Weg Equipamentos e Weg Linhares têm controle acionário brasileiro. Já as empresas Atlas Schindler, *ThyssenKrupp*, *Nordex* e *Hydro Extrusion* possuem controle acionário estrangeiro (EXAME, 2019).

Neste sentido, é importante ressaltar que as empresas líderes, do ponto de vista tecnológico, são aquelas de maior porte, com maiores escalas de produção, sendo este um fator-chave para a competitividade do setor (ARAÚJO, 2011). Um grande desafio para o Brasil é saber trabalhar com as subsidiárias locais, que possuem centros de decisão fora do país (COSTA; ROCHA; GALA, 2021). Outro aspecto que deve ser apontado é que entre as empresas líderes em tecnologia, cerca de 40% são transnacionais (ARAÚJO, 2011).

Quando comparadas às firmas de países avançados ou até mesmo com empresas de outros setores da indústria brasileira, as líderes nacionais investem pouco em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e constroem elos informais com usuários, fornecedores, universidades e institutos de pesquisa. Essas fragilidades fazem com que o setor seja pouco inovador e cria obstáculos para a difusão de tecnologia para outros setores industriais (ARAÚJO, 2011).

De acordo com as características inerentes ao setor de BK, é possível afirmar que, quando existem boas expectativas relacionadas ao crescimento dos vários setores econômicos, o investimento e desempenho produtivo de BK aumenta e favorece a expansão do setor (VERMULM, 2003).

Porém, em ambientes de recessão e instabilidade, as incertezas influenciam gerando efeitos negativos na produção de BK, dado o rebaixamento das expectativas de retorno para projetos que possuem alto grau de complexidade tecnológica (VERMULM, 2003).

A seguir, analisamos dois estudos que buscam identificar as potencialidades do setor de BK dentro do contexto da 4RI, assim como das expectativas futuras para a economia brasileira e a competitividade do país no cenário global.

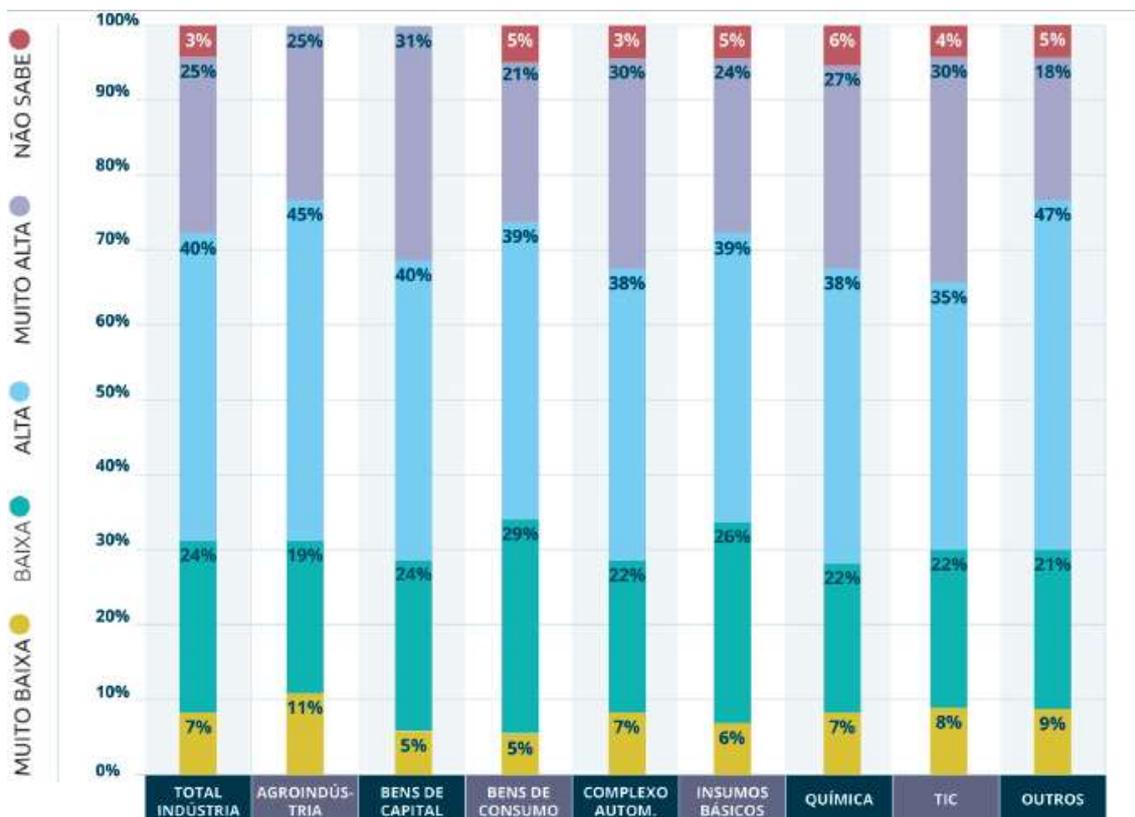
### 6.3 Oportunidades tecnológicas e a competitividade do setor de BK

Em 2017, o Instituto Euvaldo Lodi (IEL) entrevistou empresários de 753 empresas do sistema produtivo nacional – agroindústria, bens de capital, bens de consumo, complexo automotivo, insumos básicos, química, TIC e outros, sendo que 135 dessas empresas são do setor de BK, no intuito de investigar como eles avaliam a entrada de tecnologias da indústria 4.0 nas empresas.

Especificamente no setor de bens de capital, para 31% dos respondentes a probabilidade das tecnologias que permitem a produção integrada, conectada e inteligente serem predominantes no setor é muito alta, 40% afirmaram ser alta, 24% baixa e somente 5% muito baixa (IEL, 2017).

Para os outros setores de BK observa-se que, em média, 70% dos entrevistados apontam como muito alta ou alta e apenas cerca de 30% apontam como baixa ou muito baixa a entrada das tecnologias da indústria 4.0 nas empresas em que atuam (IEL, 2017). A figura 29 apresenta todos os dados da pesquisa.

Figura 29 - Probabilidade das tecnologias de Geração 4 serem dominantes nas empresas do sistema produtivo nacional

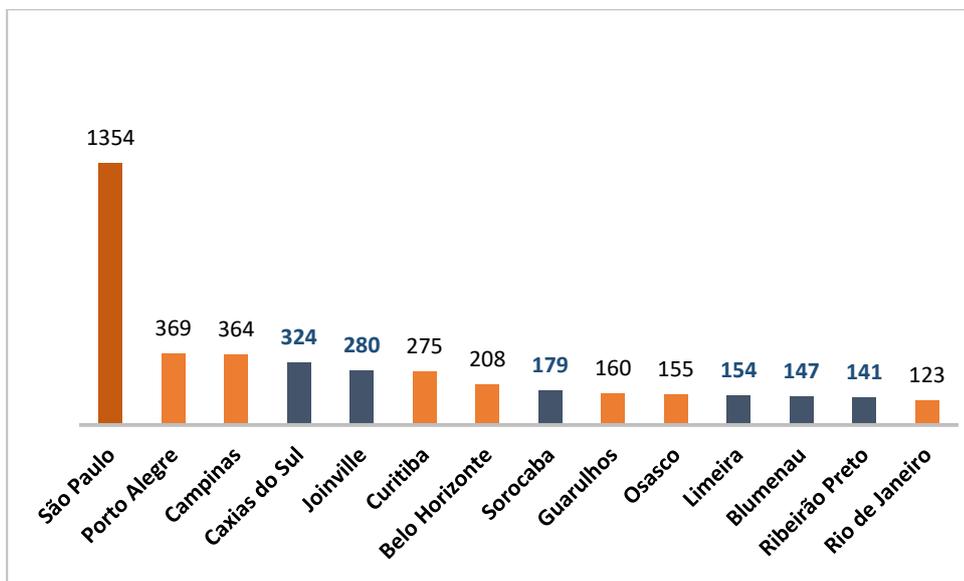


Fonte: IEL (2017, p. 58).

Deste modo, é possível afirmar que o segmento empresarial compreende que, no novo contexto da 4RI, é necessário que ocorra a transição para o uso intensivo das tecnologias digitais.

Em 2019, a consultoria *Roland Berger* elaborou o mapeamento das maiores empresas de BK estabelecidas na Capital e região metropolitana, conforme apresenta-se na figura 30.

Figura 30 - Mapeamento das maiores empresas por região



Fonte: adaptado de Roland Berger, 2019.

No total, segundo a consultoria, são 4.233 indústrias do setor de BK, sendo que a maioria delas está localizada na Região Metropolitana de São Paulo (1.354 indústrias), seguido de Porto Alegre (369 indústrias) e Campinas (364 indústrias) (*ROLAND BERGER, 2019*).

Ressalta-se que, dentre as indústrias de BK estabelecidas no país, algumas estão organizadas em clusters e impactam de forma significativa a economia regional, como é o caso de Caxias do Sul, com as indústrias Randon, Marcopolo e Agrale e Joinville com as indústrias Schulz e WEG, além das indústrias estabelecidas nas cidades de Sorocaba, Limeira, Blumenau e Ribeirão Preto (*ROLAND BERGER, 2019*). Neste sentido, é necessário que iniciativas e políticas industriais envolvam as características regionais do lado da demanda e da oferta de BK no que concerne à disponibilidade de fornecedores e força de trabalho, bem como nos processos de capacitação e aprendizado tecnológico. Além do mais, é essencial que empresas

organizadas em clusters contribuam para a difusão das tecnologias digitais em toda a economia brasileira.

### 6.3.1 O sistema BK na perspectiva de clusters tecnológicos

A introdução de sistemas ciber-físicos de interconexão, digitalização, processamento e otimização do desenvolvimento e da fabricação de produtos, com crescente utilização da inteligência artificial, constitui inovação de processo importante na atividade econômica (IEL, 2017). Representa, assim, para os fabricantes de BK, um mercado de grande potencial por permitir inovações de produtos que serão intensivos em infraestruturas de comunicação aliadas à inteligência artificial (IEL, 2017).

Tais mudanças exigem das empresas capacidade para integrar tecnologias de equipamentos e processos industriais, como robótica avançada, manufatura aditiva e tecnologias associadas, como *big data*, à cadeia produtiva em que essas tecnologias são aplicadas (IEL, 2017). Ademais, as mudanças também causam rearranjos nas estruturas produtivas que serão complexos, incertos e disruptivos, uma vez que as formas de melhor integrar departamentos e a empresa com seus clientes e fornecedores serão específicas para cada organização (IEL, 2017).

A demanda por novas competências tem impulsionado os produtores de BK a articularem redes de cooperação para o desenvolvimento conjunto, estabelecer alianças com empresas de outros setores, em especial o sistema de TICs, e tentar capturar novos ativos tecnológicos por meio de fusões, aquisições ou investimentos internacionais (IEL, 2017). Essas iniciativas são vistas como novas oportunidades e uma forma de defender as atuais posições das empresas nos mercados. Simultaneamente, geram-se oportunidades para o surgimento de novos atores (*startups*) e a entrada de novos concorrentes (IEL, 2017).

Empresas líderes da tecnologia digital, como *Google, Amazon, Microsoft, Apple* e *IBM*, possuem competências e recursos em escala suficientes para capturar novos mercados. Com tais atributos, essas empresas são potenciais parceiros e potenciais concorrentes dos fabricantes tradicionais de BK mecânicos e elétricos. A IBM, por exemplo, elegeu o agronegócio como uma área estratégica para sua operação em alguns países, como o Brasil (IEL, 2017).

Atualmente, a introdução e os impactos da produção inteligente tendem a ocorrer de forma incremental, com foco em etapas específicas da cadeia de produção. De acordo com o estudo I2027, não se tem conhecimento de arranjos empresariais interligados com fornecedores e clientes que utilizem sistemas de produção inteligente e conectada. De fato, os impactos trazidos pela produção conectada ocorrem em velocidades diferentes para os diversos segmentos da indústria de BK, conforme apontado pelo estudo I2027 os quais serão apresentados a seguir (IEL, 2017):

- a) **Segmento de máquinas agrícolas:** A estimativa é de haver um salto radical na mecanização da produção pela utilização de veículos autônomos e conectados (tratores, colheitadeiras, semeadoras etc.) e sistemas de monitoramento remoto das condições do solo e da lavoura, além do favorecimento à gestão integrada da cadeia de valor.
- b) **Segmento de máquinas-ferramenta:** deve haver aumento da precisão e da flexibilidade nos equipamentos para usos diversos, a ampliação da capacidade de virtualização da produção, inclusive do projeto e o aumento da fabricação e do uso de todos os tipos de máquinas, além da incorporação da manufatura aditiva.
- c) **Segmento de equipamentos para geração, transmissão e distribuição de energia (GTD):** é previsto que ocorra a incorporação crescente de sensores, a integração com redes (inteligentes) de energia e o desenvolvimento de soluções para fontes renováveis.
- d) **Segmento de bens elétricos seriados para uso industrial:** a incorporação crescente de atuadores e sensores conectados, a crescente eficiência no consumo de energia e o desenvolvimento de novas aplicações (motorização elétrica de veículos), são iniciativas esperadas para esse segmento.

O sistema de BK acompanha de perto as melhores práticas mundiais de produção e de gestão. As potenciais vantagens da produção integrada, inteligente e conectada necessitam ser amplamente exploradas nessas atividades, a fim de gerar demandas por soluções desse tipo. Do lado da oferta, o sistema produtivo de BK no Brasil conta com a presença de empresas globais cujas matrizes são atuantes no desenvolvimento de soluções avançadas, enquanto as de capital nacional buscam acompanhar as melhores práticas. Empresas líderes, filiais de empresas estrangeiras, ou de origem nacional, têm acesso aos recursos técnicos, empresariais e financeiros

para enfrentar os desafios do mercado, mesmo que não seja nas mesmas condições que seus concorrentes de outros países (IEL, 2017).

Porém, a despeito da percepção da importância das mudanças em curso, são relativamente poucas as empresas de menor porte efetivamente engajadas em ações concretas para adotar tecnologias de nova geração. O sistema produtivo de BK é composto por empresas de perfil muito heterogêneo, com capacidades e competências extremamente desiguais (IEL, 2017).

As empresas líderes na produção de máquinas agrícolas que atuam no país representam cases de sucesso, oferecendo aos produtores do agronegócio brasileiro, soluções integradas, conectadas e inteligentes para aumentar a produtividade agrícola e a evolução na direção da agricultura de precisão. Já os fabricantes de máquinas-ferramenta, devido às condições desfavoráveis do mercado doméstico, atualizam sua linha de produtos, acrescentando conectividade aos seus equipamentos (IEL, 2017).

A presença de empresas líderes, estrangeiras e nacionais, com estratégias de inovação agressivas e com capacitação tecnológica, garante que a oferta de BK acompanhe o deslocamento da fronteira tecnológica internacional nos sistemas mais competitivos da indústria e da economia. Contudo, existe no Brasil um grupo numeroso de empresas fabricantes de máquinas e equipamentos elétricos e mecânicos menos sofisticados para os quais acompanhar a fronteira tecnológica representa um desafio maior (IEL, 2017).

Constituem o segmento mais frágil em termos de capacidade de transitar para uma nova geração de tecnologias. A maioria encontra-se em um estágio muito incipiente de desenvolvimento de equipamentos para a nova manufatura inteligente e conectada. Esse estágio indica que a participação no processo de acompanhamento da fronteira internacional, produzindo equipamentos e soluções atualizados, será muito restrita e defasada (IEL, 2017).

A transição desse grupo de empresas para níveis mais adequados de atualização de seus produtos requer a atuação de outras empresas com ativos tecnológicos complementares, capazes de desenvolver soluções de prateleira para incorporar inteligência e conectividade aos equipamentos tradicionais ou desenvolver conjuntamente novas gerações de equipamentos (IEL, 2017).

Neste sentido, é essencial a atuação de empresas de base tecnológica, com competências complementares aos fabricantes de equipamentos e integradoras de

soluções digitais. Empresas de base tecnológica, surgidas em instituições de Ciência e Tecnologia (C&T), tem participação relevante no ecossistema gerador e difusor de inovações para acompanhar a fronteira tecnológica no setor de bens de capital e promover o aumento da produtividade e da competitividade na indústria brasileira (IEL, 2017).

A partir do exposto, é possível afirmar que os segmentos do setor de BK sofrerão impactos na transição para a implementação, uso e aplicação das tecnologias digitais. Tais impactos são graduais e estão relacionadas às seguintes tecnologias: virtualização, manufatura aditiva, sensores, integração com redes de energia e fontes renováveis e motorização elétrica de veículos (IEL, 2017).

As empresas de menor porte ainda estão incipientes e pouco engajadas em ações que visem ao uso de tecnologias digitais. Fabricantes de máquinas-ferramenta, por exemplo, tendem a implementar soluções fragmentadas (IEL, 2017). Assim, é oportuno afirmar que a transição requer a participação de empresas líderes – nacionais e estrangeiras com estratégias de inovação e capacidade tecnológica.

No limiar de estratégias para a transição rumo à manufatura avançada é necessário que se estabeleça um conjunto de ações objetivando fortalecer a indústria e aumentar a competitividade do país interna e externamente. Deste modo, o estudo realizado pela CNI teve também como objetivo elaborar o mapa da indústria visando às estratégias e ações a serem cumpridas no período de 2018 a 2022 para a competitividade da indústria nacional.

### 6.3.2 Mapa Estratégico da Indústria

O documento “Mapa Estratégico da Indústria”, apresenta tópicos que merecem atenção e serão necessários na elaboração de agenda estratégica que pretende uma economia mais produtiva, competitiva, inovadora e integrada internacionalmente, conforme apresenta-se no quadro 19, abaixo:

Quadro 19 - Tópicos e campos de atuação abordados no mapa estratégico da indústria

<b>Tópicos abordados</b>	<b>Campos de Atuação</b>
Ambiente de Negócios	Segurança Jurídica, Ambiente Macroeconômico, Eficiência do Estado, Governança e Desburocratização.
Fatores de Produção	Educação, Financiamento, Recursos Naturais e Meio Ambiente.
Ambiente de Negócios e Custos de Produção	Tributação e Relações do Trabalho.
Infraestrutura	Energia, custo de transação e logística.
Políticas Específicas para a Indústria	Política Industrial, de Inovação e de Comércio Exterior.
Ações das Próprias Empresas	Produtividade e Inovação.

Fonte: adaptado de CNI, 2018.

Os tópicos abordados buscam superar os desafios que representam barreiras para o desenvolvimento do país como a qualidade da educação e da infraestrutura, além da complexidade do sistema tributário nacional e aproveitar as oportunidades da manufatura avançada a partir de um melhor dinamismo e capacidade de inovação no país. O mapa apresenta 11 fatores-chaves para a competitividade do país que estão descritos no documento e foram desdobrados em 38 temas prioritários e 60 objetivos.

O quadro 20 apresenta uma síntese dos Fatores-Chaves para a competitividade Nacional de acordo com o mapa estratégico para a indústria.

Quadro 20 - Fatores chaves para a competitividade nacional

<b>Fatores-Chaves</b>	<b>Justificativa</b>
Produtividade e inovação nas empresas	Os ganhos de produtividade podem ser obtidos com melhoria da gestão empresarial, intensificação das atividades de inovação e maior integração com os mercados.
Política Industrial, de inovação e comércio exterior	Uma estratégia industrial bem fundamentada, integrada e coordenada é necessária para promover o desenvolvimento da indústria e do país.
Infraestrutura	A recuperação da infraestrutura pode ser acelerada com qualidade regulatória e a ampliação da participação privada nos investimentos e na prestação dos serviços.
Tributação	É necessário simplificar a legislação tributária, eliminar distorções que geram a cumulatividade e garantir o alinhamento com os padrões globais de tributação.
Relações de Trabalho	Relações de trabalho mais flexíveis produzem maior eficiência na alocação do trabalho, favorecem o investimento em qualificação e o aumento da produtividade.
Segurança Jurídica	As leis precisam ser claras, estáveis e sua aplicação inequívoca.

<b>Fatores-Chaves</b>	<b>Justificativa</b>
Financiamento	A disponibilidade e o custo dos recursos para investimento são determinantes para a competitividade.
Recursos Naturais e Meio Ambiente	Muitas possibilidades estão surgindo no universo da economia de baixo carbono. A indústria brasileira tem oportunidade de ser protagonista nessa nova economia.
Ambiente Macroeconômico	A confiança de que há equilíbrio nos gastos públicos e que a economia brasileira tem bases sólidas é essencial para os investimentos.
Eficiência do Estado	O controle dos gastos combinado com entrega de serviços públicos de qualidade será possível com um Estado mais eficiente e eficaz.

Fonte: adaptado de CNI, 2018.

