

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

ALLAN APARECIDO CARDOSO PEREIRA

INDÚSTRIA 4.0 E BENS DE CAPITAL: UMA
ANÁLISE DAS EXPERIÊNCIAS BRASILEIRA E ALEMÃ

UBERLÂNDIA – MG

2021

ALLAN APARECIDO CARDOSO PEREIRA

INDÚSTRIA 4.0 NA INDÚSTRIA DE BENS DE CAPITAL: UMA
ANÁLISE DAS EXPERIÊNCIAS BRASILEIRA E ALEMÃ

Monografia apresentada ao Instituto de
Economia da Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Germano Mendes de
Paula

UBERLÂNDIA– MG

2021

ALLAN APARECIDO CARDOSO PEREIRA
INDÚSTRIA 4.0 NA INDÚSTRIA DE BENS DE CAPITAL: UMA
ANÁLISE DAS EXPERIÊNCIAS BRASILEIRA E ALEMÃ

Monografia apresentada ao Instituto de
Economia da Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Ciências Econômicas.

BANCA EXAMINADORA

Uberlândia, 22 de Outubro 2021

Prof. Dr. Germano Mendes de Paula

Prof^ª. Dr.^a Ana Paula Macedo de Avellar

Prof^ª. Dr.^a Marisa dos Reis Azevedo Botelho

Agradecimentos

A finalização desta monografia é a representação de mais de quatro anos de muitos ensinamentos e realizações. Dentre idas e vindas e incertezas do momento em que estamos vivendo, encerrar esse ciclo de vida é um grande privilégio em que poucos se elegem. Este trabalho finda uma experiência acadêmica e o começo de novos sonhos e planos.

Agradeço a vida, primeiramente, por me dar oportunidade e garra de encarar toda essa jornada na universidade. Aos meus amigos que me ouviram diversas vezes sobre o andamento dessa monografia e que me apoiaram imensamente nesse trabalho. E, sem dúvidas, meus pais; em especial a minha mãe que sempre se esforçou para me apoiar em toda essa trajetória acadêmica em Uberlândia.

Ao Prof. Dr. Germano, agradeço mais que todos nessa lista. Paciente, competente me dirigiu com maestria meu trabalho. Cobrou imensamente meus esforços para que eu pudesse crescer e evoluir na pesquisa. Além disso, como um real parceiro, desde: tempos de ACPE, aulas de projetos, indicações de estágio e orientações em escolhas de vida. Espero contar sempre contigo, daqui pra frente.

Agradeço a Universidade Federal de Uberlândia e as políticas de incentivo à educação que permitiram minha entrada. A todos os professores com quem tive o privilégio de ter aula, também agradeço.

Agradeço a ACPE, que foi uma das minhas principais experiências dentro da Universidade. Nela, obtive a real experiência prática de lidar com problemas de mercado; que despertaram o meu interesse em meu posicionamento de mercado atual em lidar com empreendedores. Sem os erros e acertos que aconteceram nessa trajetória, não teria conseguido realizar as conquistas profissionais que possuo hoje em meu currículo. E, principalmente, o reconhecimento e prestígio por ter trabalhado em umas das principais referências de empresa júnior na UFU.

RESUMO

O tema da Indústria 4.0 expressa a evolução da produção para um conceito de conexão entre fábrica e sistemas *cyber* físicos inteligentes. Embasado na identificação de oito *clusters* tecnológicos, o trabalho expõe os efeitos tecnológicos sobre o setor manufatureiro; os *clusters* conjuntamente formam o conceito de Indústria 4.0. O trabalho, aqui tratado, tem como objetivo discutir e ilustrar o como as novas tecnologias afetam a indústria de bens de capital. Em uma análise sobre os países: Brasil e Alemanha, esta pesquisa analisa como as políticas adotadas nesses países refletem no setor de bens de capital de cada nação.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Bens de capital, Inovação, Tecnologia.