Para cada um dos 60 objetivos, foi definido um indicador com metas a serem alcançadas até 2022. A ideia é que, a partir do acompanhamento sistemático dos indicadores, possa avaliar se o Brasil irá alcançar ou não as metas estabelecidas para o setor industrial.

Diante do exposto é oportuno destacar que o mapa foi elaborado levando em consideração estratégias definidas para serem cumpridas até o ano de 2022 e que ainda estão em curso, sem documentos que possam aferir a implementação e os resultados obtidos a partir dos fatores-chaves determinados no documento.

#### 6.4 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo foi possível apresentar o setor de BK, quanto à sua estrutura produtiva que envolve os bens de capital seriados e não seriados. Destacou-se a importância do setor de BK no apoio a outros setores industriais, a partir da capacidade de proporcionar mudanças tecnológicas e no desenvolvimento de máquinas para a construção de máquinas por meio de vários níveis de tecnologias, possibilitando, assim, que esse setor atenda vários setores da economia e empresas de pequeno, médio e grande porte, constituídas de capital nacional e multinacional, com plantas industriais e fornecedores desenvolvidos em todo país.

Quanto ao número de empresas ativas no setor, foi possível afirmar que boa parte das empresas do setor de BK estão localizadas nas regiões Sudeste e Sul do país. Dentre as 10 maiores empresas de BK, considerando como parâmetro para análise os resultados da receita líquida, seis possuem controle acionário brasileiro. Como estratégia nacional, é importante que o país avance no desafio de saber

trabalhar com essas empresas e com as subsidiárias locais que possuem centros de decisão fora do Brasil (COSTA; ROCHA; GALA, 2021).

## 7 ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS DADOS

Neste capítulo, pretende-se responder ao objetivo 2 “descrever e analisar os indicadores observados nas políticas nacionais dos países investigados, por meio de uma matriz de síntese, traçando aproximações e distanciamentos ao relacionar oportunidades e barreiras para estruturação de um modelo de agenda estratégica no setor de BK adequado ao contexto brasileiro”.

É importante ressaltar que, neste capítulo, a proposta é de trazer todos os elementos encontrados na análise documental realizada para os quatro países - capítulo 4 – e na análise documental das múltiplas iniciativas do Brasil – capítulo 5 –, dialogando com a revisão da literatura.

Para tanto, no capítulo serão apresentadas as categorias selecionadas para a análise das proximidades e distanciamentos do Brasil com relação: aos objetivos apresentados pelos países analisados: Alemanha, China, EUA e Japão; às tecnologias presentes nas iniciativas dos 4 países e nas iniciativas do Brasil; aos incentivos para a trajetória da manufatura avançada; à existência de planos piloto para a manufatura avançada; à qualificação profissional; as fontes de financiamento para a manufatura avançada; à participação de atores nas iniciativas da manufatura avançada e os setores de atividades selecionados nas iniciativas para a manufatura avançada.

Na sequência, serão apresentadas as oportunidades e barreiras dos países analisados comparando com as oportunidades e barreiras do Brasil. E, por fim apresenta-se a proposta de agenda estratégica adequada à configuração de uma política tecnológica estruturante para o setor de bens de capital no Brasil.

### 7.1 Objetivos apresentados nas iniciativas para a manufatura avançada

A categoria “objetivos” disposta na matriz de síntese (Anexo A), possibilitou verificar quais são os objetivos elaborados para cada país para a manufatura avançada e apresentá-los nas figuras “Pilares para a Manufatura Avançada” de cada país analisado.

Com base nessas informações e no intuito de se verificar quais objetivos descritos nos esforços do Brasil estão próximos ou distantes dos 4 países analisados, foi elaborado quadro que apresenta os objetivos de todas as iniciativas e esforços

para a manufatura avançada e quais desses objetivos são comuns e diferentes aos 5 países analisados, que estão destacados na cor azul, conforme apresenta-se no quadro 21.

Quadro 21 - Objetivos das iniciativas para a manufatura avançada

Objetivos	Brasil	Alemanha	China	EUA	Japão
Competitividade					
Pesquisa e Desenvolvimento					
Inovação					
Qualificação Profissional					
Difusão da Indústria 4.0					
Novos Modelos de Negócios					
Digitalização da Produção					
Produção de tecnologias para o setor de máquinas e equipamentos					
Normas e padronização					
Parcerias					
Desenvolver setor produtivo de máquinas e equipamentos industriais					
Clusters Industriais					
Modernizar setor produtivo					
Aumentar a qualidade dos produtos					
Independência Tecnológica					
Desenvolvimento verde					
Criação de rede de inovação industrial					
Uso de dados					

Fonte: elaboração própria.

A partir do quadro 21, é possível observar que o Brasil aproxima-se da Alemanha, China, EUA e Japão, nos objetivos relacionados à competitividade, pesquisa e desenvolvimento, inovação, qualificação profissional, difusão da indústria 4.0 e normas e padronização.

Contudo, conforme apresentado na justificativa desta tese, os índices de competitividade para o Brasil estão distantes da Alemanha, China, EUA e Japão. O país ocupou, em 2019, o 71º lugar no índice de Competitividade Global 4.0, e o 17º lugar no relatório de Competitividade Brasil (CNI, 2020).

Neste sentido, para que o país avance nas estratégias elaboradas e alcance patamares próximos aos países analisados, é necessário que aproveite as janelas de oportunidades que envolvem uma estrutura de sistema setorial composta por três

dimensões: a primeira refere-se às mudanças relacionadas ao conhecimento e à tecnologia; a segunda refere-se às mudanças na demanda; e a terceira diz respeito a mudanças nas instituições e na política pública (LEE; MALERBA, 2017).

O objetivo relacionado aos novos modelos de negócios é comum ao Brasil e Japão e o objetivo digitalização da produção é comum ao Brasil, EUA e Japão. Porém, os seguintes objetivos distanciam-se dos objetivos descritos nas iniciativas do Brasil: produção de tecnologias para o setor de máquinas e equipamentos, parcerias, desenvolver setor produtivo de máquinas e equipamentos, clusters industriais, aumentar a qualidade dos produtos, independência tecnológica, desenvolvimento verde, criação de rede de inovação industrial e uso de dados.

O distanciamento do país em iniciativas que contemplem o desenvolvimento do setor de máquinas e equipamentos indica que existe a ausência de infraestrutura tecnológica e fragilidade institucional, dificultando o ingresso em novas indústrias e inviabilizando uma trajetória de desenvolvimento próspera e o *catching-up* “com os líderes” (PEREZ; SOETE, 1988, p. 476).

O desenvolvimento de clusters industriais estão dentre os objetivos da China para a manufatura avançada. No Brasil, embora esse objetivo não faça parte dos esforços apresentados, verificam-se clusters organizados nas regiões Sul e Sudeste do país (ROLAND BERGER, 2019) representando uma oportunidade para a formulação de políticas industriais e tecnológicas, além da difusão das tecnologias digitais em toda a economia brasileira.

O distanciamento em iniciativas que preveem o desenvolvimento verde no contexto da 4RI é um risco para o Brasil, haja vista que, a partir da implementação e aplicação das tecnologias digitais, ocorre a convergência com a agenda de sustentabilidade ambiental, contribuindo para a modernização das cadeias produtivas, a redução do uso de transportes e uma trajetória sustentável de desenvolvimento industrial e a economia verde (CAGNIN, 2021).

No que concerne à criação de uma rede de inovação industrial, os laboratórios de inovação e demonstração de tecnologias da indústria 4.0 são práticas adotadas por países como EUA com focos específicos e integração entre os atores e os institutos de inovação da Alemanha com a integração entre os atores (NSTC, 2016; IEDI, 2017).

No Brasil encontram-se algumas iniciativas de universidades públicas que são importantes e merecem destaque: A UNICAMP possui Parque Científico e Tecnológico, com laboratórios de inovação, incubadora de empresas de base

tecnológica, ambientes para projetos temporários de inovação e ambientes para pré-incubação de empresas inovadoras nascentes (UNICAMP, 2020).

A UFABC tem parceria com o Parque Tecnológico de Santo André, no espaço *Smart Testbed* UFABC, que oferece um ambiente propício ao desenvolvimento de testes de conceitos e prototipagem nos moldes da indústria 4.0 e capacitação profissional (UFABC, 2021).

Diante do exposto, são poucos os exemplos de empresas que possuem atividades de P&D além da cooperação com universidades e institutos de pesquisa (VERMULM, 2018). Deste modo, é necessário que no Brasil sejam criados institutos de pesquisa com pessoas capacitadas, com focos específicos e orçamentos públicos necessários para a realização de todas as atividades para que se tenha uma visão diferente de Vermulm (2018). As instituições de pesquisa geralmente não possuem focos delimitados, em virtude da instabilidade orçamentária em que realizam as suas atividades (VERMULM, 2018).

## 7.2 Tecnologias habilitadoras da manufatura avançada

Para se analisar as proximidades e distanciamentos das principais tecnologias habilitadoras da manufatura avançada, a partir da matriz de síntese, foi elaborado quadro com os cinco países e com a contagem de quantas vezes essas tecnologias foram destacadas nas iniciativas de cada país, conforme apresenta-se no quadro 26. O gráfico de radar foi elaborado para se observar as proximidades e distanciamentos dos países com relação às tecnologias e aos pilares construídos para cada país. A partir da matriz de síntese foi elaborado o quadro 22 com as tecnologias essenciais para implementação da manufatura avançada (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

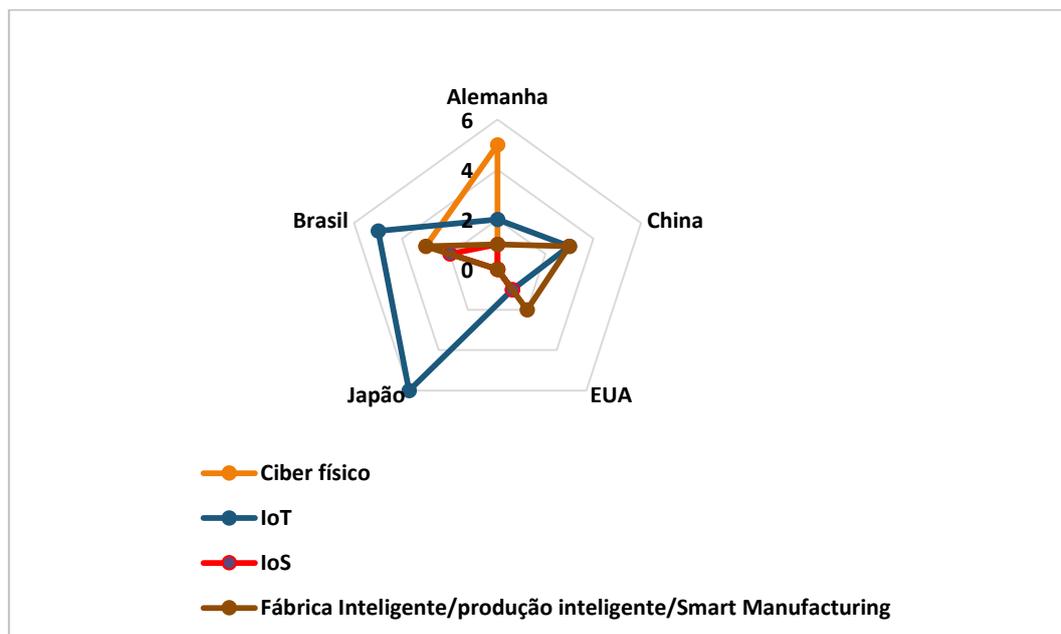
Quadro 22 - Análise das principais tecnologias habilitadoras da manufatura avançada

<b>Tecnologias</b>	<b>Alemanha</b>	<b>China</b>	<b>EUA</b>	<b>Japão</b>	<b>Brasil</b>
Ciber físico	10	0	0	0	3
IoT	2	3	1	6	36
IoS	1	0	1	0	2
Fábrica Inteligente/produção inteligente/Smart Manufacturing	1	1	2	0	3

Fonte: elaboração própria a partir dos dados da matriz de síntese.

A partir do quadro 22, apresenta-se, a seguir, gráfico de radar com as proximidades e distanciamentos do Brasil para as principais tecnologias habilitadoras da manufatura avançada. O gráfico de radar apresenta eixos no intervalo de zero a seis. Quanto mais próximo de zero maior é o distanciamento do Brasil com relação ao conjunto de tecnologias consideradas na figura 31.

Figura 31 - Tecnologias habilitadoras da manufatura avançada



Fonte: elaboração própria.

Em análise, observa-se que o Brasil está próximo dos 4 países para a tecnologia de *IoT*, seguida da tecnologia fábrica inteligente, sistemas ciber-físico e sistema *IoS*. De acordo com Salerno (2018), no Brasil as atividades de *IoT* avançam, mas é necessário que se desenvolva a tecnologia no país. Para isso é imprescindível que se realizem pesquisas, ocorram investimentos e exista força de trabalho com habilidades para o desenvolvimento dessa tecnologia, sendo esses fatores essenciais para que o país avance no uso e aplicação de tecnologias digitais.

No setor fabril, a *IIoT*, quando implementada, apresenta benefícios relacionados à competitividade, criação de valor, aumento das receitas com vendas, de investimentos em P&D e com ativos tangíveis que envolvem a área de Engenharia, além da redução de custos diretos, custos de operações e pessoais (KEIL *et al.*, 2017).

Para que isso ocorra, desafios devem ser explorados: a) a busca de um método para configurar as categorias de redes; b) um software que capture, analise e utilize

todas as informações objetivas (WANG *et al.*, 2016), integração técnica, mudança organizacional, cooperação entre empresas e a adaptação dos fabricantes diante das mudanças estabelecidas pela nova tecnologia digital (KEIL *et al.*, 2017).

As Fábricas Inteligentes integram as unidades produtivas e suas respectivas cadeias com crescente utilização de inteligência artificial (DIEDERIK *et al.*, 2014) e se constituem em uma característica fundamental da Indústria 4.0 (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Sistemas ciber-físicos (CPS) são a base para o processo de fusão do mundo físico com o mundo virtual, integram máquinas e controlam processos (LEE, 2008, p. 363). A implementação dessa tecnologia contribui para a implementação de fábricas inteligentes, formação das Cidades Inteligentes, Rede Elétrica Inteligente, Edifícios Inteligentes e Casas Inteligentes (JIRKOVSKÝ; OBITKO; MARIK, 2016).

A tecnologia IoS é voltada para a prestação de serviços contribuindo para a comunicação e negociação entre compradores e vendedores (BUXMANN; HESS; RUGGABER, 2009). Deste modo, essa tecnologia, embora seja importante no contexto da 4RI, a sua implementação na indústria e no setor de BK possui um nível de significância e importância um pouco menor.

Uma segunda análise foi realizada a partir do conjunto de tecnologias apresentadas nas diferentes iniciativas dos países analisados, para se verificar proximidades e distanciamentos do Brasil frente a esse conjunto de tecnologias. Para tanto, as tecnologias foram organizadas em planilha do Excel, e para cada país ocorreu a contagem de quantas vezes os países destacaram essas tecnologias, conforme apresenta-se no quadro 23.

Quadro 23 - Tecnologias priorizadas por cada país para a manufatura avançada

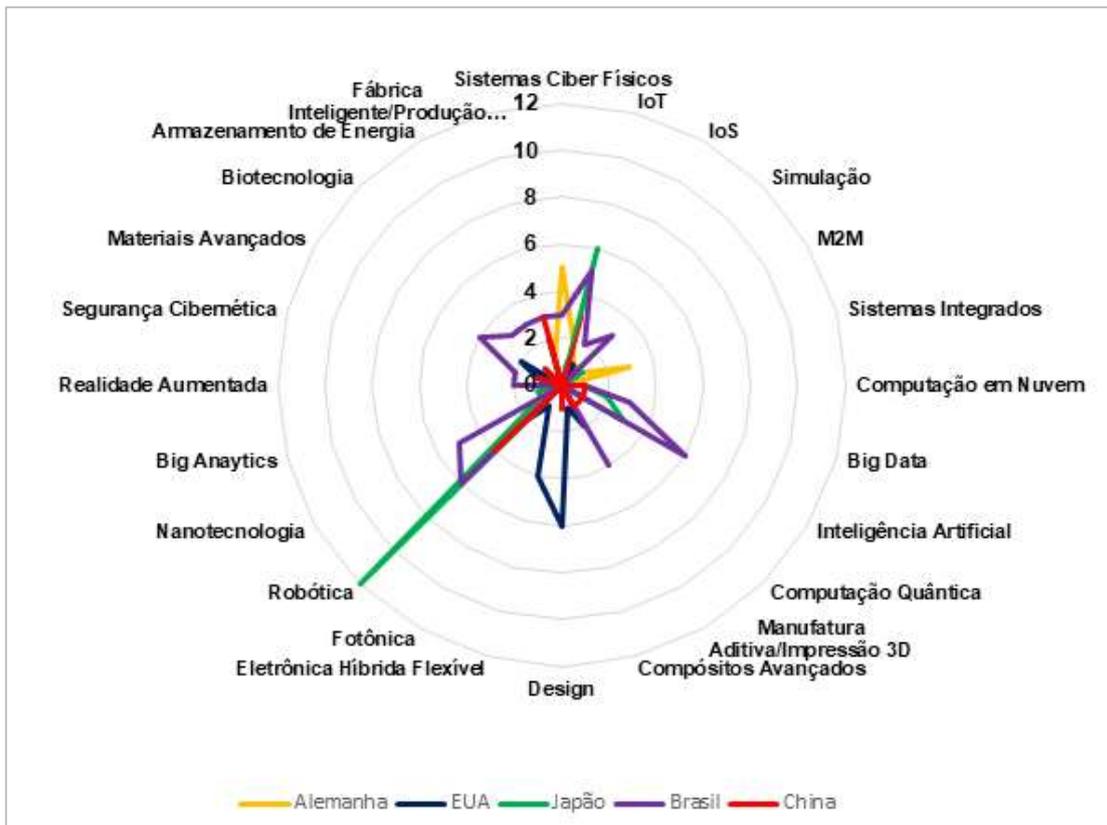
Tecnologias	Alemanha	China	EUA	Japão	Brasil
Sistemas Ciber-Físicos	5	0	0	0	3
IoT	2	3	1	6	5
IoS	1	0	1	0	2
Simulação	1	0	0	0	3
M2M	1	0	0	1	0
Sistemas Integrados	3	0	0	0	0
Computação em Nuvem	0	1	0	1	1
Big Data	0	1	0	2	3
Inteligência Artificial	1	1	1	3	6
Computação Quântica	0	1	0	0	0
Manufatura Aditiva/Impressão 3D	0	1	2	0	4
Compósitos Avançados	0	0	1	0	0
Design	1	1	6	0	0
Eletrônica Híbrida Flexível	0	0	4	0	0
Fotônica	0	0	1	0	0
Robótica	0	4	2	12	6
Nanotecnologia	1	0	0	1	5
Big Analytics	0	0	0	1	0
Realidade Aumentada	0	0	0	0	2
Segurança Cibernética	0	1	1	1	2
Materiais Avançados	0	0	2	0	4
Biotecnologia	0	1	0	1	3
Armazenamento de Energia	0	0	0	0	3
Fábrica Inteligente/Produção Inteligente/Smart Manufacturing	1	3	2	0	3

Fonte: elaboração própria.

A partir do quadro acima, foi elaborado gráfico de radar – figura 32 que apresenta as proximidades e os distanciamentos do Brasil em relação às tecnologias priorizadas nas iniciativas dos 4 países e nas iniciativas do Brasil.

O gráfico de radar apresenta eixos no intervalo de zero a doze. Quanto mais próximo de zero maior é o distanciamento do Brasil com relação ao conjunto de tecnologias consideradas na figura 32.

Figura 32 - Tecnologias da manufatura avançada - proximidades e distanciamentos



Fonte: elaboração própria.

Em análise, verifica-se que o Brasil se aproxima dos países nas tecnologias de Inteligência Artificial, Robótica, IoT, Nanotecnologia, Manufatura Aditiva e Materiais Avançados.

A inteligência artificial é considerada por Lee *et al.* (2018) como uma disciplina sistemática, que se concentra no desenvolvimento, validação e implantação de vários algoritmos de aprendizado de máquina para aplicações industriais com desempenho sustentável, sendo os seus elementos chaves: tecnologia analítica; Big Data e computação em nuvem (LEE *et al.*, 2018).

A robótica e a sua integração com a manufatura são mais simples e é menos sofisticada no Brasil, pois uma estrutura automatizada requer custos/investimentos (SALERNO, 2018).

A Manufatura aditiva oferece vantagens de construção, como designs complexos e leves e são amplamente utilizados para produzir pequenos lotes de produtos personalizados (LASI *et al.*, 2014).

A nanotecnologia é aplicada em sistemas produtivos de nano medicina, nano cosméticos, nano eletrônica, novos materiais para computação; vestuário e dispositivos flexíveis e vestíveis; sensoriamento para IoT; energia como tecnologia auxiliar; e alimentos como tecnologia habilitadora para garantir a segurança alimentar (IEL, 2017).

Materiais avançados são necessários na produção de embalagens inteligentes e materiais para impressão de circuitos eletrônicos e manufatura digital (OCDE, 2015; IEL, 2017).

A figura 32 apresenta um distanciamento do Brasil no intervalo em torno de 3,0 das tecnologias de Armazenamento de energia (AE), Big Data, Biotecnologia, Simulação e sistemas ciber-físicos (já discutida no item 7.1.1).

As inovações na área de AE, sobretudo as que envolvem baterias são objetos para as inovações de: a) *IoT* como os dispositivos conectados portáteis e os *drones*; b) sistemas em redes como o fornecimento de energia para grandes servidores; c) fornece energia para sistemas produtivos independentes. De acordo com o estudo Indústria 2027, essa tecnologia terá impacto potencialmente disruptivo no setor de BK (IEL, 2017).

As tecnologias de *Big Analytics* e *Big Data* possuem uma arquitetura capaz de extrair um grande volume de dados, inseridos nos sistemas CPS e outros equipamentos conectados no sistema produtivo, contribuindo com organizações no alcance do valor econômico com essa descoberta, captura e análise de dados (GHOBAKHLOO, 2018).

Diante do exposto, afirma-se que as tecnologias de Big Data, CPs e IoT, são tecnologias integradas e essenciais nos processos de aplicação da tecnologia de Big Analytics (TAMÁS; IILÉS, 2016).

A Biotecnologia contribui para o desenvolvimento de atividades para sequenciamento genético, combinação de edição de impressora 3D, Biologia sintética a partir da manipulação do DNA, ciências ligadas ao cérebro, e as inovações que contribuem para cuidados à saúde, produção de alimentos, criação de próteses e interações de ondas cerebrais com objetos externos ao corpo humano (PIRES, 2018).

Kocian *et al.* (2012) asseveram que técnicas de simulação e modelagem visam simplificar e favorecer economicamente as ações de projetar, realizar, testar e executar uma operação de sistemas de manufatura.

Acrescem Rübmann *et al.* (2015) que nas fábricas inteligentes, simulação e modelagem são necessárias para alavancar dados em tempo real, no intuito de espelhar o mundo físico em um modelo virtual e envolve máquinas, produtos e humanos.

Por fim, a figura apresenta no intervalo de 2,0 a 0 um distanciamento para as tecnologias de Segurança Cibernética, M2M, Design, IoS (já discutida no item 7.1.1.), Realidade Aumentada, Big analytics e computação em nuvem.

De acordo com Schluga *et al.* (2018), empresas devem se proteger de ataques cibernéticos, que levam a riscos na segurança das operações como: a) redução da vulnerabilidade operacional; b) proteção dos recursos ativos da computação e da informação; c) desequilíbrio quanto à facilidade da utilização, controle do sistema e relevância dos dados nos negócios; d) cumprimento das leis e todos os aspectos organizacionais.

Para Hermann, Pentek e Otto (2016), a tecnologia M2M - comunicação máquina a máquina não é um componente principal da indústria 4.0, pois opera como um facilitador da tecnologia de *IoT*. Contudo, para o que se propõe esta tese, a tecnologia M2M também será considerada, tendo em vista que a sua implementação contribui para a integração da tecnologia de *IoT*.

O *design* integrado à orientação estratégica traz benefícios à produção, conforme pesquisa de Gerlitz (2016) em uma empresa de porte médio alemã. A partir do uso da ferramenta, o autor afirmou que a empresa apresentou um bom desempenho e que a utilização dessa ferramenta deve ser considerada como um processo de inovação dentro das premissas da indústria 4.0 (GERLITZ, 2016).

A tecnologia de Realidade aumentada permite que os sistemas atendam a inúmeros serviços, como selecionar peças em um armazém e enviar instruções de reparo sobre dispositivos móveis. Esses sistemas estão atualmente em desenvolvimento, porém, no futuro, as empresas farão o uso intensivo dessa tecnologia (RÜßMANN *et al.*, 2015).

Na indústria 4.0, o conceito atribuído à tecnologia de computação em nuvem é também tratado como manufatura em nuvem ou fabricação em nuvem. No ambiente fabril, a tecnologia é utilizada para o design e fabricação de produtos gerando benefícios como: acesso remoto; eficiência em custo; armazenamento seguro que comporta alto volume de dados com custos reduzidos e flexibilidade. Devido a sua

estrutura e integração são os pilares principais para a sustentação das tecnologias - CPS, IoT e IIoT (WU; TERPENNY; SCHAEFER, 2017).

Deste modo, a partir da análise, argumentamos que as tecnologias acima discutidas são inovações radicais e irão mudar significativamente o modo de se produzir e desenvolver atividades nos diversos setores de atividade econômica (TIGRE, 2006).

Corroborando com essa argumentação o estudo indústria 2027, que aponta para as tecnologias de materiais avançados, nanotecnologia, inteligência artificial, internet das coisas e fábrica inteligente um impacto potencialmente disruptivo no horizonte de cinco a dez anos (IEL, 2017).

Quanto às tecnologias de Segurança Cibernética, M2M, Design, IoS, Realidade Aumentada, Big analytics e computação em nuvem, em virtude de apresentarem um maior distanciamento na análise é oportuno que sejam melhor aproveitadas nas iniciativas, pois também são tecnologias digitais que contribuem para o desenvolvimento industrial, sobretudo no setor de BK.

Dois pontos são necessários: a primeira é que a figura foi elaborada a partir da análise feita pelos documentos de cada país. No Brasil foram analisadas 9 iniciativas que envolvem a manufatura avançada. Deste modo, os elementos repetem-se em cada iniciativa fazendo com que, para algumas tecnologias, o Brasil se apresente como protagonista.

A segunda pontuação refere-se à priorização dada pelos países no conjunto de tecnologias selecionadas nos documentos analisados, indicando que essas decisões estão relacionadas às trajetórias tecnológicas e às oportunidades criadas a partir de um processo cumulativo e específico às firmas (*path dependence*), tendo em vista que as decisões presentes estão fortemente condicionadas às decisões tecnológicas do passado (DOSI, 1982). Ou ainda, pelo grau de maturidade da economia, a cultura de inovação e oportunidades para investir-se nas novas tecnologias digitais (ŚLUSARCZYK, 2018). Ambas as afirmações aproximam-se das estratégias criadas pela Alemanha, China e Japão que antecedem a 4RI, conforme foi constatado na análise documental desses países.

É oportuno lembrar que, no contexto da 4RI, a transferência de uma tecnologia não abrange apenas a gestão da aquisição, instalação e utilização da tecnologia adquirida (FIGUEIREDO, 2005). A implementação envolve também procedimentos de aprendizagem que abarcam o uso na prática, pois aplicabilidade é fundamental.

Para tanto, em todos os setores de atividade econômica e sobretudo no setor de BK é importante que a aprendizagem desenvolvida seja capaz de apresentar detalhes entre os produtos e possibilite o transbordamento para empresas.

Caso isso não ocorra, o “aprender” será útil somente para reforçar padrões de produção já existentes. Esses padrões não incluiriam a introdução de novos bens e a descontinuação dos antigos (STOKEY, 1988).

No contexto de processos de inovação e das mudanças preconizadas pela 4RI, esse aprendizado deve levar em consideração a introdução de novos bens e a descontinuação dos antigos, por se tratar de mudanças radicais/inovações disruptivas (TIGRE, 2006).

Estrategicamente, o aprendizado torna-se um meio para que empresas do setor de BK e de outros setores da atividade econômica possam transitar pela manufatura avançada.

E, nesse sentido, a revisão da literatura propõe algumas formas para que esse aprendizado seja adquirido: experiências vividas internamente nas empresas, no desenvolvimento de atividades produtivas e rotineiras, pelo aprendizado adquirido no uso de novas tecnologias, insumos e máquinas, nos avanços das pesquisas aplicadas na ciência e na tecnologia (ARROW, 1962; VON HIPPEL, 1986; LUNDVALL, 1986; MALERBA, 1992; DYER, 1996; CASSIOLATO, 2004; SONG, ALMEIDA, WU, 2003; DALUM *et al.*, 2010).

Contribuições do ambiente externo também são apresentadas como forma de desenvolver o aprendizado a exemplo dos efeitos de *spillovers*, criados a partir do que outras indústrias estão fazendo, pelos conhecimentos adquiridos de clientes, fornecedores de bens de capital e pelo setor industrial (ARROW, 1962; VON HIPPEL, 1986; LUNDVALL, 1986; MALERBA, 1992; DYER, 1996; CASSIOLATO, 2004; SONG, ALMEIDA, WU, 2003; DALUM *et al.*, 2010).

A apropriação do conhecimento, a partir da reprodução de inovações desenvolvidas/introduzidas por outras empresas - de forma autônoma e não cooperativa, como ocorre em empresas norte-americanas e a captura de força de trabalho especializada que incutiu o aprendizado adquirido em outras empresas, também são formas para a aquisição do aprendizado necessário à trajetória da manufatura avançada (ARROW, 1962; VON HIPPEL, 1986; LUNDVALL, 1986; MALERBA, 1992; DYER, 1996; CASSIOLATO, 2004; SONG, ALMEIDA, WU, 2003; DALUM *et al.*, 2010).

Posto isto, empresas devem desenvolver o conjunto de recursos necessários para a geração, utilização e gestão de tecnologias com determinado nível de eficiência - capacidade tecnológica necessária para a trajetória rumo à manufatura avançada (BELL; PAVITT, 1995).

As estratégias para o desenvolvimento de capacidades tecnológicas podem ser elaboradas levando em consideração o serviço de consultorias, benchmarking, suporte para transferir tecnologias, análise de projetos, ambientes de *testbeds*, acesso ocasional de equipamentos especializados, experiências e aprendizagem e treinamento (DODGSON; BESSANT, 1996).

Além das estratégias acima sugeridas, é oportuno afirmar que a elaboração de plano estratégico com peças orçamentárias que determinem quais serão os recursos necessários para a produção, gestão, investimentos em novos equipamentos, tecnologias habilitadoras e ofertas de financiamentos, são essenciais para que empresas de todos os setores de atividade econômica, ingressem de forma sustentável na 4RI.

Em todos os setores de atividade econômica, e em especial no setor de BK, objeto de estudo nesta tese, o desenvolvimento de capacidade tecnológica, deve incluir as quatro dimensões sugeridas por Figueiredo (2003): 1) Sistema Físico que é a parte técnica da tecnologia, como os equipamentos; os *softwares*; e as bases de dados; 2) capital humano – força de trabalho constituída dos conhecimentos; habilidades; experiências e 3) sistema organizacional, envolvendo todo conhecimento já incorporado nas rotinas (o modo de desempenhar as atividades na empresa), 4) os procedimentos organizacionais que conduzem a empresa na realização de atividades, produtos e serviços (FIGUEIREDO, 2003).

Na esteira que envolve o sistema físico, é necessária a integração vertical e horizontal que estão no centro da indústria 4.0, sendo a primeira responsável pela integração dos vários sistemas inteligentes em diferentes níveis hierárquicos: 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 (LIU; XU, 2017), e a segunda confere aos CPPs capacidades de cooperação autônoma em virtude dos *Cyber Twins* comunicarem-se através de interfaces M2M, monitorando e controlando uns aos outros com base em algoritmos específicos e com os dados obtidos do mundo físico (LIU; XU, 2017).

Destaca-se que os fatores acima relacionados são inerentes às estratégias que envolvem o ambiente interno da empresa. No ambiente externo, o Governo Federal deve atuar como a única agência responsável pela conexão geral desse sistema, além de prover a harmonia do sistema social como um todo, por meio de políticas governamentais (macroeconômica, industrial e tecnológica), a interação com infraestruturas tecnológicas (por exemplo, universidades e institutos de pesquisa) além das condições de mercado (LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1995; KIM, 1997; FIGUEIREDO, 2001).

Neste sentido, as dimensões para aquisição do aprendizado, apresentadas por Dalum, Johnson e Lundvall (2010) que envolvem atores dos setores público e privado, são necessárias no contexto da manufatura avançada e devem ser consideradas para o setor industrial e para o setor de BK, a saber: elaboração de políticas públicas nas instituições educacionais e no sistema de treinamento; estimular e ofertar incentivos para o treinamento que conduzam o desempenho de atividades em grupo; promover ambientes onde circulem diferentes tipos de conhecimentos, habilidades, competências e experiências vivenciadas; desenvolver e implementar políticas públicas de acesso à informação que incluam a privacidade e segurança dos dados; implantar sistema de inovação flexível no intuito de atualizar as rotinas organizacionais para a trajetória à manufatura avançada; criar mecanismos para a recolocação de força de trabalho; e acompanhar os avanços tecnológicos por meio de avaliação constante.

### 7.3 Incentivos para a trajetória da manufatura avançada

Os incentivos concedidos para iniciativas da manufatura avançada são diferentes para cada país analisado, conforme apresenta-se no quadro 24.

Quadro 24 - Incentivos

<b>País</b>	<b>Incentivos</b>
Alemanha	Recursos públicos destinados a empresas e institutos de pesquisa.
China	Criação de startups, empréstimos e incentivos para estimular P&D.
EUA	Investimentos públicos: compra de bens industriais, para P&D e desenvolvimento de tecnologias.
Japão	Investimentos públicos para P&D em IA, geração de dados e criação de startups.
Brasil	Criação de startups e testbeds, inovação, apoio às PMEs e linhas de crédito para difusão tecnológica.

Fonte: elaboração própria.

Na Alemanha, os incentivos são destinados a empresas e institutos de pesquisa e inovação. Na China, os incentivos estimulam a criação de startups e P&D além de empréstimos concedidos às empresas. Nos EUA, os incentivos são destinados à compra de bens industriais para o desenvolvimento de P&D e de tecnologias digitais. No Japão, os incentivos são para o desenvolvimento de P&D na área de Inteligência Artificial, para a geração de dados e a criação de startups.

No Brasil, os incentivos são para a criação de startups, desenvolvimento de testbeds, inovação, apoio às PMEs, linhas de crédito para apoiar a difusão tecnológica. Porém, os incentivos voltados à inovação são mínimos quando comparados a países como EUA e China.

No que se refere às startups, no Brasil ainda não existe uma iniciativa nacional voltada exclusivamente para esse nicho de mercado. Neste sentido, a criação de fundos específicos da FINEP e do BNDES e a constituição de um fundo de investimento fechado com recursos da Lei da Informática para atender às startups, além da mobilização de recursos da subvenção econômica do FNDCT e do Fundo Tecnológico (Funtec/BNDES) para empresas que estão iniciando os seus empreendimentos de base tecnológica com foco nas tecnologias da indústria 4.0, são essenciais para a inserção desse nicho de mercado no contexto da 4RI (VERMULM, 2018).

#### 7.4 A existência de planos piloto para a manufatura avançada

Plano piloto é essencial para que tecnologias sejam testadas quanto à sua eficiência e eficácia e para as integrações necessárias no contexto da manufatura avançada. Conforme análise documental, foi possível verificar que a Alemanha, China e EUA apresentam plataformas de testes. No Japão não foi possível analisar se existem plataformas de testes para as tecnologias digitais. No Brasil, a agenda indústria 4.0 e a plataforma Câmara Brasileira da Indústria 4.0 incluíram essa ação nas iniciativas e estratégias apresentadas nos documentos. Contudo, com relação à agenda indústria 4.0, uma iniciativa de responsabilidade da ABDI, que orçou em 2020, o investimento de R\$ 5 milhões para a compra de testbeds (FERREIRA, 2019), ainda está em fase de execução (AMORIM, 2020) e para a Câmara Brasileira da Indústria 4.0 ainda não foram publicadas informações que confirmem o cumprimento dessa ação.

#### 7.5 Qualificação profissional

Iniciativas para o desenvolvimento do capital humano dentro dos preceitos da 4RI são essenciais para que países consigam transitar no novo contexto da manufatura avançada. Neste sentido, a qualificação profissional faz parte das iniciativas dos países pesquisados de várias formas, conforme quadro 25.

Quadro 25 - Presença de iniciativas de qualificação

<b>País</b>	<b>Características das iniciativas</b>
Alemanha	Treinamento e desenvolvimento profissional contínuo que envolve parcerias entre o setor industrial, setor privado, universidade institutos de pesquisa e Sindicatos.
China	Aprendizado técnico, criação de talentos e captura de talentos estrangeiros.
EUA	Aprendizado especializado, articulação entre universidades e empresas, associações sindicais.
Japão	Especialização em robótica, cursos na área de sistemas e pesquisas em institutos e universidades.
Brasil	Capacitação, requalificação e formação educacional.

Fonte: elaboração própria.

A partir do quadro 25, observa-se que as iniciativas criadas nos países analisados referem-se ao treinamento e ao desenvolvimento profissional contínuo; aprendizado técnico; criação de talentos a partir da formação educacional; aprendizado especializado; formação especializada na área de robótica; cursos na área de sistemas e pesquisas em institutos de pesquisa e universidades.

No Brasil, são previstas ações para a requalificação da força de trabalho, formação educacional que sejam compatíveis com as exigências do mercado de trabalho dentro dos preceitos da manufatura avançada; estímulo ao intercâmbio de conhecimentos e habilidades profissionais; fomento para a inclusão de linhas de apoio à integração de professores e alunos em atividades empresariais.

O SENAI dispõe de cursos para o desenvolvimento de competências para a indústria 4.0 e o Programa Novos Caminhos tem como objetivo, elevar em 80% o total de matrículas em cursos técnicos e de qualificação profissional no período de 2020 a 2023. Ressalte-se a importância da formação em STEM (*science, technology, engineering and mathematics*) que, segundo a OCDE (2020), no Brasil necessita-se de políticas que incentivem essa formação educacional.

No que concerne ao transbordamento do conhecimento a partir da academia, as Universidades pesquisadas, UFRGS, UNICAMP, USP, Escola Politécnica da USP, e UFABC, que são públicas, e a FEI e o Instituto Mauá, que são privados, possuem laboratórios de pesquisas para a indústria 4.0 e cursos de especialização, mestrado e doutorado. Além das plataformas *Tecnomatix*, no caso da FEI e da *Symnetics*, do Instituto Mauá.

## 7.6 Fontes de financiamento para a manufatura avançada

As fontes de financiamento são de origem pública e privada na Alemanha, China e EUA. No Japão e no Brasil as fontes são somente de origem pública.

Embora no Brasil sejam apresentadas nas iniciativas fontes de financiamento, o plano Internet das Coisas não dispõe de mecanismos claros quanto aos financiamentos e, em boa parte, conta com a disponibilidade de atores para o dispêndio de recursos necessários para novas áreas (OCDE, 2020). A iniciativa E-Digital foi elaborado sem levar em consideração a lei orçamentária que dispõe de verbas para a execução das ações contidas na iniciativa.

A Agenda indústria 4.0 apresenta linhas de crédito para a modernização das plantas produtivas, produção de máquinas ou sistemas e previsão de parcerias com bancos públicos e privados e agências de fomento, de financiamentos acessíveis a diferentes empresas e necessidades, mas essas medidas ainda estão em fase de execução, devido ao atraso na execução das ações estabelecidas e prazos não cumpridos (AMORIM, 2020).

O BNDES dispõe de oportunidades financeiras para projetos, aquisição de novas máquinas e equipamentos, exportações de maquinário, serviços e equipamentos brasileiros e aquisição de bens e insumos de produção, financiamento de serviços tecnológicos relacionados à otimização da produção, viabilização de projetos de manufatura avançada, implantação de soluções de cidades inteligentes e outros similares (BNDES, 2021).

A FINEP oferece linha de crédito para a inovação, que é destinada ao apoio da difusão tecnológica no âmbito da inovação e disponibilizado para todos os estágios da inovação (do estágio “crítico” à difusão), com diferentes condições e taxas de juros, de acordo com o estágio do desenvolvimento tecnológico (FINEP, 2021).

## 7.7 Participação de atores nas iniciativas da manufatura avançada

O quadro 26 apresenta os atores que participam das iniciativas para a manufatura avançada nos países analisados e no Brasil.

Quadro 26 - Atores

<b>País</b>	<b>Atores</b>
Alemanha	Governo federal, meio empresarial, institutos de pesquisa e consórcio de atores das áreas científica e industrial e sindicatos.
China	Governo federal e institutos de pesquisa.
EUA	Governo federal, indústria, academia e institutos de pesquisa.
Japão	Governo federal, academia, institutos de pesquisa e meio empresarial.
Brasil	Governo federal, academia, setor privado.