ABSTRACT

The subject of Industry 4.0 manifests the evolution of production towards a concept of connection between factory and intelligent physical cyber systems. Based on the identification of eight technological clusters, this paper discusses the technological effects on the manufacturing sector, the clusters combined express the concept of Industry 4.0. This monograph aims to discuss and expose how new technologies affect the capital goods industry. By investigating the Brazilian and German experiences, it presents the way in which the policies adopted in the mentioned countries impact on the respective capital goods sector.

Keywords: Industry 4.0, Capital goods, Innovation, Technology.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Participação (percentual) da indústria no valor da produção de todas	24
Tabela 2: Produção mundial de bens de capital por país – 1997 – 2025.....	25
Tabela 3: Países em Desenvolvimento e Economias Industriais emergentes produtores de Máquinas e Equipamentos em 2016	26
Tabela 4: Sistema produtivo de bens de capital – 2016 (milhões de dólares).....	28
Tabela 5: Composição do PIB alemão por setor – 2019	32
Tabela 6: Oportunidade de crescimento indústria 4.0 Alemã, 2013-2025	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Linha do tempo das Revoluções Industriais – 1784 – 2020	11
Figura 2: Blocos básico da IoT.....	18
Figura 3: Clusters tecnológicos	21
Figura 4: Áreas de atuação da High Tech Strategy	36
Figura 5: Operador utilizando olhos para navegar no sistema de montagem industrial SAP.	40
Figura 6: Corrente de comércio de máquinas e equipamentos especializados no Brasil – 2019	54
Figura 7: plano de ações governo brasileiro para implementação da indústria 4.0.....	59
Figura 8: Choques da inovação – impactos de oito tecnologias para a competitividade de setores produtivos.....	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Participação dos países na produção mundial de bens de capital em 2016 (US\$).....	27
Gráfico 2 - Coeficiente de importações sobre consumo aparente - 2016.....	29
Gráfico 3: Investimentos totais na Alemanha por setor, em 2018 (%)......	34
Gráfico 4: Receita do setor de bens de capital e a margem EBIT na Alemanha, 2016-2020 (bilhões de euros).....	42
Gráfico 5 - Variação Anual do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, 2012-2018 (%)	45
Gráfico 6 - Formação bruta de capital fixo (FBCF) e coeficiente de participação de bens de capital na FBCF, 2010-2020 (índice 2010 = 100 em milhões de reais).	46
Gráfico 7 - Evolução do número de empregos no setor de bens de capital, 2012-2018 (coeficiente de produtividade)	47
Gráfico 8: Estabelecimentos e empregos segundo o porte de empresa na indústria brasileira de bens de capital, 2020 (média de empresas e estabelecimentos)	48

Gráfico 9: Produção de bens de capital para fins industriais seriados, 2012-2019 (média anual índice 2012=100)	48
Gráfico 10: Receita líquida bens de capital mecânicos, 2012-2018 (bilhões reais).	49
Gráfico 11: Bens de capital para fins industriais não seriados, 2012-2019 (média anual índice 2012 =100)	50
Gráfico 12: Evolução da balança Comercial - Bens de Capital, 2012-2019 (US\$ milhões).....	52
Gráfico 13: Saldo da balança comercial - Bens de Capital, 2012-2019 (US\$ milhões).....	52
Gráfico 14 : Exportações e Importações de bens de capital de Brasil e Alemanha para o mundo em 2018 (bilhões de dólares)	55
Gráfico 15: Uso de robôs industriais na manufatura, Brasil e União Europeia, 2019.....	62
Gráfico 16: Conteúdo de valor agregado de TIC nas exportações de produtos manufaturados do Brasil, 2015.....	63