Fonte: elaboração própria.

Os atores que fazem parte das iniciativas e ações, envolvem o Governo Federal, meio empresarial e institutos de pesquisa na Alemanha e no Japão. Na Alemanha, existe também a participação de consórcio formado por atores das áreas científica, industrial e sindicatos. Na China, participam o Governo Federal e os institutos de pesquisa. Nos EUA, o governo nacional, indústria, academia e institutos de pesquisa.

No Brasil, participam o Governo Federal, a academia e o setor privado, mas as iniciativas são fragmentadas e desarticuladas o que torna frágil a institucionalização no país com decisões não implementadas, sem prioridades e sem instrumentos que possibilitem a execução de ações (VERMULM, 2018).

Algumas parcerias são formadas a exemplo da Rede RS indústria 4.0 da Universidade Federal do Rio Grande do Sul que conta com as parcerias: Abimaq, Abinee, ABICalçados, FIERGS-Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul, SENAI, SEBRAE, Instituto Euvaldo Lodi (IEL-RS), Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Unisinos, PUCRS, Universidade Luterana do Brasil (Ulbra), Governo do Estado do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2020).

O projeto Aliança Local para a Manufatura Avançada 4.0 tem como parceiros o Arranjo Produtivo Local de Automação e Controle da ABINEE (NEO-UFRGS, 2018).

A parceria da Universidade Federal de Santa Catarina com as empresas e instituições: *Bosch*, umas das principais empresas que fornecem tecnologias e serviços para outros países (GTAI, 2014; IEDI, 2017), *Embraco*, *Gerdau*, *GMBH*, *Flowdrill*, *Promotec*, *Finep*, Fundação *Fraunhofer Gesellschaft* e Institutos de pesquisa das universidades técnicas *Aachen*, *Kassel*, *Ilmenau*, *Hamburgo - Braunschweig*, na Alemanha e a Universidade Técnica de Zurique na França (UFSC, 2020).

As empresas *Siemens Digital Factory DivISlon*, *FESTO* - líder internacional no fornecimento de tecnologias de acionamento elétrico e pneumático para automação de processos em fábricas (IEDI, 2017) e *VTECH* são parceiras do Centro Universitário FEI para pesquisas do laboratório Indústria 4.0 de manufatura digital IFEI, 2020).

O projeto *Samsung Ocean* faz parte do InovaUSP e é uma iniciativa da empresa *Samsung* no Brasil que oferece capacitação tecnológica à comunidade, além de fomentar a criação de empresas de bases tecnológicas (*startups*) no centro de inovação da USP-INovaUSP (USP, 2020).

Ressalta-se a importância de trazer à baila o que está sendo desenvolvido por essas universidades e empresas, no que se refere às estratégias para o

desenvolvimento, implementação e aplicação das tecnologias digitais, sobretudo àquelas que possuem centros de decisão fora do país (COSTA; ROCHA; GALA, 2021).

#### 7.8 Setores de atividades selecionados nas iniciativas para a manufatura avançada

De acordo com a análise realizada para cada país, verificou-se que a seleção de setores de atividade econômica, que fazem parte das iniciativas da manufatura avançada, são diferentes para cada país, conforme apresenta-se no quadro 27.

Quadro 27 - Setores

País	Setores
Alemanha	Máquinas e equipamentos, automotivo, mobilidade, saúde e sustentabilidade.
China	Aeroespacial, telecomunicações, produção e distribuição de energia, transportes, eletrodomésticos e máquinas e equipamentos.
EUA	Manufatura, materiais avançados, engenharia, medicina regenerativa e farmacêutico.
Japão	Automotivo, eletrônico, serviços, agrícola, indústria da transformação, mobilidade, saúde e agricultura.
Brasil	Cidades inteligentes, saúde, agronegócio, manufatura, alimentos processados, insumos básicos, siderurgia, química, bioeconomia, petróleo e gás, exploração de águas profundas, bens de capital, máquinas agrícolas, máquinas ferramenta, motores elétricos, automotivo, veículos leves, TIC, telecomunicações, microeletrônica, software, farmacêutico, biofármacos, bens de consumo, têxtil, vestuário, serviços, varejo, meio ambiente, engenharia, energia, nanotecnologia e políticas públicas.

Fonte: elaboração própria.

Observa-se que Alemanha e China apresentam, em suas iniciativas, o foco no setor de máquinas e equipamentos; os EUA referem-se genericamente à manufatura avançada e o Japão, à própria indústria da transformação. No Brasil, inúmeros setores estão relacionados às iniciativas para a manufatura avançada, inclusive o setor de bens de capital.

O fato de os países elegerem setores diferentes para a elaboração de iniciativas pode ter relação com a geopolítica e com as trajetórias econômicas e tecnológicas vivenciadas por cada país. Contudo, no Brasil, observa-se que as iniciativas envolvem múltiplos setores, sem estratégias estruturantes, a despeito do esforço registrado no estudo realizado pela CNI, denominado Indústria 2027 (IEL, 2017).

Ainda que a introdução e os impactos da produção inteligente tendem a ocorrer de forma incremental no setor de BK, com foco em etapas específicas da cadeia de produção, não se tem conhecimento de arranjos empresariais interligados com fornecedores e clientes que utilizem sistemas de produção inteligente e conectada (IEL, 2017).

Nesse sentido, ressalta-se que as relações entre usuários e fornecedores são identificadas como essenciais para o desenvolvimento de inovações industriais (VON HIPPEL, 1986; LUNDVALL, 1986; DYER, 1996).

### 7.9 Oportunidades e Barreiras: Alemanha, China, EUA, Japão e Brasil

Visando apresentar as oportunidades e barreiras para o Brasil avançar na trajetória da manufatura avançada, nesta seção, serão apresentadas as oportunidades e as barreiras dos países analisados para verificação de proximidades e distanciamentos do Brasil frente à Alemanha, China, EUA e Japão.

Quadro 28 - Oportunidades dos países: Alemanha, China, EUA, Japão e Brasil para a manufatura avançada

CATEGORIAS	ALEMANHA	CHINA	EUA	JAPÃO	BRASIL
<b>OPORTUNIDADES</b>					
Tecnologias	Uso intensivo de IoT; foco na conexão de robôs ou máquinas nas fábricas; forte conexão de rede nas fábricas.	Aprofundamento do uso de IoT; implementação e digitalização de tecnologias digitais na indústria, criação de fábricas inteligentes.	Uso intensivo de tecnologias digitais para prestação de serviços: IoT e IoS. Aplicação: Uber e Airbnb; expert no desenvolvimento de plataformas para negócios digitais: Ex. Google, Facebook e Apple; tem tecnologia de big data virtual; tem nível elevado de tecnologia de inteligência artificial.	Produção de robôs industriais, nas tecnologias de M2M e IoT e na automação das fábricas; compete com a Alemanha e os EUA no ambiente estabelecido para a coleta de big data e tecnologia de comunicação; estoque de dados de campo (reais); elevado número de robôs atuantes na indústria.	Uso Intensivo de IoT; uso das tecnologias da informação e comunicação; clusters tecnológicos; Presença nas iniciativas das seguintes tecnologias: fábrica inteligente, sistemas ciber-físico, sistema IoS, Inteligência Artificial, Robótica, Nanotecnologia, Manufatura Aditiva, Materiais Avançados, Armazenamento de energia - AE, Big Data, Biotecnologia e Simulação.
Indústria	Tecnologias para o setor de máquinas e equipamentos; orientação da produção é voltada à produção de máquinas e equipamentos para o setor industrial; difusão das tecnologias digitais.	Orientação da produção é voltada à produção de máquinas e equipamentos para o setor industrial.	Investimentos voltados para o desenvolvimento de tecnologias no setor industrial.	Apresenta pontos fortes para a indústria da transformação.	Clusters no setor de BK; forte parceria com institutos SENAI; presença de empresas transnacionais no setor de BK.
Inovação	Centros de tecnologia e inovação	Centros e inovação; capacidade para a criação de plataforma de inovação aberta e compartilhada.	Institutos de pesquisa com ênfase no desenvolvimento e na aplicação de tecnologias.	Estimula a inovação a partir da IoT e da robótica; apresenta institutos de inovação.	Institutos de inovação e parques tecnológicos.

CATEGORIAS	ALEMANHA	CHINA	EUA	JAPÃO	BRASIL
<b>OPORTUNIDADES</b>					
Cooperação	Cooperação internacional	Cooperação internacional	Cooperação internacional	Cooperação internacional	Cooperação internacional a partir da EMBRAPPII.
Governança	Apresenta estrutura de governança.	n/c	Apresenta estrutura de governança	n/c	n/c
Acompanhamento de recursos financeiros	São controlados	São avaliados	n/c	n/c	n/c
Desenvolvimento Sustentável	Envolve a sustentabilidade	Inclui planos e ações para o desenvolvimento verde	n/c	Inclui objetivo para o desenvolvimento sustentável na iniciativa “Sociedade 5.0”.	n/c
PMEs	PMEs inseridas nas iniciativas.	Benefícios para PMEs implementarem as tecnologias digitais.	Estímulo para PMEs formarem centros tecnológicos.	n/c	PMEs inseridas nas iniciativas.
Padronização e regulamentação	Presente nas iniciativas	Presente nas iniciativas	Presente nas iniciativas	Presente nas iniciativas	n/c
Startups	n/c	Prevê criação de fundo e linha de financiamento para abertura de startups.	n/c	Participam de decisões estratégicas.	Presente nas iniciativas
Regionalidade	n/c	Implementa ações que priorizam as necessidades locais.	Institutos de pesquisa e empresas do setor industrial estão localizados em diferentes regiões do país.	n/c	n/c

Fonte: elaboração própria.

Legenda: n/c – nada consta.

Com relação às oportunidades no âmbito das tecnologias digitais, observa-se que em todos os países analisados e no Brasil, existe a presença da IoT. O Brasil aproxima-se dos EUA no que se refere ao uso da IoT para o setor de prestação de serviços. Isso pode ser afirmado diante das iniciativas elaboradas no país.

No setor industrial, verifica-se que, para a Alemanha, China, EUA e Japão, é dada ênfase para o desenvolvimento deste setor, sobretudo para a produção de tecnologias no setor de máquinas e equipamentos.

As parcerias com os institutos SENAI criam oportunidades a serem exploradas e a presença de empresas transnacionais no país gera uma oportunidade para investigar como estão sendo desenvolvidos os processos e a produção diante do contexto da manufatura avançada.

Em todas as iniciativas dos países analisados e nas iniciativas do Brasil, existe a importância dada à inovação. No Brasil, a presença de institutos de inovação e parques tecnológicos são oportunidades que devem ser ampliadas para outras regiões, em especial para as regiões Sudeste e Sul, onde a presença de clusters no setor de BK contam com a parceria e envolvimento da academia e de empresas localizadas na região Sul.

Ainda que em pequena proporção, existe a presença de institutos de inovação e parques tecnológicos para o desenvolvimento de pesquisas aplicadas no contexto da manufatura avançada para o setor de BK e o setor industrial. Neste caso, são imprescindíveis políticas que articulem esses sistemas de inovação e os parques tecnológicos visando a maiores investimentos e à participação da academia e empresas próximas no território.

A cooperação internacional ocorre em todos os países analisados. Na Alemanha, a cooperação internacional visa à criação de uma estrutura global para a manufatura avançada, uniformização, melhores práticas e o compartilhamento de informações. No Brasil, embora a cooperação internacional tenha como ator somente a EMBRAPA, que apresenta parcerias internacionais com a União Europeia, Israel, República Tcheca, Alemanha, Suíça, Suécia, EUA e Reino Unido, além de negociações com Irlanda, Índia e Países Baixos (EMBRAPA, 2020), é uma oportunidade, haja vista que pode envolver outros atores que fazem parte de estratégias voltadas para a reformulação do setor industrial e os avanços previstos no setor de BK.

A Governança é tratada nos planos e iniciativas da Alemanha e dos Estados Unidos. Na Alemanha, existe uma estrutura específica para a Governança que envolve Presidentes de empresas, representantes comerciais, Presidentes de grupos de trabalho, Ministérios e Associações Empresariais. Nos Estados Unidos, a governança envolve a inovação, agências, especialistas e Universidades. China Japão e Brasil não apresentam iniciativas específicas para essa categoria.

Os recursos financeiros são acompanhados na Alemanha e na China, com ressalvas para os recursos ofertados na China que não são acompanhados e visam atender soluções de custos reduzidos. No Brasil, os recursos não são acompanhados.

O desenvolvimento sustentável faz parte das iniciativas da Alemanha, China e Japão. Na Alemanha, inclusive nas iniciativas anteriores à indústria 4.0, já era dada a importância à sustentabilidade ambiental (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013). Na China, preveem-se indicadores para a redução das emissões de dióxido de carbono, redução do consumo de água e redução de resíduos sólidos industriais.

As PMEs estão presentes nas iniciativas dos países analisados e no Brasil. Porém, somente na China foi identificada a oferta de benefícios para esse nicho de mercado no que se refere à implementação das tecnologias digitais e os EUA estimulam as PMEs a formarem centros tecnológicos. No Brasil não existem iniciativas específicas para as PMEs e, no caso da Alemanha e Japão, não foi possível a partir da análise documental encontrar iniciativas para esse nicho de mercado.

As startups estão contempladas nos planos e iniciativas da China, Japão e Brasil. Contudo, somente a China dispõe de fontes de financiamento para o mercado de startups e no Japão as startups participam das decisões estratégicas que envolvem políticas para a trajetória rumo à 4RI. No Brasil, o fato de as iniciativas envolverem as startups e a EMBRAPPII desenvolver programas voltados a esse nicho de mercado é uma oportunidade para o país.

Envolver a regionalidade nas iniciativas da manufatura avançada é imprescindível, pois são necessários estudos e projetos que abarquem todo o histórico regional, arranjos produtivos, clusters, presença de empresas nacionais e transnacionais, qualificação profissional e infraestrutura necessária, sobretudo para os processos de logística.

A partir do quadro de oportunidades, verifica-se que a China implementa ações que priorizam as necessidades locais no contexto da manufatura avançada, e nos

EUA, os institutos de pesquisa e empresas do setor industrial estão localizados em várias regiões do país.

No Brasil, as múltiplas iniciativas para a manufatura avançada, não envolvem aspectos regionais. Em 2019, a consultoria *Roland Berger* identificou a formação de clusters no setor de BK presentes nas regiões Sul e Sudeste do país (*ROLAND BERGER, 2019*). Deste modo, é oportuno que iniciativas e políticas industriais envolvam as características regionais do lado da demanda e da oferta no sistema de BK.

Ademais, “o envolvimento de usuários, produtores, fornecedores de insumos, universidades, instituições financeiras, agências governamentais, sindicatos ou associações técnicas, além de institutos de P&D e associações industriais” (MALERBA, 2002, p. 250, tradução própria) são essenciais para o desenvolvimento regional e para os sistemas setoriais de inovação.

A seguir, apresentam-se as barreiras da Alemanha, China, EUA, Japão e Brasil para a trajetória da manufatura avançada, traçando proximidades e distanciamento do Brasil para as barreiras apresentadas.

Quadro 29 – Barreiras dos países: Alemanha, China, EUA, Japão e Brasil para a manufatura avançada

CATEGORIAS	ALEMANHA	CHINA	EUA	JAPÃO	BRASIL
<b>BARREIRAS</b>					
Tecnologias	Infraestrutura para a comunicação óptica de banda larga é fraca; comunicação B2B fraca quando comparada à países desenvolvidos.	Não apresenta nos planos iniciativas para a segurança cibernética.	Não apresenta dados reais de campo.	Ausência de experiência no processamento de big data; baixa disponibilidade de big data e limitação de IA.	Ausência das seguintes tecnologias: segurança cibernética; M2M, Design, IoT, Realidade Aumentada, Big Analytics e computação em nuvem; ausência de difusão das tecnologias digitais; ausência do desenvolvimento de tecnologias para o setor de BK e setor industrial.
PMEs	Em fase de implementação das tecnologias digitais.	n/c	n/c	n/c	Tecnologias não implementadas.
Indústria	n/c	Lacunas na concepção e aplicação das iniciativas (algumas empresas operam entre a indústria 1.0 ou 2.0).	Fragilidade na indústria de transformação.	Indústria constituída de forma vertical e integrada.	Lacunas na concepção e aplicação das iniciativas; indústria polarizada.
Recursos Financeiros	n/c	Tendem a atender soluções de custos reduzidos; abordagem global e não atende as necessidades específicas de setores e empresas; recursos avaliados somente no início dos projetos.	Recursos financeiros para Institutos de pesquisa somente durante 5 anos.	n/c	Não avaliados durante o desenvolvimento de projetos; PMEs – taxas de juros alta para obtenção de recursos.

CATEGORIAS	ALEMANHA	CHINA	EUA	JAPÃO	BRASIL
<b>BARREIRAS</b>					
Capital Humano	n/c	Ausência de habilidades necessárias para o uso das tecnologias digitais.	n/c	Ausência de força de trabalho na área de desenvolvimento de software.	Ausência de habilidades necessárias para o uso das tecnologias digitais, ausência de políticas para cursos em ciências, tecnologias, engenharia e matemática.
Governança	n/c	Não apresenta nos planos estrutura de governança.	n/c	Modelo de governança para tomada de decisões financeiras é lento.	Iniciativas não contemplam planos e ações para governança.
Inovação	n/c	n/c	Agentes possuem formação tecnológica e não são da área acadêmica; institutos de pesquisa se concentram mais no desenvolvimento de pesquisa básica.	n/c	Polarização de institutos de pesquisa; institutos criados não atendem às necessidades específicas da indústria; instabilidades orçamentárias para o desenvolvimento de pesquisas; baixo investimento em P&D.
Desenvolvimento Sustentável	n/c	n/c	Ausência de plano.	n/c	Ausência de plano.
Regulação e Padronização					Ausência de plano.
Startups	Não envolve as startups nas iniciativas.	n/c	Não envolve as startups nas iniciativas.	Não envolve as startups nas iniciativas.	Ausência de planos específicos para esse nicho de mercado.
Regionalidade	n/c	n/c	n/c	n/c	Não apresenta nas iniciativas questões relacionadas à regionalidade.

Fonte: elaboração própria.

Observa-se, na Alemanha, a falta de infraestrutura para a comunicação de banda larga e a comunicação B2B; na China, as iniciativas não envolvem planos específicos para a segurança cibernética; os Estados Unidos não apresentam a produção de dados e no Japão, a produção e processamento da tecnologia de Big Data é ausente além das limitações da tecnologia de IA.

O Brasil apresenta a ausência da implementação das tecnologias no setor de BK, conforme foi constatado na análise das proximidades e distanciamentos entre os países analisados para as tecnologias de Segurança Cibernética, M2M, Design, IoS, Realidade Aumentada, Big analytics e computação em nuvem.

No que se refere às PMEs, a implementação das tecnologias digitais ocorre na Alemanha, na China e nos EUA. Para o Japão, não foi possível a partir da análise documental corroborar com essa afirmativa. No Brasil existem, nos planos, ações que estabelecem a implementação das tecnologias digitais, contudo, não existem planos e ações específicas para esse nicho de mercado.

No setor industrial, China e EUA apresentam fragilidades na implementação das tecnologias digitais, a indústria no Japão é constituída de forma vertical e integrada e no Brasil existem lacunas para a concepção e aplicação das iniciativas, como pode ser observado nas múltiplas iniciativas fragmentadas que existem hoje no país. Ademais, a indústria encontra-se polarizada em regiões do país, sobretudo o setor de BK, que se concentra nas regiões Sudeste e Sul.

Os recursos financeiros na China são para o atendimento de soluções com baixo custo, a abordagem é global não atendendo as necessidades específicas de setores e empresas e os recursos são avaliados somente no início dos projetos. Nos EUA, os recursos para os Institutos de Pesquisa são ofertados somente no prazo de cinco anos. No Brasil, os recursos não são avaliados e para as PMEs, as ofertas apresentam taxas de juros altas ficando inviável para a entrada desse nicho de mercado nas mudanças preconizadas pela 4RI.

Na China, não são divulgados, nas iniciativas, planos específicos para a Governança. No Japão, embora tenha Governança, as tomadas de decisões financeiras são lentas. No Brasil, as múltiplas iniciativas não contemplam planos específicos para essa categoria. O mesmo ocorre para a Regulação, Padronização e Desenvolvimento Sustentável que, embora estejam contemplados nas iniciativas do Brasil, não existem metas específicas para o cumprimento de ações nessas categorias.

No que se refere à inovação, nos EUA os agentes dos Institutos de Pesquisa possuem a formação técnica e muitos não são da área acadêmica. O país se concentra mais nas pesquisas básicas. No Brasil, ocorre a polarização de Institutos de Pesquisas, o baixo investimento em P&D, além das instabilidades orçamentárias para P&D.

#### 7.10 Proposição de agenda estratégica para política tecnológica no setor de BK

A proposição de agenda estratégica para política tecnológica no setor de BK foi estruturada a partir da análise documental dos países – Alemanha, China, EUA e Japão; da análise das categorias determinadas no estudo, relacionando proximidades e distanciamentos do Brasil frente aos países analisados; das oportunidades e barreiras analisadas de cada país em conjunto com as oportunidades e barreiras do Brasil.

É oportuno esclarecer que essa agenda diferencia-se da Agenda Brasileira para Indústria 4.0 e das múltiplas iniciativas para a manufatura elaboradas nos seguintes aspectos: 1) Foi construída a partir da análise das iniciativas dos 4 países – Alemanha, China, EUA e Japão e das 9 iniciativas para a manufatura avançada no Brasil; 2) Constituiu-se de argumentos teóricos presentes na revisão da literatura e necessárias para a elaboração de estratégias e ações; 3) A sua elaboração levou em consideração as forças e fraquezas do ambiente interno à economia nacional, assim como as oportunidades e os desafios externos encontrados a partir da análise das iniciativas da Alemanha, China, EUA e Japão; 4) Prevê a articulação de atores nas esferas públicas e privada, sendo, desta forma, as ações criadas de forma cíclica e encadeadas proporcionando a participação dos atores na condução e acompanhamento de cada medida proposta; 5) Estabelece uma estrutura de política tecnológica em que os atores são identificados de forma clara e com ações específicas a serem cumpridas; 6) Insere nas medidas as PMEs, startups, mas aponta a necessidade de planos específicos para esses nichos de mercado; 7) Propõe a construção de infraestrutura capaz de ofertar e acompanhar os financiamentos concedidos; 8) Propõe que, em um plano nacional para a manufatura avançada, é necessário que se estabeleça uma estrutura para a Governança; 9) Insere a importância não somente da produção, mas também a implementação e a aplicação de tecnologias digitais; 10) Propõe uma estrutura organizada para o desenvolvimento

do aprendizado tecnológico e, como as empresas devem captar o aprendizado tecnológico no ambiente interno e externo, da mesma forma ocorre para a capacitação tecnológica – ambiente propício, ações internas às empresas e ações externas que deverão ser tomadas pelo Governo Federal; 11) Propõe uma estrutura com princípios orientadores que deverão ser cumpridos para que os princípios básicos sejam executados e, em conjunto, permitirão que todas as ações previstas sejam alcançadas; 12) Propõe medidas que envolvam a regionalidade – necessidades regionais (infraestrutura, qualificação profissional), formação de clusters, ofertantes e demandantes do setor de BK.

Quadro 30 - Proposição de agenda estratégica para política tecnológica no setor de BK

		<b>Medidas</b>	<b>Atores</b>	<b>Ações</b>
<b>PRINCÍPIOS ORIENTADORES</b>	1)	Trabalho	Ministério da Economia, MCTI, institutos de Pesquisa, Empresas do setor industrial e do setor de BK, SENAI, EMBRAPII, sindicatos e/ou centrais sindicais.	Articulação entre os atores para a atualização dos projetos pedagógicos dos cursos de graduação para a inserção de novas disciplinas que envolvam a indústria 4.0, sobretudo os cursos ciências, tecnologia, engenharia e matemática, desenvolvimento de cursos profissionalizantes e cursos de pós-graduação que envolvam os temas tratados na indústria 4.0.
	2)	Infraestrutura	Governo Federal, Ministério da Economia, MCTI, CNI, setor privado, universidades.	Estabelecer qualidade regulatória e participação do setor privado para investimentos que contribuam para a construção de infraestrutura necessária ao desenvolvimento, aplicação e difusão das tecnologias digitais nos setores da atividade econômica.
	3)	Inovação	MCTI, Institutos de Pesquisa, Universidades, Parques Tecnológicos, Startups, Incubadoras, EMBRAPII, SENAI e ABIMAQ.	Estimular a inovação e a sua difusão a partir de integrações e parcerias entre o setor público, setor privado, academia e EMBRAPII.
	4)	Incentivos	Governo Federal, Ministério da Economia, ABDI.	Estimular P&D por meio de investimentos concedidos aos Institutos de Pesquisa e Inovação; estimular as PMEs a partir de benefícios concedidos e acompanhados para a transição à manufatura avançada; promover a abertura de startups e incubadoras a partir de incentivos públicos em universidades e institutos de pesquisa.
	5)	Financiamentos	Governo Federal – BNDES, FINEP.	Disponibilizar linhas de crédito específicas para promover a indústria 4.0, que sejam elaboradas de acordo com projeto apresentado para desenvolvimento, implementação ou aplicações das tecnologias digitais; acompanhar valores ofertados durante a evolução do projeto.
	6)	Pequenas e Médias Empresas	Governo Federal, MCTI, empresas do setor industrial e do setor de BK, CNI E ABIMAQ, SEBRAE.	Elaborar iniciativas voltadas às PMEs, que incluam benefícios, investimentos públicos para a compra de bens industriais compartilhados; estimular as entradas de PMEs na trajetória da manufatura avançada por meio de treinamentos e plataformas de testbeds. Criar fomento para financiamentos com taxas de juros reduzidas.

		Medidas	Atores	Ações
PRINCÍPIOS ORIENTADORES	7)	Startups	Governo Federal, MCTI, Institutos de Pesquisa, Universidades, EMBRAPII, ABDI E ABIMAQ.	<p>Criar ambiente compartilhado que permita a conexão das startups com indústrias do setor de BK e de outros setores da indústria de transformação, considerando inclusive as oportunidades do novo marco legal das startups; aproximar as startups dos institutos de pesquisa e parques tecnológicos; fomentar a criação de fundos específicos que envolvam a FINEP e o BNDES para ofertar recursos às startups; constituir fundo de investimento fechado com recursos da Lei da Informática para atender às startups; mobilizar recursos da subvenção econômica do FNDCT e do Fundo Tecnológico (Funtec/BNDES) para empresas que estão iniciando os seus empreendimentos de base tecnológica com foco nas tecnologias da indústria 4.0.</p>
	8)	Fornecedores	Governo Federal, empresas do setor de BK e do setor industrial, CNI E ABIMAQ.	<p>Estimular por meio de incentivos e fomentos públicos a entrada de fornecedores na produção de tecnologias digitais: inteligência artificial, robótica e manufatura aditiva; design, computação em nuvem, segurança cibernética, simulação e M2M; promover parcerias entre empresas e fornecedores; articular ambiente propício para a troca de ideias, aprendizado e capacitação tecnológica.</p>
	9)	Regionalidade	Governo Federal, MCTI, Institutos de Pesquisa, Universidades, EMBRAPII, ABDI E ABIMAQ.	<p>Elaborar iniciativas que envolvam as características regionais: histórico regional, arranjos produtivos, clusters, presença de empresas nacionais e transnacionais, qualificação profissional e infraestrutura necessária, sobretudo para os processos de logística.</p>
PRINCÍPIOS BÁSICOS	10)	Governança	Governo Federal, MCTI, MEC, ME, CNI, IEDI, empresas do setor de BK, associações de classe, sindicatos e/ou centrais sindicais do setor industrial, Institutos de Pesquisa, Universidades, empresas estatais, ABDI, EMBRAPII E ABIMAQ.	<p>A dimensão da Governança tem como propósito estabelecer as prioridades, o direcionamento estratégico a estruturação de instituições públicas privadas; envolver as agências executoras, os atores da esfera privada como empresas, associações de classe e outras instituições privadas e atores da esfera pública como universidades, empresas estatais e laboratórios de pesquisa (IEL, 2017). Presidentes de empresas, representantes comerciais, Presidentes de grupos de trabalho, Ministérios e Associações Empresariais Sindicatos.</p>

		Medidas	Atores	Ações
PRINCÍPIOS BÁSICOS	11)	Desenvolvimento, implementação, aplicação e difusão das tecnologias digitais	Governo Federal, MCTI, CNI, Institutos de Pesquisa, Universidades, empresas do setor industrial e do setor de BK; ABDI, SENAI, EMBRAPPII E ABIMAQ.	Formular cenários para o desenvolvimento, implementação, aplicação e difusão das tecnologias digitais; fomentar recursos públicos para o desenvolvimento das tecnologias digitais no setor de BK e em outros setores da atividade econômica; estabelecer a integração entre institutos de pesquisa, academia e empresas para disseminar o conhecimento dessas tecnologias e a sua aplicabilidade; promover workshops e treinamentos que contribuam para facilitar a aplicação das tecnologias; promover entre os institutos de pesquisa e inovação, empresas e academia a difusão das tecnologias digitais; Aproveitar os clusters tecnológicos para alargar as possibilidades de treinamentos e difusão das tecnologias digitais.
	12)	Aprendizado Tecnológico	Governo Federal, MCTI, CNI, Institutos de Pesquisa, Universidades, empresas do setor industrial e do setor de BK; ABDI, SENAI, EMBRAPPII e ABIMAQ.	<p><b>Ações internas às empresas:</b> experiências vividas internamente nas empresas, no desenvolvimento de atividades produtivas e rotineiras, pelo aprendizado adquirido no uso de novas tecnologias, insumos e máquinas, nos avanços das pesquisas aplicadas na ciência e na tecnologia, nos efeitos de <i>spillovers</i> criados a partir do que outras indústrias estão fazendo, quais são as formas de aprendizados que podem ser transferidos, pelos conhecimentos adquiridos de clientes, fornecedores de bens de capital o pelo setor industrial, pela apropriação do conhecimento a partir da reprodução de inovações desenvolvidas/introduzidas por outras empresas, de forma autônoma e não cooperativa como ocorre em empresas norte-americanas, pela captura de força de trabalho especializada que inculuiu o aprendizado de outras firmas.</p> <p><b>Ações do Governo Federal:</b> elaboração de políticas públicas nas instituições educacionais e no sistema de treinamento, estimular e ofertar incentivos para o treinamento para o desempenho de atividades em grupo, promover ambientes em que circulem diferentes tipos de conhecimentos, habilidades, competências e experiências vivenciadas, desenvolver e implementar políticas públicas de acesso à informação que incluam a privacidade e segurança dos dados, implantar sistema de inovação flexível no intuito de atualizar as rotinas organizacionais para a trajetória à manufatura avançada, criar mecanismos para a recolocação de força de trabalho e acompanhar os avanços tecnológicos por meio de avaliação constante.</p>

		Medidas	Atores	Ações
<b>PRINCÍPIOS BÁSICOS</b>	<b>13)</b>	Capacitação Tecnológica	Governo Federal, MCTI, CNI, Institutos de Pesquisa, Universidades, empresas do setor industrial e do setor de BK; ABDI, SENAI, EMBRAPII e ABIMAQ.	<p>Desenvolver a capacitação tecnológica a partir dos seguintes instrumentos: serviços de consultorias, Benchmarking, elaboração de plano estratégico, suporte para pesquisar tecnologias e para transferir tecnologias, análise de projetos, ambientes de <i>Testbeds</i>, acesso ocasional de equipamentos especializados, Experiências e aprendizagem, Treinamento e desenvolvimento.</p> <p>Proporcionar ambiente favorável que envolva a seguinte estrutura para absorção de capacidades tecnológicas: Sistema Físico – parte técnica da tecnologia; integração vertical e horizontal; força de trabalho constituída dos conhecimentos; habilidades; experiências; sistema organizacional, envolvendo todo conhecimento já incorporado nas rotinas; procedimentos organizacionais que conduzem a empresa na realização de atividades, produtos e serviços.</p>
	<b>14)</b>	Regulação e padronização	Governo Federal, MEC, MCTI, ME, CNI, EMBRAPII, associações de classe, empresas do setor industrial e do setor de BK, ABDI e ABIMAQ, Ministério do Trabalho.	Elaborar iniciativas para a legislação e padronização necessárias para a trajetória rumo a indústria 4.0 que definam as normas e regras necessárias a serem praticadas no contexto da indústria 4.0; normas e regras para o novo contexto industrial e o mercado de trabalho e para a segurança cibernética.
	<b>15)</b>	Controle Orçamentário	MCTI, ME, EMBRAPII, CNI.	Criar mecanismos de acompanhamento dos recursos ofertados para o desenvolvimento, implementação das tecnologias digitais por meio de planos orçamentários que permitam a visualização de metas e ações cumpridas dentro de prazos estipulados. O acompanhamento deve ser periódico até o final dos prazos estipulados para cada meta e ação proposta.
	<b>16)</b>	Meio Ambiente	Governo Federal, ME, MCTI.	Elaborar política específica para o desenvolvimento sustentável no âmbito da 4RI, levando em consideração as oportunidades do país para avançar na economia de baixo carbono e para a convergência com a agenda de sustentabilidade ambiental, que contribui para a modernização das cadeias produtivas, a redução do uso de transportes e uma trajetória sustentável de desenvolvimento industrial.

		<b>Medidas</b>	<b>Atores</b>	<b>Ações</b>
<b>PRINCÍPIOS BÁSICOS</b>	<b>17)</b>	Produtividade/ Competitividade	Governo Federal, CNI, empresas do setor industrial e setor de BK e ABIMAQ.	Estimular e intensificar as atividades de inovação, favorecer uma maior participação e integração com os mercados e proporcionar meios para uma melhor gestão empresarial.
	<b>18)</b>	Cooperação Internacional	Presidentes de empresas, representantes comerciais, Presidentes de grupos de trabalho, Ministérios e Associações Empresariais.	Promover a cooperação internacional visando à colaboração para definição de padrões, integração horizontal e vertical das tecnologias digitais, ampliação e troca de conhecimento científico e tecnológico.

Fonte: elaboração própria.

As medidas propostas na agenda acima estão encadeadas e seguem uma lógica de conexão para que as ações sejam tomadas e envolvam todos os atores necessários, de modo que o não cumprimento de uma medida irá impactar nas medidas seguintes. Argumentamos que as medidas de 1 a 9 são princípios orientadores que determinarão os elementos essenciais para a formação de uma estrutura capaz de contribuir para os avanços preconizados pela 4RI. Já os princípios básicos contribuirão para a revitalização da indústria nacional, para a inserção do setor de BK no novo contexto da manufatura avançada, para o desenvolvimento de um ecossistema voltado à capacidade industrial de manufatura, o estímulo ao aprendizado e à capacitação tecnológica.

#### 7.11 Considerações finais sobre o capítulo

Neste capítulo foi possível responder ao objetivo 2 e ao objetivo geral, com a proposição da agenda estratégica adequada à configuração de uma política tecnológica estruturante para o setor de bens de capital no Brasil.

Na primeira seção, foram apresentadas as análises referentes aos objetivos de cada país para a trajetória à manufatura avançada. Verificou-se que, em cinco objetivos, o Brasil aproxima-se da Alemanha, China, EUA e Japão: Competitividade, Pesquisa e Desenvolvimento, Inovação, Qualificação Profissional e modernização do setor produtivos.

Com relação às tecnologias da 4RI, no intuito de se investigar como se posiciona o Brasil em relação aos 4 países analisados, foram elaborados gráficos de radar para compreender as proximidades e distanciamentos do país quando comparado aos 4 países analisados.

Os incentivos para a manufatura avançada ocorrem em todos os países analisados e no Brasil também, porém, ainda em fase de execução e muitos incentivos descritos nas iniciativas ainda não estão disponíveis para a verificação de como aconteceram ao longo do período estabelecido nas iniciativas.

A qualificação profissional é reconhecida em todos os países analisados, inclusive no Brasil. Contudo, ainda temos lacunas para a formação de força de trabalho nos cursos de ciências, tecnologia, engenharia e matemática e um baixo número de universidades que estão trabalhando o tema em cursos, laboratórios e institutos de pesquisa.

Os financiamentos são previstos nas iniciativas dos países analisados e no Brasil. Contudo, ainda se tem mecanismos claros quanto à oferta de financiamentos.

Com relação à participação de atores nas iniciativas para a manufatura avançada, verifica-se que nos países participam atores das esferas pública e privada, setor privado, academia e empresas. No Brasil, participam o Governo Federal, a academia e o setor privado, mas as iniciativas são fragmentadas e desarticuladas, o que torna frágil a institucionalização no país com decisões não implementadas, sem prioridades e sem instrumentos que possibilitem a execução de ações (VERMULM, 2018),

Foram analisadas as Oportunidades e Fraquezas dos países, traçando proximidades e distanciamentos do Brasil.

Por fim, foi elaborada a Agenda Estratégica para Política Tecnológica no setor de BK, com 18 medidas, atores envolvidos e ações que devem ser tomadas para o que o país avance na trajetória da manufatura avançada.

## 8 CONCLUSÃO

O objetivo desta tese foi propor uma agenda estratégica de política tecnológica em nível nacional para o setor de BK, no contexto da manufatura avançada, a partir da análise das iniciativas dos países Alemanha, China, EUA, Japão e as múltiplas iniciativas do Brasil. Como objetivos específicos buscou-se: 1) identificar indicadores qualitativos para a competitividade, inovação, aprendizado tecnológico e capacitação tecnológica, relacionados ao desenvolvimento da manufatura avançada, presentes nas políticas nacionais da Alemanha, China, Japão e EUA; 2) descrever e analisar os indicadores observados nas políticas nacionais dos países investigados, por meio de uma matriz de síntese, traçando aproximações e distanciamentos ao relacionar oportunidades e barreiras para estruturação de um modelo de agenda estratégica no setor de BK adequado ao contexto brasileiro.

Os objetivos apresentados fundamentaram-se a partir de uma pergunta de pesquisa que orientou toda a construção deste trabalho: considerando os conceitos de manufatura avançada e as diferentes estratégias industriais de países selecionados, qual a proposição de agenda estratégica adequada à configuração de uma política tecnológica estruturante para o setor de BK no Brasil?

Para atender ao primeiro objetivo específico, os documentos que apresentam as iniciativas dos países foram analisados na sua integralidade, com o propósito de identificar temas presentes relacionados aos objetivos definidos para cada iniciativa, os instrumentos – nome das iniciativas, os incentivos públicos para a execução das metas e ações estabelecidas nas iniciativas, a ocorrência de plano piloto para implementação de tecnologias digitais, os esforços para qualificar a força de trabalho, as tecnologias divulgadas nas iniciativas, as fontes de financiamento”, os atores que participam das iniciativas e quais setores estão sendo priorizados nas iniciativas nacionais para a manufatura avançada.

Foi gerada uma matriz estrutural, contendo 11 dimensões para a análise dos documentos investigados dos países participantes do estudo. Foram realizadas análises lexicais (vocabulários) a partir das frequências e ocorrências de termos-chave, em que se buscou uma análise dos conceitos que se encontram presentes na estruturação do conteúdo das dimensões em análise.

Também foi realizada a revisão da literatura que abarca elementos essenciais para a trajetória da manufatura avançada, visando relacionar os temas selecionados

na matriz estrutural com o arcabouço teórico sobre as tecnologias da 4RI, os sistemas de inovação – nacional e setorial, o aprendizado e a capacitação tecnológica.

A análise dos resultados apresentou, que no Brasil os objetivos, relacionados à competitividade, pesquisa e desenvolvimento, inovação e qualificação profissional aproximam-se dos objetivos apresentados nas iniciativas da Alemanha, China, EUA e Japão. Contudo, para que o país avance nas estratégias elaboradas e alcance a competitividade demonstrada por esses países, é necessário que se aproveitem as janelas de oportunidades, sobretudo as que envolvem o conhecimento necessário para a implementação e aplicação das tecnologias digitais, a formalização de iniciativas que atendam as demandas do setor de BK e as mudanças decorrentes da 4RI que envolve instituições públicas e privadas (LEE; MALERBA, 2017).

A difusão da indústria 4.0, novos modelos de negócios e digitalização da produção aproximam-se dos objetivos do Brasil em torno de 2,0. Esse distanciamento pode contribuir para a ocorrência de *gap* tecnológico em virtude da ausência de novos modelos de organização da produção e das combinações entre invenção e empreendedorismo (FREEMAN, 1988).

O distanciamento do país em iniciativas que contemplem o desenvolvimento do setor de máquinas e equipamentos e a produção de tecnologias para esse setor, indica que existe a ausência de infraestrutura tecnológica e institucional, dificultando o ingresso, de maneira relativamente autônoma, nas novas indústrias do novo sistema tecnológico em sua fase inicial, inviabilizando uma trajetória de desenvolvimento próspera e o *catching-up* “com os líderes” (PEREZ; SOETE, 1988, p. 476).