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1:	10
CONCEITO DE INOVAÇÃO E INDÚSTRIA 4.0	10
1.1 INTODUÇÃO	10
1.2 A INDÚSTRIA 4.0.....	14
1.3. OS <i>CLUSTERS</i> TECNOLÓGICOS	16
CAPÍTULO 2:	22
INDÚSTRIA MUNDIAL E ALEMÃ DE BENS DE CAPITAL E INDÚSTRIA 4.0....	22
2.1. BENS DE CAPITAL SERIADOS X NÃO-SERIADOS.....	23
2.2. INDÚSTRIA MUNDIAL DE BENS DE CAPITAL	24
2.3. UMA BREVE VISÃO DA ECONOMIA ALEMÃ.....	29
2.4. A INDÚSTRIA 4.0 NA ALEMANHA.....	34
2.5. O POTENCIAL DA INDÚSTRIA 4.0 ALEMÃ EM BENS DE CAPITAL.....	37
CAPÍTULO 3	44
PANORAMA DA INDÚSTRIA DE BENS DE CAPITAL E TECNOLOGIAS 4.0 NO BRASIL.....	44
3.1. CONTEXTO NACIONAL DE BENS DE CAPITAL	44
3.2. DESAFIO PARA AS IMPLEMENTAÇÕES DESSAS TECNOLOGIAS E O CENÁRIO DA MANUFATURA NO BRASIL	55
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

INTRODUÇÃO

A indústria se encontra na Indústria 4.0 que se refere a novas tecnologias que estão aparecendo na indústria. Nesse cenário a aplicação das tecnologias na manufatura é um requisito da Indústria 4.0. Como consequência se consegue criar fábricas inteligentes e interconectadas.

Tal segmentação da área de inovação possui a divisão em Oito *clusters* tecnológicos conforme exposto pelo projeto I2027: (i) IA, *big data*, computação em nuvem, (ii) IoT, (iii) produção inteligente e conectada, (iv) tecnologia de redes, (v) nanotecnologia, (vi) biotecnologias avançadas, (vii) materiais avançados e (viii) novas tecnologias de armazenamento de energia (IEL, 2018).

De Sousa Júnior *et al* (2019) traz que as tecnologias 4.0 acontecem de maneira eficiente quando há sinergia entre: governo, indústria e a sociedade. Daudt e Cox (2016) mostram que a articulação desses pilares proporciona alto desenvolvimento para cadeia produtiva e, como consequência, para a sociedade.

A indústria de Bens de capital são a base de uma economia, pois integram e agregam o crescimento de um país impactando, de forma indireta, evolução tecnológica e de processos às cadeias produtivas de outros setores. Para ser classificado como bens de capital a indústria deve se relacionar com outra linha de produção. Desta forma, consegue-se participar de inúmeras cadeias de valor e disseminar evolução técnica por elas. Desta forma, em conjunto com as novas tecnologias, pretende-se avaliar os impactos da indústria 4.0, através de bens de capital, nas demais cadeias produtivas.

Este trabalho tem como objetivo discutir a difusão e impacto da Indústria 4.0 no setor de bens de capital em dois *players* mundiais: Brasil e Alemanha. A hipótese adotada é de que a Indústria 4.0 tem um alto impacto em países desenvolvidos. Como forma de alcançar o objetivo desta pesquisa, este trabalho possui três capítulos; além do mais, introdução e das considerações finais O **primeiro capítulo** se dedica a pontuar conceitos de inovação e o significado de Indústria 4.0 estabelecendo seus principais *clusters* tecnológicos. O **segundo capítulo** apresenta o funcionamento do setor e o como é seu comportamento na Alemanha. O **terceiro capítulo** demonstra o como está o desenvolvimento de bens de capital no Brasil e os impactos da indústria 4.0.

CAPÍTULO 1: CONCEITO DE INOVAÇÃO E INDÚSTRIA 4.0

1.1 INTODUÇÃO

Inovação, conforme aponta Schumpeter (1988), é uma ação que provém de uma ideia com foco em melhorar determinado artefato/produto. Historicamente, foi constatada a presença da inovação em algumas evoluções da humanidade, tais como: criação de novas ferramentas de trabalho, invenções, produção de novos métodos de transporte, entre outros.