No que concerne à presença de um ambiente propício a inovações, observa-se que no Brasil existem algumas iniciativas de universidades públicas e privadas além da presença de empresas nacionais e transnacionais que já estão produzindo dentro das novas oportunidades oferecidas pela manufatura avançada.

Ressalta-se a importância de trazer à baila o que está sendo desenvolvido por essas empresas, no que se refere às estratégias para o desenvolvimento, implementação e aplicação das tecnologias digitais, sobretudo àquelas que possuem centros de decisão fora do país (COSTA; ROCHA; GALA, 2021).

Embora no Brasil sejam apresentadas nas iniciativas fontes de financiamento, a partir da análise dos dados, foi possível observar que essas fontes não dispõem de mecanismos claros quanto aos financiamentos e, em boa parte, conta com a

disponibilidade de atores para o dispêndio de recursos necessários para novas áreas (OCDE, 2020).

A análise dos dados possibilitou observar as proximidades e distanciamentos do Brasil com relação às tecnologias digitais, sendo que para as tecnologias: Inteligência Artificial, Robótica, *IoT*, Nanotecnologia, Manufatura Aditiva, Materiais Avançados, Armazenamento de energia - AE, *Big Data*, Biotecnologia, Simulação e sistemas ciber-físicos o país apresenta oportunidades para a implementação e aplicação dessas tecnologias digitais.

Já para as tecnologias de Segurança Cibernética, M2M, Design, *IoS*, Realidade Aumentada, Big analytics e computação em nuvem, foi possível observar um distanciamento do país quando comparado com os 4 países analisados e, neste caso, é oportuno que sejam direcionadas iniciativas envolvendo essas tecnologias, pois também contribuem para o desenvolvimento industrial sobretudo no setor de BK.

Estrategicamente, o aprendizado pode ser adquirido de várias formas e torna-se um meio para que empresas do setor de BK e de outros setores da atividade econômica possam transitar na manufatura avançada como, por exemplo, experiências vividas internamente nas empresas, desenvolvimento de atividades produtivas e rotineiras, aprendizado adquirido no uso de novas tecnologias, insumos e máquinas, avanços das pesquisas aplicadas na ciência e na tecnologia (DALUM; JOHNSON; LUNDEVALL, 2010)

No que concerne às estratégias para o desenvolvimento de capacidades tecnológicas, essas podem ser elaboradas levando em consideração: serviços de consultorias, benchmarking, suporte para pesquisar tecnologias e para transferir tecnologias, análise de projetos, ambientes de *testbeds*, acesso ocasional de equipamentos especializados, experiências e aprendizagem, treinamento e desenvolvimento e elaboração de plano estratégico (DODGSON; BESSANT, 1996).

Em todos os setores de atividade econômica, e em especial no setor de BK, objeto de estudo desta tese, esse desenvolvimento deve incluir as quatro dimensões sugeridas por Figueiredo (2003): 1) Sistema Físico que é a parte técnica da tecnologia, como os equipamentos; os *softwares*; e as bases de dados; 2) O capital humano – força de trabalho constituída dos conhecimentos; habilidades; experiências; 3) O sistema organizacional, envolvendo todo conhecimento já incorporado nas rotinas (o modo de desempenhar as atividades na empresa) e, 4) os procedimentos organizacionais que conduzem a empresa na realização de atividades, produtos e

serviços (FIGUEIREDO, 2003). Na esteira que envolve o sistema físico, é necessária a integração vertical e horizontal que estão no centro da indústria 4.0 (LIU; XU, 2017).

No ambiente externo, o Governo Federal deve ocupar e exercer o papel de ator central e responsável pela orientação e conexão geral desse sistema, além de prover a harmonia do ecossistema de inovação orientado à Manufatura Avançada, por meio de políticas governamentais (macroeconômica, industrial e tecnológica), a interação com infraestruturas tecnológicas (por exemplo, universidades e institutos de pesquisa) além das condições de mercado (LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1995; KIM, 1997; FIGUEIREDO, 2001).

Nesse sentido, as dimensões para aquisição do aprendizado, apresentadas por Dalum, Johnson e Lundvall (2010), são necessárias no contexto da manufatura avançada e devem ser consideradas para o setor industrial e para o setor de BK a saber: elaboração de políticas públicas nas instituições educacionais e no sistema de treinamento, estimular e ofertar incentivos para o treinamento que conduzam o desempenho de atividades em grupo, promover ambientes em que circule diferentes tipos de conhecimentos, habilidades, competências e experiências vivenciadas, desenvolver e implementar políticas públicas de acesso à informação que incluam a privacidade e segurança dos dados, implantar sistema de inovação flexível no intuito de atualizar as rotinas organizacionais para a trajetória à manufatura avançada, criar mecanismos para a recolocação de força de trabalho e acompanhar os avanços tecnológicos por meio de avaliação constante.

Deste modo, confirma-se a afirmativa de Vermulm (2018) em que as iniciativas nacionais para a manufatura avançada inclusive no âmbito do Governo Federal, ainda não contemplam um Plano Nacional para a Indústria 4.0 que envolva a coordenação entre as instituições públicas entre si e entre elas e o setor privado.

Diante do exposto, argumentamos a importância e necessidade da criação de uma estrutura que não seja somente imposta “de cima para baixo” (*top-down*) mas que envolva todos os atores com informações geradas do modelo *bottom-up*, envolvendo desta forma atores nas esferas pública e privada, de tal forma que a retroalimentação entre os atores e os feedbacks sejam coletivos e integrados visando a uma estratégia coletiva no setor de BK.

O fato de os países elegerem setores diferentes para a elaboração de iniciativas pode ter relação com a geopolítica e com as trajetórias econômicas e tecnológicas vivenciadas por cada país. Contudo, no Brasil observa-se que as

estratégias envolvem muitos setores, mas sem estratégias próprias e necessárias para cada setor, exceto o estudo realizado pela CNI – Indústria 2027.

A partir da análise de todos os dados apresentados, foi proposta a agenda estratégica para o setor de BK, com 18 medidas sendo 9 delas consideradas como princípios orientadores: Capital Humano, Infraestrutura, Inovação, Incentivos, financiamentos, PMEs, Startups e Regionalidade; e 9 como princípios básicos: Governança, desenvolvimento, implementação, aplicação e difusão das tecnologias digitais, aprendizado tecnológico, capacitação tecnológica, regularização e padronização, controle orçamentário, meio ambiente, produtividade e cooperação internacional.

As medidas propostas nessa agenda, estão encadeadas uma à outra e seguem uma sequência lógica para que as ações sejam tomadas e envolvam todos os atores necessários, de modo que o não cumprimento de uma medida irá impactar nas medidas seguintes. Argumentamos que as medidas de 1 a 9 são princípios orientadores que determinarão os elementos essenciais para a formação de uma estrutura capaz de contribuir para os avanços preconizados pela 4RI. Já os princípios básicos contribuirão para a revitalização da indústria nacional, para a inserção do setor de BK no novo contexto da manufatura avançada, para o desenvolvimento de um ecossistema voltado à inovação, à capacidade industrial de manufatura, ao estímulo do aprendizado e à capacitação tecnológica.

É oportuno destacar que nas múltiplas iniciativas do Brasil, existe um planejamento de *funding* de R\$ 1,42 bilhão, contribuindo, dessa forma, para que as medidas propostas nessa agenda sejam executadas.

As contribuições desta tese visam colaborar com o desenvolvimento tecnológico e econômico do país, sobretudo no planejamento, organização e administração de planos e projetos futuros para que a indústria brasileira possa ser mais competitiva e que o setor de BK do lado da oferta de máquinas e equipamentos, se constitua de artifícios necessários que envolvem tecnologias digitais, capital humano qualificado, aprendizado e capacitação tecnológica.

Para a academia, a pesquisa dá luz aos assuntos tratados na 4RI que são necessários e devem ser disseminados a partir do conhecimento científico e acadêmico, além de chamar atenção para a qualificação da força de trabalho adequada às novas oportunidades do mercado que emergem com as mudanças da 4RI.

No que se refere aos institutos de pesquisa e inovação, esta tese contribui para destacar a importância da pesquisa e da inovação no desenvolvimento econômico e industrial, além das integrações que devem ocorrer entre institutos, academia, empresas e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.

No que se refere ao meio empresarial, esta tese contribui para dar ênfase aos elementos necessários para a transição da manufatura avançada; no que se refere a planejamentos estratégicos, devem levar em consideração os custos, investimentos e financiamentos necessários além das oportunidades de se criar e disseminar o aprendizado interno e a sua difusão entre as empresas do setor de BK. Para que empresas tenham sucesso em seus planos, é necessário que se invista em capacitação tecnológica necessária.

Ademais, com a finalização deste trabalho, abrem-se várias oportunidades de pesquisas que envolvem outros setores de atividade econômica, a exemplo do setor têxtil, setor de alimentos e bebidas, setor de cosméticos que são ofertantes do setor de BK. Por serem representativos nos resultados do PIB, é oportuno que se investigue quais são as estratégias elaboradas nesses setores para a trajetória rumo à manufatura avançada.

Na área da administração, a pesquisa abre um leque de oportunidades para estudos aplicados em setores administrativos, a exemplo do setor de recursos humanos que é responsável pela admissão de novos talentos no mercado de trabalho e pela análise da lacuna de qualificação profissional. Estudos transversais que envolvem as áreas de finanças, engenharia e contabilidade na elaboração de planejamentos voltados às necessidades da 4RI com planos, metas e ações para os diversos setores de atividade e unidades de negócios são também oportunidades a serem estudadas em futuros trabalhos.

## REFERENCIAS<sup>24</sup>

ACCENTURE STRATEGY. **The growth game-changer: how the industrial internet of things can drive progress and prosperity**. 2015. Disponível em: < Growth Game Changer Power Point Deck with Speaker's Notes (bengalchamber.com)>. Acesso em: 20 set 2021.

ACEVEDO, C. R.; NOHARA, J. J. **Monografia no curso de administração: guia completo de conteúdo e forma: inclui normas atualizadas da ABNT, TCC, TGI, trabalhos de estágio, MBA, dissertações, teses**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Agenda brasileira para a indústria 4.0. O Brasil preparado para os desafios do futuro**. ABDI, 2018. Brasília, 2018. Disponível em: <[https://Industria 4.0 \(industria40.gov.br\)](https://Industria 4.0 (industria40.gov.br))>. Acesso em: 01 de março de 2021.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Brasil aumentará a eficiência das empresas**. ABDI, 2020. Disponível em: <<https://ABDI - Brasil Mais aumentará a eficiência das empresas>>. Acesso em: 01 de maio de 2021.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Projetos**. ABDI, 2020. Disponível em: < ABDI - Projetos>. Acesso em: 01 fev 2021.

AIREHROUR, D.; GUTIERREZ, J.; RAY, S. K. Secure routing for internet of things: A survey. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 66, p. 198-213, 2016.

ALMEIDA, K. P. de. **Caracterização e evolução da inovação tecnológica e do apoio das políticas públicas na indústria brasileira de máquinas e equipamentos: uma análise a partir da Pesquisa de Inovação (PINTEC)**. 2020. 132 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.154>.

AMORIM, R. M.; LUFT, M. C. S. M.; JUNIOR MATOS, J. E.; SILVA, M. R. S. Agenda brasileira para a indústria 4.0: avaliação do estágio de execução das medidas propostas. **Revista FSA**, v. 17, n. 8, 2020.

ANDREONI, A. Varieties of Industrial Policy: Models, Packages, and Transformation Cycles. *In: Efficiency, Finance, and Varieties of Industrial Policy*. Columbia university press, 2016. p. 245-305.

ARAÚJO, B. C. O Núcleo Tecnológico da Indústria Brasileira–Bens de Capital. **Livro IPEA. Brasília**, 2011.

ARBIX, G. *et al.* O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: o que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. **Novos Estudos**, n. 109, p. 28-49, 2017.

---

<sup>24</sup> De acordo com o Manual de Normas de Formatação recomendadas pela Secretaria do PPGA USCS. Disponível em: <https://www.uscs.edu.br/boletim/745>.

ARROW, K. J. The economic implications of learning by doing. **Review of Economic Studies**, v. 29, n. 3. Oxford, Oxford University Press, 1962.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **Agenda de Competitividade**. Preparando o Brasil para a abertura comercial. Abimaq, 2019. Disponível em: < [abimaq-1 \(camara.leg.br\)](#)>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **Anuário ABIMAQ, 2020-2021**. Disponível em: < [Hub de Serviços - Documentos - Abimaq](#)>.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DAS EMPRESAS INOVADORAS. **ANPEI**. ANPEI, 2020. Disponível em: <<https://www.Home - ANPEI>>. Acesso em: 17 de maio de 2021.

AUTOMOTIVE BUSINESS. **Indústria 4.0 terá R\$ 5 milhões para testes no Brasil | Automotive Business**. 2017. Disponível em: [Indústria 4.0 terá R\\$ 5 milhões para testes no Brasil | Automotive Business](#)

BALASINGHAM, K. **Industry 4.0: securing the future for German manufacturing companies**. 2016. Dissertação de Mestrado. University of Twente.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Internet das coisas: um plano de ação para o Brasil**. BNDES, 2017. Rio de Janeiro. Disponível em:<<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-c>>. Acesso em: maio 2021. [Estudo “Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil” \(bndes.gov.br\)](#)

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Internet das Coisas: BNDES dobra orçamento de chamada pública e apoiará 15 projetos-piloto**. BNDES, 2019. Disponível em: <[Internet das Coisas: BNDES dobra orçamento de chamada pública e apoiará 15 projetos-piloto](#)>. Acesso em: 01 out 2021.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Indústria, comércio e serviços**. BNDES, 2019. Disponível em: < [Indústria, comércio e serviços \(bndes.gov.br\)](#)>. Acesso em: 01 junho de 2021.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Soluções para o seu negócio**. BNDES, 2021. Disponível em: <[Microcrédito \(bndes.gov.br\)](#)>. Acesso em: 03 mar 2021.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BELL, M. “Learning” and the accumulation of industrial technological capacity in developing countries. *In*: KING, K.; FRANSMAN, M. (Eds.). **Technological capability in the Third World**. London: Macmilan, 1984.

BELL, M.; PAVITT, K. The development of technological capabilities. *In*: HAQUE, I. U. **Trade, technology and international competitiveness**. Washington: The World Bank, 1995.

BELVEDERE, V.; GRANDO, A.; BIELLI, P. A quantitative investigation of the role of information and communication technologies in the implementation of a product-service system. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 2, p. 410-426, 2013.

BMBF. GERMANY. Federal Ministry of Education and Research. **The new High-Tech Strategy Innovations for Germany**. Berlin: BMBF, 2014. Hightech-Strategie 2025 - Hightech-Strategie

BONVILLIAN, W. B. **The rise of advanced manufacturing institutes in the United States, in The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business**. OECD Publishing, Paris, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1787/9789264271036-15-en>>. Acesso em: mar 2021.

BRASIL. Casa Civil. **Lei Complementar nº 182**. (2021, 1 de junho). Institui o marco legal das **startups** e do empreendedorismo inovador; e altera a Lei nº 6.404, de 15 de dezembro de 1976, e a Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/LCP/Lcp182.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp182.htm)

BRESCHI, S.; MALERBA, F. Sectoral innovation systems: technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. **Systems of innovation: Technologies, institutions and organizations**, v. 1, p. 130-156, 1997.

BUNSE, B.; KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W. Industrie 4.0-smart manufacturing for the future. **Germany Trade and Invest Gesellschaft fuer Aussenwirtschaft und Stanfortmarketing mbH, Berlin**, 2014.

BUXMANN, P.; HESS, T.; RUGGABER, R. Internet of services. **Business & Information Systems Engineering**, v. 1, n. 5, p. 341, 2009.

CAGNIN, R. **Indústria 4.0: Brasil está muito atrasado e leva muito pouco a sério esse debate**. Sputnik Agência de Notícias. Agosto de 2021. Disponível em: <<https://br.sputniknews.com/>>. Acesso em: 01 de setembro de 2021.

CÂMARA DE COMÉRCIO E INDÚSTRIA BRASIL-ALEMANHA. Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha. **Sistema de Formação Dual de Ensino**. 2021. Disponível em: <Câmara Brasil-Alemanha de São Paulo ([ahkbrasilien.com.br](http://ahkbrasilien.com.br)) >. Acesso em: 20 mar 2021.

CARLSSON, B.; STANKIEWICZ, R. On the nature, function and composition of technological systems. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 1, n. 2, 1991.

CARLSSON, B. *et al.* Innovation systems: Analytical and methodological issues. **Research Policy**, v. 31, n. 2, 2002.

CASSIOLATO, J. E. Interação, aprendizado e cooperação tecnológica. [S.l.: s.n.]. **Serie Contribuciones – Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnologia (RICYT)**, 2004.

CASTELLACCI, F. Technological paradigms, regimes and trajectories. **Manufacturing and service industries in a new taxonomy of sectoral patterns of innovation**, 2007.

CAVALCANTE, L. R.; DE NEGRI, F. **Trajatória recente dos indicadores de inovação no Brasil**. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica (IPEA), 2011.

CAVALCANTE, L. R. Classificações tecnológicas: uma sistematização. **Nota técnica nº 17**. Brasília: IPEA, 2014.

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI. **Inauguração do Laboratório de Manufatura Digital da FEI**. FEI, 2016. Disponível em: <[\(2506\) Inauguração do Laboratório de Manufatura Digital na FEI - YouTube](#)>. Acesso em: 19 de janeiro de 2020.

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI. **Plataforma de Inovação FEI – Megatendências 2050**. FEI, 2019. Disponível em: <[Plataforma de Inovação FEI - Megatendências 2050](#)>. Acesso em: janeiro de 2020.

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI. **FEI assina convênio com Multinacionais de Tecnologia**. FEI, 2019. Disponível em: <[FEI assina convênio com multinacionais de tecnologia](#)>. Acesso em: janeiro de 2020.

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI. **ROBOFEI**. FEI, 2019. Disponível em: <[Laboratório de Robótica - FEI](#)>. Acesso em: 23 e janeiro de 2020.

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI. **FEI é a primeira instituição brasileira a ter uma plataforma exclusiva de IoT da Siemens**. FEI, 2020. Disponível em: <[FEI é a primeira Instituição brasileira a ter plataforma exclusiva de IoT da Siemens](#)>. Acesso em: 22 de maio de 2021.

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI. **Programas de Mestrado e Doutorado**. FEI, 2021. Disponível em: <[Faça sua Pós-Graduação, Mestrado e Doutorado - Faculdade FEI](#)>. Acesso em: 23 de maio de 2021.

CHANG, H.-J.; ANDREONI, A.; KUAN, M. L. **International industrial policy experiences and the lessons for the UK**, 2013.

CHEN, S. *et al.* A vision of IoT: Applications, challenges, and opportunities with China Perspective. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 1, n. 4, p. 349–359, 2014.

CHEN, Z. The influence of 3D printing on global container multimodal transport system. **Complexity**, v. 2017, 2017.

CHINA. **The State Council the People’s Republic of China. Made in China 2025**. China, 2015. Disponível em: [madeinchina2025 \(www.gov.cn\)](#)> Acesso em: 20 mar. 2020.

CIMOLI, M. *et al.* Cambio structural, heterogeneidad productiva y tecnologia en America Latina. *In*: CIMOLI, M. (org.). **Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina**. Santiago de Chile: CEPAL, 2005. p. 20-40.

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE. **Avaliação de Desempenho do Brasil Mais Produtivo**. CEPAL, IPEA. Brasília, DF: CEPAL, IPEA, 2018.

CONCEIÇÃO, C. S. Mudança tecnológica e dinâmica industrial nas economias em desenvolvimento da América Latina e Ásia. **Indicadores Econômicos FEE**, v. 41, n. 3, 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**. Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Institucional**. CNI, 2020. Disponível em: < [www.portaldaindustria.com.br/cni/institucional/](http://www.portaldaindustria.com.br/cni/institucional/)>. Acesso em: 01 out 2021.

COOKE, P.; URANGA, M. G.; ETXEBARRIA, G. Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. **Research Policy**, v. 26, n. 4–5, 1997.

CORNELL UNIVERSITY. INSEAD (The Business School for the World); WORLD Intellectual Property Organization: The Global Innovation Index 2018: Energizing the world with innovation. Geneva: **WIPO**, 2018. Disponível em: <[GII 2018 Full print.WEB.pdf](http://GII_2018_Full_print.WEB.pdf) ([globalinnovationindex.org](http://globalinnovationindex.org))>. Acesso em: 20 jan. 2020.

COSTA, A.; ROCHA, M. GALA, P. **Missão Desenvolvimento. Indústria 4.0 e a (re) industrialização no Brasil**. 27 de julho de 2021. Disponível em: #21 Indústria 4.0 e a (re)industrialização no Brasil ([missaodesenvolvimento.com](http://missaodesenvolvimento.com)). Acesso em: 09 de setembro de 2021.

CRESWELL, J. W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens** (3. ed.). Porto Alegre: Penso, 2014.

DAI, Q. China and the next production revolution. *In: The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business*, OECD Publishing, Paris, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1787/9789264271036-16-en>>. Acesso em: 06 mar 2020.

DALUM, B.; JOHNSON, B.; LUNDEVALL, B. Public policy in the learning society. *In: LUNDEVALL, B. National Systems of Innovation*. London: Anthem Press, 2010, p. 293-315.

DAUDT, G. M.; WILLCOX, L. D. **Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 44, p. [5]-45, set. 2016.

DIEDERIK, V.; KRISTINA, D.; JORN, S. K. F.; FABIAN, N. **Smart factories. European Commission**. 2014. Available at: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/13395/attachments/3/translations/en/renditions/native> (accessed February 17, 2018).

DODGSON, M.; BESSANT, J. R. **Effective innovation policy**. International Thomson Business Press, 1996.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research policy**, v. 11, n. 3, p. 147-162, 1982.

DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: hit or hype? **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079>.

DYER, J. H., Specialized supplier networks as a source of competitive advantage: evidence from the auto industry. **Strategic Management Journal**, v. 17, n. 4, p. 271-291, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL. **Institucional**. EMBRAPPII, 2020. Disponível em: < [Institucional - Embrapii](#)>. Acesso em: 01 out 2021.

ERBER, F. S. S. Desenvolvimento industrial e tecnológico na década de 90: uma nova política para um novo padrão de desenvolvimento. **Ensaio FEE**, v. 13, n. 1, p. 9-42, 1992.

ERBER, F. S.; CASSIOLATO, J. E. Política industrial: teoria e prática no Brasil e na OCDE. **Revista de Economia Política**, v. 17, n. 2, p. 66, 1997.

EUA. National Science and Technology Council. **Advanced Manufacturing: a snapshot of priority technology areas across the federal government**. EUA, 2016. Disponível em: < [Manufacturing USA](#)>. Acesso em: jan 2021.

EUA. National Science and Technology Council. **National Strategic Plan for Advanced Manufacturing**. EUA, 2012. Disponível em: < [National Strategic Plan for Advanced Manufacturing | NIST](#)>. Acesso em: jan 2021.

EXAME. **Melhores & Maiores 2019: as 1000 maiores empresas do Brasil**. São Paulo, Editora Abril, ago. 2019.

FIGUEIREDO, P. **Technological Learning and Competitive Performance**. Cheltenham, UK; Northampton, US: Edward Elgar, 2001.

FIGUEIREDO, P. **Aprendizagem Tecnológica e Performance Competitiva**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2003.

FIGUEIREDO, P. Acumulação tecnológica e acumulação industrial: conceitos, mensuração e evidências no Brasil. **São Paulo em perspectiva**, v. 19, n. 1, p. 54-69, 2005.

FIGUEIREDO, P. **Gestão da inovação: conceitos, métricas e experiências de empresas no Brasil**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS. **Inovação e Pesquisa**. FINEP. 2021. Disponível em: < [O que apoiamos \(finep.gov.br\)](#)>. Acesso em: 01 09 de 2021

FREEMAN, C. **Technology policy and economic performance; lessons from Japan**: Christopher Freeman. 1987.

FREEMAN, C. Japan: a new national system of innovation? *In*: DOSI, G. *et al*. **Technical Change and Economic Theory**. London: Pinter, 1988. p. 330-347.

FREEMAN, C. The 'National System of Innovation' in historical perspective. **Cambridge Journal of economics**, v. 19, n. 1, p. 5-24, 1995.

FREEMAN, C. Continental, national and sub-national innovation systems—complementarity and economic growth. **Research policy**, v. 31, n. 2, p. 191-211, 2002.

GEELS, F. W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. **Research Policy**, v. 31, n. 8–9, 2002.

GEREFFI, G. Global Value Chains in a Post-Washington Consensus World. **Review of International Political Economy**, v. 21, n. 1, pp. 9–37, 2014.

GERLITZ, L. Design management as a domain of smart and sustainable enterprise: business modelling for innovation and smart growth in Industry 4.0. **The International Journal Entrepreneurship and Sustainability Issues**, v. 3, n. 3, p. 244-268, 2016.

GERMANY TRADE & INVEST. **Industrie 4.0: Smart manufacturing for the future**. GTAI, 2014. Disponível em: <Industrie 4.0 (gtai.de)>. Acesso em: mar 2020.

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

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa** (6. ed.). São Paulo: Atlas, 2017.

GILCHRIST, A. **Industry 4.0: the industrial internet of things**. Springer. Apress, New York, 2016.

GIUSTO, D.; IERA, A.; MORABITO, G.; ATZORI, L. **The internet of things: 20th Tyrrhenian workshop on digital communications**. Springer Science & Business Media, 2010.

GORDON, J. L. **EMBRAPII-Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial: desenho institucional e inovação. 2020**. Disponível em: <Embrapii: desenho institucional e inovação - A Revolução Industrial Brasileira. (rib.ind.br)>. Acesso em: 11 mar 2021.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design principles for industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**. Technische Universität Dortmund, 2015. Disponível em: <<http://www.snom.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-rinciplesfor>> Industrie-4\_0-Scenarios.pdf. Acesso em: 20 jul. 2019.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. *In*: **2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)**. IEEE, 2016. p. 3928-3937.

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in industry**, v. 89, p. 23-34, 2017.

HONG, J. The state of phishing attacks. **Communications of the ACM**, v. 55, n. 1, p. 74-81, 2012.

HORTA, G.T. de L.; GIAMBIAGI, F. **Perspectivas DEPEC 2018: o crescimento da economia brasileira 2018-2023**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018. 60 p.

HOWALDT, J.; KOPP, R.; SCHULTZE, J. **Why Industrie 4.0 Needs Workplace Innovation—A Critical Essay About the German Debate on Advanced**. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)**. Versão 2.0. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <IBGE | Biblioteca | Detalhes | Classificação nacional de atividades econômicas - CNAE: versão 2.0 / IBGE, Comissão Nacional de Classificação [e] IBGE. ->. Acesso em: junho de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Industrial Mensal. Produção Física Brasil - Índices Especiais de Bens de Capital**. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9319-indices-especiais-de-bens-de-capital.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Industrial Anual (PIA) – Empresa, 2019**. Disponível em: < [PIA-Empresa | IBGE](#)>. Acesso em: 01 out 2021.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **A Política de Desenvolvimento Produtivo**. Maio de 2008. Disponível em: < [\\*Política de Desenvolvimento Produtivo \(bndes.gov.br\)](#)>. Acesso em: setembro de 2021.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Política Industrial para o futuro - A iniciativa indústria 4.0 na Alemanha**. IEDI, 2017.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **A Política industrial da Alemanha para o futuro**. IEDI, 2017.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Indústria 4.0: Indústria 4.0: O plano estratégico da manufatura avançada nos EUA**. Carta IEDI, n. 820, 2017.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Indústria 4.0: A iniciativa Made in China 2025**. Carta IEDI, n. 827, 2018.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. 2018a. **Estratégias nacionais para a Indústria 4.0**. Carta IEDI 860, julho de 2018.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **A pandemia e o declínio do Brasil na Indústria mundial**. 2021. Disponível em: <IEDI - Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial>. Acesso em: 06 agosto. 2021.

INSTITUTO EUVALDO LODI. **Núcleo Central. Indústria 2027**. IEL, 2017. Relatório Síntese dos resultados. Tecnologias disruptivas e indústria: Situação atual e avaliação prospectiva. Brasília, 2018.

INSTITUTO EUVALDO LODI. **Pelo Futuro da Indústria**. IEL, 2020. Disponível em: <[https://www. IEL - Instituto Euvaldo Lodi \(portaldaindustria.com.br\)](https://www.IEL - Instituto Euvaldo Lodi (portaldaindustria.com.br))>. Acesso em: 17 de maio de 2021.

INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA. **Cursos Pós-Graduação**. IMT, 2020. Disponível em: <[maua.br](http://maua.br)>. Acesso em: 05 de janeiro de 2020.

INSTITUTOS NACIONAIS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Institutos de Engenharia e Tecnologia da Informação**. INCT, 2020. Disponível em: < [Institutos - INCT \(cnpq.br\)](http://Institutos - INCT (cnpq.br))>. Acesso em: março 2021.

JAPAN. Ministry of Economy, Trade and Industry. **Robot Revolution Initiative (RRI)**. METI, March 2015. Disponível em: [Robot Industry / METI Ministry of Economy, Trade and Industry](http://Robot Industry / METI Ministry of Economy, Trade and Industry)

JAPAN. Ministry of Economy. Trade and Industry METI. **Future Vision towards 2030s**. agosto 2016. Disponível em: [Industrial Structure Council / METI Ministry of Economy, Trade and Industry](http://Industrial Structure Council / METI Ministry of Economy, Trade and Industry)

JAPAN. Ministry of Economy, Trade and Industry. (METI, 2017). **Strategic Council for AI Technology. Artificial Intelligence Technology Strategy**. março 2017. Disponível em: [検索結果:strategic council for ai technology \(meti.go.jp\)](http://検索結果:strategic council for ai technology (meti.go.jp))

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

JIRKOVSKÝ, V.; OBITKO, M.; MAŘÍK, V. Understanding data heterogeneity in the context of cyber-physical systems integration. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 13, n. 2, p. 660-667, 2016.

KAGERMANN, H.; JOHANNES, H.; ARIANE, H.; WOLFGANG, W. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group**. Forschungsunion, 2013.

KANG, H. S.; LEE, J. Y.; CHOI, S. 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 Technology**, v. 3, n. 1, p. 111-128. 2016.

KIEL, Daniel; Müller, Julian M., ARNOLD, Christian; VOIGT, Kai-Ingo.. Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. **International Journal of Innovation Management**, v. 21, n. 8, p. 1-34, 2017.

KIM, L. **Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning**. Boston: Harvard Business School Press, 1997.

KOCIAN, J.; TUTSCH, M.; OZANA, S.; KOZIOREK, J. Application of modeling and simulation techniques for technology units in industrial control. *In: Frontiers in Computer Education*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. p. 491-499.

KUPFER, D. Que fazer em relação a política industrial? *In: 11º Fórum de Economia da FGV*. Universidade Federal do Rio de Janeiro-Instituto de Economia. São Paulo, 2014.

LALL, S. Technological capabilities and industrialization. **World Development**, v. 20, n. 2, p.165– 186, 1992.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.-G.; FELD, T.; HOFFNANN, M. Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LEE, E. A. Cyber physical systems: Design challenges. In **2008 11th IEEE international symposium on object and component-oriented real-time distributed computing (ISORC)**. IEEE, 2008. p. 363-369.

LEE, K.; MALERBA, F. Catch-up cycles and changes in industrial leadership: Windows of opportunity and responses of firms and countries in the evolution of sectoral systems. **Research Policy**, v. 46, n. 2, 2017.

LEE, J.; DAVARI, H.; SINGH, J. Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing letters**, v. 18, p. 20-23, 2018.

LEONARD-BARTON, D. **Wellsprings of Knowledge: Building and Sustaining the Sources of Innovation**. Boston, MA: Harvard Business School Press, 1995.

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

LIAO, Y.; DESCHAMPS, F.; LOURES, E. de F. R.; RAMOS, L. F. P. Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. **International journal of production research**, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.

LIAO, Y.; LOURES, E. R.; DESCHAMPS, F.; BREZINSKI, G.; VENÂNCIO, A. The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. **Production**, v. 28, 2018.

LIN, L. Plano quinquenal da China destaca disputa tecnológica com os EUA. **Valor econômico**, 2021. Disponível em: <Plano quinquenal da China destaca disputa tecnológica com os EUA | Mundo | Valor Econômico (globo.com)>. Acesso em: 08 mar 2021.

LIU, C.; XU, X. Cyber-physical machine tool—the era of machine tool 4.0. **Procedia Cirp**, v. 63, p. 70-75, 2017.

LORINI, A. Quanto falta para o Brasil aproveitar, de fato, a indústria 4.0. **Revista Exame**, fevereiro, 2021. Disponível em: <Quanto falta para o Brasil aproveitar, de fato, a indústria 4.0 | Exame (amproject.org)>. Acesso em: 15 fev, 2021.

LUCENA, F. A.; ROSELINO, J. E.; DIEGUES, A. C. A indústria 4.0: uma análise comparativa entre as experiências da Alemanha, EUA, China, Coréia do Sul e Japão. **Geosul**, v. 35, n. 75, p. 113-138, 2020.

LUNDEVALL, B. A. Product innovation and user–producer interaction. Industrial, Development Research Series. **Aalborg University Press**, v. 31, 1986.

LUNDEVALL, B. A. **National system of innovation: towards a theory of innovations and interactive learning**. London: Printer Publishers, 1992.

LUO, X. *et al.* Operator allocation planning for reconfigurable production line in one-of-a-kind production. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 3, p. 689-705, 2011.

LUTHRA, S.; MANGLA, S. K. Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 168-179, 2018.

MALERBA, F. Learning by firms and incremental technical change. **The Economic Journal**, p. 845-859, July. 1992.

MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. **Research policy**, v. 31, n. 2, p. 247-264, 2002.

MALERBA, F. Sectoral Systems and Innovation and Technology Policy. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 2, n. 2, p. 329-375, 2003.

MANUFACTURING. *In: Workplace Innovation*. Springer, Cham, 2017. p. 45-60.

MARSON, M. D. **Origens e evolução da indústria de máquinas e equipamentos em São Paulo, 1870-1960**. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade de São Paulo, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-63512012000300003>

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil – ProFuturo**. Brasília, DF: MCTI, 2017. Disponível em: <[https:// CI-Plano\\_de\\_CT\\_I\\_para\\_Manufatura\\_Avancada\\_no\\_Brasil-ProFuturo-2017-12-01\\_.pdf](https://CI-Plano_de_CT_I_para_Manufatura_Avancada_no_Brasil-ProFuturo-2017-12-01_.pdf) — Português (Brasil) ([www.gov.br](http://www.gov.br))>. Acesso em: 17 de maio de 2021.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Estratégia Brasileira para a Transformação Digital: E-Digital**. Brasília, DF: MCTI, 2018. Disponível em: <<https://www.estrategiadigital.pdf> (MCTI.gov.br)>. Acesso em: 17 de maio de 2021.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Programa Novos Caminhos**. Disponível em: <[Novos Caminhos \(mec.gov.br\)](http://NovosCaminhos(mec.gov.br))>. 2020. Acesso em: 04 mar 2021.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Rota 2030 Mobilidade e Logística**. Brasília, DF: ME, 2018. Disponível em: <<https://www.Governosanciona lei que institui o Programa Rota 2030> — Português (Brasil) ([www.gov.br](http://www.gov.br))>. Acesso em: 17 de maio de 2021.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Câmara Brasileira da Indústria 4.0**. Brasília, DF: ME, 2019. Disponível em: <<https://www.Governolanca Câmara Brasileira da Indústria 4.0> — Português (Brasil) ([www.gov.br](http://www.gov.br))>. Acesso em: 15 maio 2021.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Plano Brasil Maior - Inovar para Competir. Competir para crescer.** Brasília, DF: MDIC, 2011. Disponível em: <[http://App\\_Plano\\_Brasil \(www.gov.br\)](http://App_Plano_Brasil (www.gov.br))>. Acesso em: 01 de maio de 2021.

MICHNIEWICZ, J.; REINHART, G. Cyber-physical robotics—automated analysis, programming and configuration of robot cells based on Cyber-Physical-Systems. **Procedia Technology**, v. 15, p. 566-575, 2014.

MIGUEZ, T. de H. L.; WILLCOX, L. D.; DAUDT, G. M. **O setor de bens de capital: diagnóstico do período 2000-2012 e perspectivas a partir do cenário econômico.** 2015.

MIGUEZ, T. Bens de capital. *In*: PUGA, Fernando Pimentel; CASTRO, Lavínia Barros de (org.). **Visão 2035: Brasil, país desenvolvido: agendas setoriais para alcance da meta.** 1. ed. Rio de Janeiro: BNDES, p. 159-182, 2018.

MÓDOLO, D. B.; HIRATUKA, C. The impact of Chinese competition on third markets: An analysis by region and technological category. **Development Policy Review**, v. 35, n. 6, p. 797-821, 2017.

NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL. **A National Strategic Plan For Advanced Manufacturing.** NSTC, 2012.

NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL. **ADVANCED MANUFACTURING: A Snapshot of Priority Technology Areas Across the Federal Government.** NSTC, 2016.

NELSON, R. R. **National Innovation Systems: A comparative analysis.** New York: Oxford University Press, 1993.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. In search of a useful theory of innovation. *In*: **Innovation, economic change and technology policies.** Birkhäuser, Basel, 1977. p. 215-245.

NOGUEIRA, M. Cartão BNDES: Inovação no apoio às MPMEs. **IPEA Radar** nº 48, dezembro. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2016. Disponível em: [www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/radar/20170110\\_radar\\_48\\_art4.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/radar/20170110_radar_48_art4.pdf).

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **The Impacts of Nanotechnology on Companies: Policy Insights from case Studies.** OECD Publishing, Paris, 2010. Disponível em: < The Impacts of Nanotechnology on Companies: Policy Insights from Case Studies - OECD>. Acesso em: 20 de março de 2020.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Enabling the Next Production Revolution: Issues Paper, Background Document prepared for the Danish Production Council Conference, Shaping the Strategy for Tomorrow's Production.** OECD Publishing, Paris, 2015. Disponível em: <enabling the next production revolution: issues paper (oecd.org) >. Acesso em: 20 de março de 2020.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **The next production revolution: implications for governments and business.** OCDE Publishing, Paris, 2017. Disponível em: < [OCDE Work on Science, Technology and Innovation](#)>. Acesso em: 01 set 2020.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Getting skills right: Brazil, getting skills right.** OCDE Publishing, Paris, 2018. <https://doi.org/10.1787/9789264309838-en>.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **A caminho da era digital no Brasil.** OCDE Publishing, Paris, 2020. Disponível em: [https://www. A Caminho da Era Digital no Brasil | pt | OCDE | OCDE](https://www.ACaminhoDaEraDigitalnoBrasil|pt|OCDE|OCDE)>. Acesso em: 17 de maio de 2021. <https://doi.org/10.1787/45a84b29-pt>.

PARK, S.-C. The Fourth Industrial Revolution and implications for innovative cluster policies. **AI & SOCIETY**, v. 33, n. 3, p. 433-445, 2018.

PÉREZ, C.; SOETE, L. Catching up in technology: entry barriers and windows of opportunity. *In*: DOSI, G. *et al.* (Ed.). **Technical change and economic theory.** London: Pinter Publishers, 1988. p. 458-479.

PÉREZ, C. Technological change and opportunities for development as a moving target. **CEPAL Review**, 2001.

PIRES, J.; RUSSELL, N. **Assessing firm-support programs in Brazil.** Banco Interamericano de Desenvolvimento. Washington, DC. 2017. Disponível em: <https://publications.iadb.org/en/publication/17481/assessing-firm-support-programs-brazil>.

PIRES, M. C. Brasil, o Mundo e a Quarta Revolução Industrial: reflexões sobre os impactos econômicos e sociais. **Revista de Economia Política e História Econômica**, v. 40, p. 5-36, 2018.

PISANO, G. P.; SHIH, W.C. **Producing prosperity: Why America needs a manufacturing renaissance.** Harvard Business Press, 2012.

PLATTFORM INDUSTRIE 4.0. **What is the Plataforma Industrie 4.0?** julho, 2014. Disponível em: < [Plattform Industrie 4.0 - Background \(plattform-i40.de\)](#)>. Acesso em: mar 2019.

POSCO-NEWSROOM. **China is shifting to the “smart factory of the world.** 28/11/2016. Disponível em: < [China Is Shifting to the ‘Smart Factory of the World’ – Official POSCO Newsroom](#)>. Acesso em: 20 maio 2020.

PRESIDENT’S COUNCIL OF ADVISORS ON SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Report to the president accelerating U.S. advanced manufacturing.** PCAST, 2014. Washington: Executive Office of PCAST.

RIOS, S. P.; ARAÚJO, J. T. Desempenho industrial e vantagens comparativas reveladas. In Edmar Bacha e Monica Baumgarten de Bolle [orgs.] **O futuro da indústria no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Civilização Brasileira, 2013.