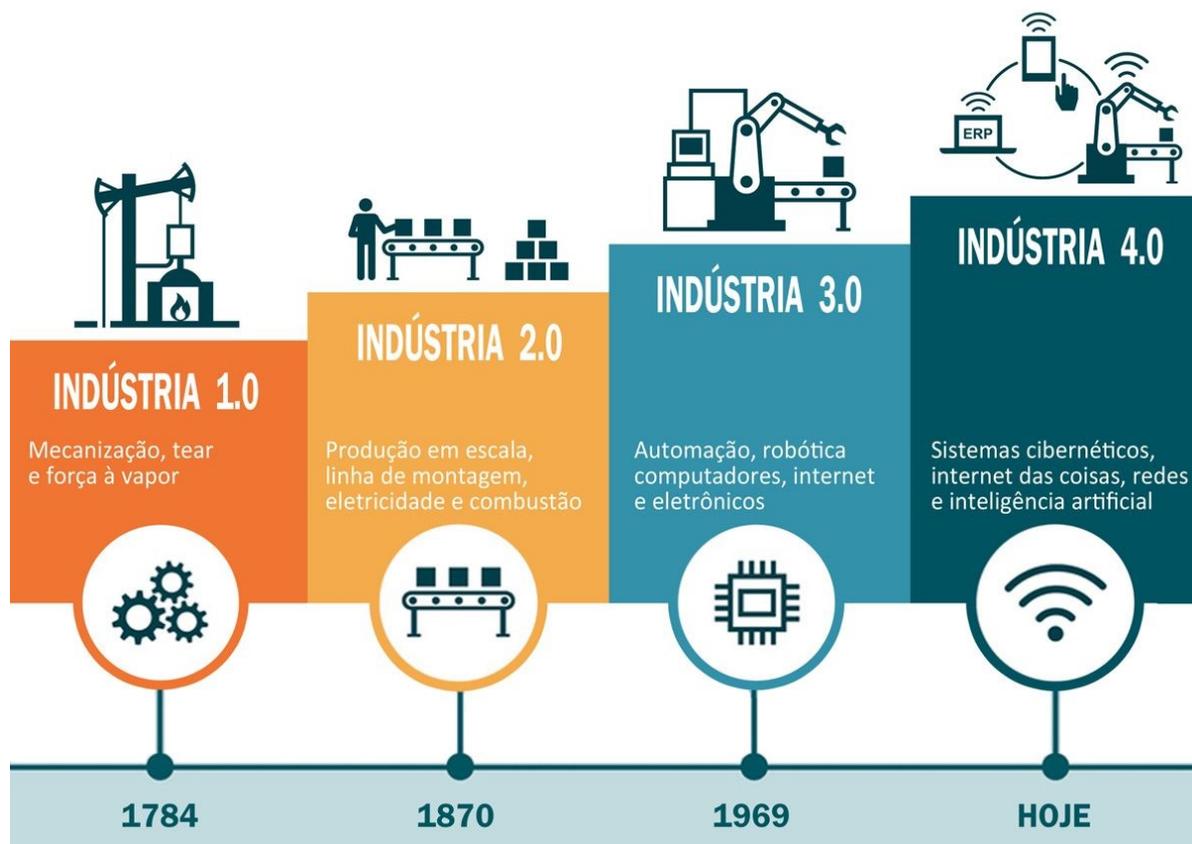
De acordo com Schumpeter (1942, p.82-83):

“Capitalism, then, is by nature a form or method of economic change and not only never is but never can be stationary. And this evolutionary character of the capitalist process is not merely due to the fact that economic life goes on in a social and natural environment which changes and by its change alters the data of economic action; this fact is important and these changes (wars, revolutions and so on) often condition industrial change, but they are not its prime movers. Nor is this evolutionary character due to a quasi-automatic increase in population and capital or to the vagaries of monetary systems, of which exactly the same thing holds true. The fundamental impulse that sets and keeps the capitalist engine in motion comes from the new consumers, goods, the new methods of production or transportation, the new markets, the new forms of industrial organization that capitalist enterprise creates.”

A primeira Revolução Industrial, no século XVIII, consolidou de maneira disruptiva um novo patamar de inovações; ela, de maneira intrínseca, modificou o modo de produzir e o consumo; como consequência, transformou o comportamento do ser humano e a maneira como se vive até os dias atuais.