ROLAND BERGER. Reflexão sobre alternativas para aumento da competitividade da economia UNIDO. **International Yearbook of Industrial Statistic 2018**. 2019. Disponível em: <<https://www.unido.org/resources/publications/flagshippublications/international-yearbook-industrial-statistics>>.

ROLAND BERGER. **Sumário Executivo: reflexão sobre alternativas para aumento da competitividade da economia**. São Paulo, 2019.

RUDIO, F. V. **Introdução ao projeto de pesquisa científica** (38. ed.). Petrópolis: RJ, 2011.

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; ENGEL, P.; HARNISCH, M.; JUSTUS, J. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.

SAKONG, M. The progress of the fourth industrial revolution in Japan and its implications. **Korea Institute for Industrial Economics & Trade**, v. 22, n. 2, p. 37-49, 2017.

SALERNO, M. S. **Apoio do governo para a Indústria 4.0 é insuficiente**. Universidade de São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.Apoio do governo para a Indústria 4.0 é insuficiente – Jornal da USP>>. Acesso em: 22 maio de 2021.

SANTOS, M. dos; PICCININI, M. S. Indústria brasileira de bens de capital mecânicos - comércio internacional. **Revista do BNDES**. Rio de Janeiro, v.14, n. 29, p. 177-234, jun. 2008.

SARTI, F.; HIRATUKA, C. **Desempenho recente da indústria brasileira no contexto de mudanças estruturais domésticas e globais**. Texto para discussão, n. 290, p. 1-38, 2017.

SCHLUGA, O.; BAUER, E.; BICAKU, A.; MAKSUTI, S.; TAUBER, M.; WOHRER, A. Operations security evaluation of IaaS-cloud backend for industry 4.0. CLOSER 2018 - Proceedings of the 8th International Conference on Cloud Computing and Services Science. **Anais...** Funchal. 2018.

SCHUMPETER, J. A. **The theory of economic development**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1934 [1911].

SCHWAB, K. **The Global Competitiveness Report 2019, Geneva, Switzerland: World Economic**. 2019. Disponível em: <Global Competitiveness Report 2019 | World Economic Forum (weforum.org)>. Acesso em: 01 set. 2020.

SENGE, P. The leader's new work: building learning organizations. *Sloan Management Review*, n. 32, p. 7-23, 1990.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. Senai Institucional. 2021. Disponível em: < [Portal SENAI-SP - O Sistema Senai](#)>. Acesso em: mar 2021.

ŚLUSARCZYK, B. (2018). Industry 4.0: Are we ready? **Polish Journal of Management Studies**, 17(1), 232-248.

SUZIGAN, W.; VILLELA, A. V. **Industrial policy in Brazil**. Campinas: Unicamp; FAPESP, 1997.

SUZIGAN, W.; FURTADO, J. Instituições e políticas industriais e tecnológicas: reflexões a partir da experiência brasileira. **Estudos Econômicos**, v. 40, n. 1, p. 7-41, 2010.

STOKEY, N. L. Learning by doing and the introduction of new goods. **Journal of Political Economy**, v. 96, n. 4, p. 701-717, 1988.

TACLA, C. L.; FIGUEIREDO, P. N. The dynamics of technological learning inside the latecomer firm: evidence from capital goods industry in Brazil. **International Journal Technology Management**, v. 36 n.1-2-3, p.62-90, 2006.

TAMÁS, P.; ILLÉS, B. Process improvement trends for manufacturing systems in industry 4.0. **Academic Journal of Manufacturing Engineering**, v. 14, n. 4, 2016.

TIGRE, P. B. Gestão da inovação: a economia da tecnologia no Brasil. Rio de Janeiro. **Campus/Elsevier**, v. 282, 2006.

TOKYO. Ministry of Economy, Trade and Industry. “**Connected Industries**” **Tokyo Initiative 2017**. Disponível em: < [Connected Industries / METI Ministry of Economy, Trade and Industry](#)>. Acesso em: mar 2021.

TSELICHTCHEV, I. **China versus Ocidente: O deslocamento do poder global no século XXI**. DVS Editora, 2015.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **Unesco Science Report: Towards 2030**.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **Paris: 2015.** Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002354/235406e.pdf>.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. UNIDO, **World Manufacturing Production in 2018**. Statistics Data Portal. Disponível em: <[UNIDO STATISTICS DATA PORTAL](#)>. Acesso em: 20 de agosto de 2021

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. **Núcleo de Economia Industrial e da Tecnologia 2020 (NEIT)**. Disponível em: < [ufsc.br](#) >. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial – **2020 DCA**. Disponível em: < [DCA | Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação - UNICAMP](#)>. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. Faculdade de Engenharia Mecânica. **Linhas de Pesquisa**. 2020. Disponível em: < [unicamp.br](http://unicamp.br) >. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. **Laboratório de Fabricação Digital (FabLab)**. 2020. Disponível em: < [unicamp.br](http://unicamp.br) >. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. Centro de Pesquisa em Engenharia de Produção (**CENPRO**). 2020. Disponível em: < >. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. **Centro de Pesquisa em Tecnologia (CTMOBI)**. 2020. Disponível em: < [unicamp.br](http://unicamp.br) >. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. **Centro de Pesquisas em Administração (CEPAD)** 2020. Disponível em: < [unicamp.br](http://unicamp.br) >. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. **Agência de Inovação da Unicamp (INOVA)**. 2020. Disponível em: < [Homepage - Inova \(unicamp.br\)](http://Homepage - Inova (unicamp.br)) >. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Grupos de Pesquisa**. 2020 Disponível em: < [uergs.edu.br](http://uergs.edu.br) >. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC. **Santo André ganha novo ambiente para desenvolver a Indústria 4.0**. 2021 Disponível em: < [ufabc.edu.br](http://ufabc.edu.br) >. Acesso em: 22 de maio de 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC. **InovaUFABC**. 2020. Disponível em: < [InovaUFABC | Agência de Inovação - Universidade Federal do ABC](http://InovaUFABC | Agência de Inovação - Universidade Federal do ABC) >. Acesso em: 22 de maio de 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC. **Pós-Graduação UFABC. Cursos de Mestrado e Doutorado**. 2020. Disponível em: < [Cursos | Pós-Graduação UFABC](http://Cursos | Pós-Graduação UFABC) >. Acesso em: 23 de maio de 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Núcleo de Engenharia Organizacional (NEO)**. 2020. Disponível em: < [Sobre | NEO \(ufrgs.br\)](http://Sobre | NEO (ufrgs.br)) >. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP)**. UFSC, 2020. Disponível em: < [ufsc.br](http://ufsc.br) >. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA **Núcleo de Inovação em Moldagem e Manufatura Aditiva (NIMMA)**. UFSC, 2020. Disponível em: < [ufsc.br](http://ufsc.br) >. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Novo laboratório de tecnologia da informação terá foco em celular, internet das coisas e games**. USP, 2016. Disponível em: < [Novo laboratório de tecnologia da informação terá foco em celular, internet das coisas e games – USP – Universidade de São Paulo](http://Novo laboratório de tecnologia da informação terá foco em celular, internet das coisas e games – USP – Universidade de São Paulo) >. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Centro de Inovação e Empreendedorismo** (CIETEC). 2020. Disponível em: < [Ciente - Inovação e Empreendedorismo](#)>. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Fábrica do Futuro**. 2020. Disponível em: < [usp.br](#)>. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Pós-Graduação**. 2020. Disponível em: < [Pós-graduação – USP – Universidade de São Paulo](#)>. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Escola de Engenharia Elétrica e de Computação** (EESC). Disponível em: < [usp.br](#)>. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Laboratório de Automação Inteligente de Processos e Sistemas** (LAIPS). 2020. Disponível em: < [usp.br](#)>. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos – PMR – **Laboratórios**. 2020. Disponível em: < [usp.br](#)>. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

VARGHESE, A.; TANDUR, D. Wireless requirements and challenges in Industry 4.0. *In: 2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*. IEEE, 2014. p. 634-638.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2006.

VERGARA, S. C. **Método de Pesquisa em Administração** (6. ed.) São Paulo: Atlas, 2015.

VERMULM, R.; ERBER, F. Cadeia: bens de capital. **Estudo da Competitividade de Cadeias Integradas no Brasil**: impactos das zonas de livre comércio. UNICAMP-IE-NEIT, 2002. (Nota Técnica Final).

VERMULM, R. **A indústria de bens de capital seriados**. Convênio CEPAL/IPEA. Dezembro de 2003.

VERMULM, R. **Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil**. Carta IEDI 862. IEDI, 2018.

VOGEL-HELSE, B.; HESS, D. Guest editorial Industry 4.0-prerequisites and visions. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 13, n. 2, p. 411-413, 2016.

VON HIPPEL, E. Lead users: a source of novel product concepts. **Management Science**, v. 32, n. 7, p. 791-805, 1986.

WALTRICK, R. Tendência no exterior, uso de robôs na indústria ainda é incipiente no Brasil. **Jornal Gazeta do Povo**, maio de 2016. Disponível em: < Tendência no exterior, uso de robôs na indústria ainda é incipiente no Brasil ([gazetadopovo.com.br](#)) >. Acesso em: 13-01-2018.

WANG, Z.; CHEN, C.; GUO, B.; YU, Z.; ZHOU, X. Internet plus in China. **It Professional**, v. 18, n. 3, p. 5-8, 2016.

WU, D.; TERPENNY, J.; SCHAEFER, D. Digital design and manufacturing on the cloud: A review of software and services—RETRACTED. **AI EDAM**, v. 31, n. 1, p. 104-118, 2017.

WÜBBEKE, J. *et al.* Made in China 2025. **Mercator Institute for China Studies. Papers on China**, v. 2, p. 74, 2016.

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

## ANEXO A - Matriz de Síntese

Matriz de Síntese das Iniciativas de Políticas e Programas para Manufaturas Avançada					
Categorias/ Países	China	Japão	Alemanha	EUA	Brasil
Objetivos	<p>qualidade dos produtos chineses; elevar o patamar tecnológico e produtivo no setor industrial; inovação nas indústrias; implementar tecnologias digitais; inovação colaborativa entre indústrias; liderança industrial; qualidade de produtos; padronizar leis e regulamentos; desenvolvimento verde; confiança nos produtos fabricados; orientação para oferta de serviços; estimular clusters industriais; investimento em talentos especialistas;</p>	<p>Manter competitividade; novos mercados nos setores que envolvem: produção, medicina, logística, dentre outros; uso sistemático de robôs; promoção da utilização de dados; recrutamento de recursos humanos; desenvolvimento tecnológico; inovação; capacidades financeiras; disseminar as mudanças preconizadas pela QRI entre as PMEs e a economia regional; P&amp;D; industrialização da tecnologia de IA; sociedade conectada.</p>	<p>liderança, parcerias entre institutos de pesquisa e o setor industrial; arquitetura de referência para a produção de sistemas logísticos; sensores e atuadores com tecnologias digitais e serviços de softwares; tecnologias de manufatura avançada altamente disruptivas; iniciativa privada, Universidades, sindicatos e representantes de outras instituições; avanço do setor industrial no país; novos mercados; normas para a indústria 4.0;</p>	<p>Competitividade; progresso do setor manufatureiro; consórcio para o setor manufatureiro; inovação; institutos de pesquisa; centros tecnológicos; interoperabilidade; rede nacional compartilhada de manufatura; "Industrial Commons"; parcerias setor público e privado; treinamento e Qualificação da força de trabalho</p>	<p>qualidade de vida nas cidades; acesso à saúde de qualidade no Brasil; aumentar a produtividade; maior exportador de soluções de IoT para agropecuária tropical; modelos de negócios inovadores; cooperação nas diversas cadeias produtivas; acesso e inserção das empresas brasileiras no ecossistema de manufatura avançada; aliança sólida entre agentes da trílice hélice para manufatura avançada; processo de digitalização da produção; ensino e o treinamento para o ambiente digital; estratégias para empresários alcançarem a transformação digital; difusão dos conceitos referentes à indústria 4.0; competitividade da indústria nacional; indústria automotiva brasileira integrada às cadeias globais de valor;</p>

Categorias /Países	China	Japão	Alemanha	EUA	Brasil
Objetivos	investimento em P&D e design; produção de tecnologias digitais; competitividade, independência tecnológica		mercado de trabalho; padronização técnicas, eficiência na produção, oportunidades de empregos; equilíbrio de vida e trabalho; pesquisa e inovação		capacidades gerenciais para as PMES; impactos das tecnologias disruptivas; produtividade da cadeia de fornecedores do setor automotivo; investimentos em PD&I na cadeia de fornecedores do setor automotivo; fortalecer a cadeia de ferramental e moldes destinados a produtos automotivos; produção de novas tecnologias relacionadas a biocombustíveis; segurança veicular; propulsão alternativa à combustão; difusão tecnológica no âmbito da inovação; promover a aquisição de software e serviços de implementação; promover o aumento da eficiência; da produtividade; da qualidade dos produtos; reduzir custos de produção.
Instrumentos	Plano "Made in China 2025"; "Internet Plus"; 13º Plano Quinquenal; 14º plano quinquenal	"Visão Futura da Estrutura Industrial Inovadora"; Iniciativa Revolução Robótica (RRI; Políticas de Indústrias Conectadas Tóquio 2027	Iniciativa High Tech Strategy 2020; programa de inovação - ICT 2020; programa Autonomia para Indústria 4.0; projeto CyProS; projeto RES-COM; projeto Industrie 4.0; High Tech Strategy 2025	"A National Strategic Plan For Advanced Manufacturing"; "Advanced Manufacturing: a snapshot of priority technology areas across the federal government"	Plano Nacional de Internet das Coisas (IoT); Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil - ProFuturo; Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (E-Digital); Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 no Brasil; Programa Rota 2030; Programa Brasil Mais; Projeto Indústria 2027; Mapa Estratégico da Indústria.

<b>Categorias /Países</b>	<b>China</b>	<b>Japão</b>	<b>Alemanha</b>	<b>EUA</b>	<b>Brasil</b>
<b>Incentivos</b>	Incentivos fiscais; empréstimos; Incentivos para P&D	Incentivos do governo federal para P&D em IA; investimento em recursos humanos; ações que promovam a geração de dados; apoio para empreendimentos que estão iniciando os seus negócios de base tecnológica	Financiamento para o desenvolvimento de projetos de P&D; financiamento para a pesquisa inovadora em sistemas tecnológicos com ênfase na indústria 4.0; concessão de 40 milhões de euros às empresas e institutos de pesquisas que estimulam a integração entre as tecnologias inovadoras de informação e comunicação e o setor industrial nas áreas de produção e logística; aporte de aproximadamente 200 milhões de euros para aplicação de tecnologias voltadas para a manufatura	Estruturação de consórcio para o setor manufatureiro, para o desenvolvimento de pesquisas em tecnologias de produção envolvendo o setor privado; criação de uma infraestrutura para P&D e inovação nos institutos de pesquisa e inovação; formação de centros tecnológicos para incentivar a inovação em diferentes estágios de maturidade; investimento de trezentos e cinquenta milhões de dólares e do Institute of Photonics - AIM Photonics”, localizado em Nova York	Incentivar a inovação; apoiar as PMEs na implementação de tecnologias digitais de manufatura; oferecer consultoria para PMEs; disponibilizar linhas de crédito para apoio a difusão tecnológica;
<b>Plano piloto</b>	Cidade portuária de Ningbo	Não informado	Ambientes de testes em universidades e institutos de pesquisa	Planos pilotos nos Institutos de Inovação	Plataformas de teste para a Indústria 4.0 disponibilizados pela ABDI

<b>Categorias/ Países</b>	<b>China</b>	<b>Japão</b>	<b>Alemanha</b>	<b>EUA</b>	<b>Brasil</b>
<b>Qualificação</b>	Aprendizado técnico; programas acadêmicos para apoiar tecnologias avançadas	Estimular modalidade de ensino público para formação profissionalizante; certificação de qualificação em sistemas	Recomendar habilidades e conhecimentos necessários no contexto da Indústria 4.0; Treinamento e desenvolvimento profissional contínuo	Certificações de habilidades reconhecidas em nível nacional; articulação entre Universidades e empresas; novos modelos educacionais de formação profissional; aprendizado online	Capacitação e requalificação de profissionais adequada às demandas de competências e habilidades em manufatura avançada; Treinamento das empresas e qualificação de colaboradores no conceito 4.0; desenvolver competências para a Indústria 4.0
<b>Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0</b>	IoT; computação em nuvem; big data; IA; computação quântica; biotecnologia, nanotecnologia e robótica, manufatura aditiva	IoT; IA; Robótica; Big Data	IoT, IoS, Simulação, M2M; sistemas ciberfísico, sistemas integrados	Manufatura Aditiva; Compósitos Avançados; Design; eletrônica híbrida flexível; Fotônica; Materiais Ultraleves; Produção Inteligente; Têxteis; Eletrônica de potência;	Sistemas ciberfísicos; IoT; robótica; IA; manufatura aditiva, realidade aumentada; sensoriamento; plataforma de comunicação; interoperabilidade; Big data; computação em nuvem; simulação e modelagem; IoS; segurança cibernética; Produção Inteligente; Materiais Avançados (MA); Nanotecnologia (NANO); Biotecnologia (BIO); Armazenamento de Energia (AE)
<b>Fontes de financiamento</b>	Instituições públicas; bancos; fundos voltados para tecnologia; fundos para startups; fundos públicos, expansão de crédito para pequenas firmas e plataformas de internet	Suporte do governo federal para projetos temáticos de médio e longo prazo de múltiplas empresas e para projetos individuais de curto prazo	Financiamento do governo federal para: pesquisa em inovação de sistemas tecnológicos; integração e implementação de tecnologias digitais; desenvolvimento de sensores e atuadores; aplicação de tecnologias da manufatura avançada	Financiamento do governo federal para P&D; financiamento dos governos federal; estadual e local para institutos de inovação.	Financiamentos do governo federal para o desenvolvimento e uso de tecnologias de manufatura avançada; Financiamentos para a Indústria 4.0; financiamentos de longo prazo para instituições que contribuam para o desenvolvimento do país na implementação de tecnologias digitais

<b>Categorias/ Países</b>	<b>China</b>	<b>Japão</b>	<b>Alemanha</b>	<b>EUA</b>	<b>Brasil</b>
<b>Atores</b>	Governo federal; empresários; consultores; indústrias, universidades; institutos de pesquisa e inovação	Líderes empresariais globais; Governo Federal; sociedade civil; organizações internacionais; startups; setor automobilístico, agrícola, saúde, infraestrutura; universidades, institutos de pesquisa e inovação; Conselho de Competitividade Industrial; Conselho de Ciência e Inovação Tecnológica; Conselho de Reforma Regulatória; IIT-Iniciativa para a Implementação da Internet Industrial dos EUA; Plataforma Indústria 4.0	Governo Federal; Sindicatos; representantes políticos; associações industriais; universidades; departamentos governamentais e estados federais; Instituto Fraunhofer-Gesellschaft; Centro Alemão de Inteligência Artificial – DFKI; Aliança de Pesquisa Indústria-Ciência; It's OWL; Acatech; SmartFactory KL; Plataforma Industrie 4.0; Volkswagen; Bosch; Kuka; Festo AG; SAP AG; Wittenstein AG; WEG; Siemens	Governo Federal; empresas; universidades; institutos de pesquisa e inovação; representantes da indústria; Governos Estaduais; Governos locais;	Governo Federal; universidades; representantes da indústria; institutos de pesquisa e inovação; rede SENAI; SEBRAE; entidades empresariais; sindicatos; ABIMAQ; ABDI
<b>Setores prioritários</b>	Aviação, maquinário industrial, TICs, setor naval, equipamentos de transporte ferroviário, veículos de energia limpa, equipamentos médicos, biotecnologia, novos materiais, engenharia oceânica, robótica, e maquinário para agricultura	Automotivo; eletrônica; serviços; agrícola; indústria da transformação; mobilidade; saúde; agricultura; turismo; educação; produção; robótica; biotecnologia; materiais; segurança indústrias; infraestruturas; sociedade inteligente; cidades inteligentes	Automotivo; máquinas e equipamentos; automação; energia; saúde; mobilidade; segurança; comunicação; sustentabilidade; Economia; Trabalho 4.	Materiais avançados; bioprodução; farmacêutico; indústria; aeroespacial	Cidades inteligentes; saúde; agronegócio; manufatura; alimentos processados; insumos básicos; siderurgia; química; bioeconomia; petróleo e gás; exploração de águas profundas; bens de capital; máquinas agrícolas; máquinas ferramenta; motores elétricos; automotivo; veículos leves; TIC; telecomunicações; microeletrônica; software; farmacêutico; biofármacos; bens de consumo; têxtil; vestuário; serviços; varejo; meio ambiente; engenharia; energia; nanotecnologia; políticas públicas.