A primeira Revolução acarretou em aumentos de produtividade e consumo jamais vistos na história, substituindo radicalmente a manufatura por máquinas e ferramentas mais eficientes, conforme aponta a Figura 1. Houve um substancial aumento do uso carvão para gerar energia a vapor, do qual se utilizava como força motriz das novas máquinas implantadas no processo produtivo do século XVIII. A integração de processo na indústria acarretou em agregação de valor na cadeia produtiva (CHENG *et al.*, 2015 *apud* SANTOS, 2018). Considerando este cenário, iniciou-se uma produção parcialmente dependente da mão de obra humana; ou seja, as máquinas começaram a realizar parte do trabalho que era designado, até então, aos humanos.

Figura 1: Linha do tempo das Revoluções Industriais – 1784 – 2020



Fonte: NetScan Digital (2020).

No século XIX, a utilização da energia elétrica foi disseminada, em substituição do carvão, conforme também ilustrado pela Figura 1. Inovações técnicas, transformação do ferro em aço, avanço dos meios de transporte e comunicação, bem como o desenvolvimento da indústria química são exemplos de acontecimentos relacionados à segunda Revolução Industrial. A lógica sobre divisão do trabalho, repetição de tarefas e produção em massa, tal como o *fordismo*, foram desenvolvidos da segunda Revolução em busca de ganhos de produtividade e de escala nas produções (ANDRADE 2017 *apud* FERREIRA, 2019).

No século XX, a humanidade desenvolveu na terceira Revolução Industrial, aliou-se a computação (subtema de inovação) sendo o principal protagonista da Revolução, mudando o modo como as pessoas se comunicavam com a invenção da internet. Santos (2018, p.17), afirma que:

“Nas décadas de 1950 e 1970 começou-se a desenhar aquela que viria a ser considerada a terceira Revolução Industrial, a Revolução digital, com a proliferação e uso dos semicondutores, dos computadores, automação e robotização em linhas de produção, com informação armazenada e processada de forma digital, as comunicações, os telefones móveis e a internet”.

Além do mais, processos industriais mais autônomos foram introduzidos nesse mesmo século. E, atualmente, na história da sociedade humana, o mundo adentrou na quarta Revolução Industrial aplicando automação de processos mais sofisticados na produção. Estes, por sua vez, mesclam processos convencionais com inteligência artificial. Máquinas independentes do manuseio humano e com autonomia própria é uma definição concreta e, ao mesmo tempo resumida, sobre o funcionamento da Indústria 4.0, segundo SANTOS *et al* (2018, p.17):

“A Indústria 4.0 é um dos termos utilizados para descrever a estratégia de alta tecnologia promovida pelo governo alemão que está sendo implementada pela indústria. Abrange um conjunto de tecnologias de ponta ligadas à internet com objetivo de tornar os sistemas de produção mais flexíveis e colaborativos.”

O governo alemão foi pioneiro a realizar investimentos em estudos avançados em tecnologia de ponta que promoveram a quarta Revolução Industrial. Segundo a chanceler alemã Angela Merkel, em 2011: a Indústria 4.0 é a transformação abrangente de toda a esfera da produção industrial por meio da fusão de tecnologia digital e a internet com a indústria convencional. Em suma, tudo dentro e ao redor de uma operação de manufatura (fornecedores, fábrica, distribuidores, até o próprio produto) é conectado digitalmente, fornecendo uma cadeia de valor altamente integrada (EUROPEAN PARLIAMENT, 2016).

Seguindo o raciocínio com outros autores: a quarta Revolução Industrial está sendo desencadeada pela internet, que comporta a comunicação entre os seres humanos, bem como com as máquinas em um Sistema Físico-Cibernético (CPS) em grandes redes (BRETTEL *et al*, 2014). No entanto, cada Revolução Industrial (e econômica) acarreta novos desafios e determina novas abordagens dentro das organizações (PEREZ 2010 *apud* SANTOS, 2018).

A inovação é um dos pilares do desenvolvimento econômico de um país. Por meio dela se abre possibilidades de abranger mais e novos mercados. Inovar é um diferencial competitivo das empresas para conquista de participação no mercado. Santos *et al* (2018, p.2) mencionam que:

“Essas novas estruturas de produção, dotadas de dispositivos ‘inteligentes’ ligados à rede, onde os produtos e os sistemas de produção obtêm capacidades de comunicação, constituirão as *Smart Factories* do futuro e são a chave para alcançar o grau de flexibilidade necessário para atender às exigências dos mercados atuais”.

Ao evidenciar a necessidade de inovações no sistema capitalista, inaugurou-se uma nova vertente de estudo fundamental para o estímulo e aperfeiçoamento da indústria atual, das quais se pode citar avanços em departamentos de pesquisa e desenvolvimento (P&D), especialmente voltados aos novos produtos. Aliás, de acordo com a corrente evolucionista, a inovação é uma constante geração de mutações no sistema produtivo. Segundo Dosi 1982 *apud* Kupfer (1996, p. 359):

“...o ambiente econômico e social afeta o progresso técnico de dois modos, primeiro, selecionando a direção das mutações (i.e. selecionando o paradigma tecnológico) e, então, selecionando entre os mutantes, de um modo mais darwinista (i.e. a seleção *expost* entre tentativas e erros de tipo schumpeteriano).”

Ao se utilizar o indicador de *gap* tecnológico é possível avaliar a situação dos países, de maneira prática, bem como seu nível de evolução. De acordo com Catellacci (2008 *apud* Melo *et al*, 2017), esse termo define a inovação como maior determinante da evolução de uma indústria considerando a atividade inovativa sobre a dinâmica da produtividade do trabalho em nível macroeconômico. Segundo Melo *et al* (2017, p.148):

“A existência de grandes discrepâncias tecnológicas entre os grupos de países menos desenvolvidos, em que o Brasil se encontra, e os europeus mais dinâmicos, como Alemanha, Bélgica, França e Holanda, sobretudo nos setores de alta e média-alta intensidade tecnológica, segundo a classificação da OECD, é sintomática e provavelmente está relacionada ao hiato competitivo do país, em termos da parcela das exportações industriais brasileiras no mercado internacional”.

Na mesma direção, conforme aponta IEL (2018, p.74):

“O principal desafio consiste em ultrapassar os limites da trajetória previsível de disseminação da Produção Inteligente na indústria brasileira, acelerando o ritmo e ampliando o alcance para além do grupo de empresas líderes, de modo que os ganhos de produtividade se espalhem de forma mais ampla na estrutura produtiva. É preciso evitar a adoção defasada e restrita a um reduzido número de empresas. As novas tecnologias não devem se difundir apenas entre as empresas líderes e suas cadeias de suprimento e distribuição. É necessário que alcancem a maior parte das empresas que atuam no sistema produtivo de bens de capital para que possam incorporar os ganhos de competitividade potenciais”.

Considerando esta primeira aproximação ao tema, a próxima seção terá como objetivo definir as interações do setor de bens de capital com as inovações tecnológicas da Indústria 4.0.

1.2 A INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0, de comum uso na sociedade atual, refere-se ao emprego uso intensivo de tecnologias digitais e conexão de sistemas cibernéticos e físicos. Estas evoluções permitem a produção industrial ser controlada completamente por sistemas de inteligência artificial (IA). Desta forma, ocorre a otimização de parte do processo evitando, na maioria dos casos, a necessidade de interferência e decisão humana nele. Conforme CNI (2016a, p.12):

“Dispositivos localizados em diferentes unidades da empresa, ou mesmo de empresas diferentes, também trocam informações de forma instantânea sobre compras e estoques, permitindo uma otimização logística até então impensável, estabelecendo maior integração também entre os elos de uma cadeia produtiva. O conceito de Indústria 4.0, contudo, vai além da integração dos processos associados à produção e distribuição, envolvendo, também, todas diversas etapas da cadeia de valor: do desenvolvimento de novos produtos, como projeto, desenvolvimento, testes e até mesmo a simulação das condições de produção, até o pós-venda”.

Com as novas tecnologias implementadas nas empresas permite-se uma resposta mais reativa à demanda de mercado. Assim, o complexo industrial aumenta rapidamente a capacidade produtiva, quando solicitado; neste caso, interpretado por uma IA. Os sistemas são inteligentes e eficientes coordenando máquinas em máxima capacidade e, ao mesmo tempo, realizando os ajustes necessários no processo produtivo.

Conforme Fia (2018, s.p., grifo no original), a Indústria 4.0 possui alguns pilares e princípios necessários à sua implantação:

“1. **Tempo real:** a capacidade de coletar e tratar dados de forma instantânea, permitindo uma tomada de decisão qualificada em tempo real 2. **Virtualização:** é a proposta de uma cópia virtual das fábricas inteligentes, graças a sensores espalhados em toda a planta. Assim, é possível rastrear e monitorar de forma remota todos os seus processos 3. **Descentralização:** é a ideia da própria máquina ser responsável pela tomada de decisão, por conta da sua capacidade de se autoajustar, avaliar as necessidades da fábrica em tempo real e fornecer informações sobre seus ciclos de trabalho 4. **Orientação a serviços:** é um conceito em que softwares são orientados a disponibilizarem soluções como serviços, conectados com toda a indústria 5. **Modularidade:** permite que módulos sejam acoplados e desacoplados segundo a demanda da fábrica, oferecendo grande flexibilidade na alteração de tarefas 6. **Interoperabilidade:** pega emprestado o conceito de internet das coisas, em que as máquinas e sistemas possam se comunicar entre si.”

As tecnologias que geram todo suporte e caracterização das áreas da Indústria 4.0 são: *Cyber-Physical Systems* (CPS), a *Internet of Things* (IoT), a *Internet of Services* (IoS), robótica avançada, impressão 3D, IA, *big data*, computação em nuvem e nanotecnologia (IEL, 2018). Bitkom (2014 p. 6) contextualiza:

“The physical and virtual worlds are increasingly merging together. A growing number of physical objects have intelligent sensor and actuator technology and are being networked through the development of the Internet of Things. The availability of all relevant information in real time through the networking of all instances involved in value creation, as well as the ability to derive the best possible value stream from data at any time is triggering the next stage of the industrial revolution known as Industrie 4.0. This will influence the evolution of technologies and have evolutionary effects on existing business processes while enabling new business models. The focus is therefore on optimising the following core industrial processes: development, production, logistics and service.”

A quarta Revolução na Indústria modificará, provavelmente, a organização social. Na primeira Revolução (Século XVIII) ocorrida na Inglaterra, transformações do comportamento de produção e o modo de vida urbano derivaram da necessidade de o homem sair do trabalho no campo para a indústria. A Indústria 4.0 tende a criar o cenário contrário: retirará de dentro das fábricas a mão de obra humana, parcialmente. O trabalho realizado por humanos, no desenho atual das fábricas, será substituído por máquinas.

Outro aspecto sobre a transformação social está relacionado aos empregos. Haverá um reflexo positivo nessa tendência: novas profissões surgirão; por um outro lado, para ocupar esses novos postos de trabalhos futuristas, o funcionário deve ter mais conhecimento técnico do que o exigido no momento. Segundo a Fundação Fiocruz (2018, s.p):

“Essas mudanças nortearam o relatório ‘Futuro do Trabalho: Emprego, Competências e Estratégia da força de trabalho para a Quarta Revolução Industrial’, apresentado durante a última edição do Fórum Econômico Mundial, em Davos, na Suíça. Nos países cobertos pelo estudo, diz o documento, as tendências atuais podem levar a um impacto líquido de mais de 7,1 milhões postos de trabalho perdidos entre 2015 e 2020 – dois terços dos quais estão concentrados em funções rotineiras de escritório e administração. Em contrapartida, ainda segundo o texto, haverá um ganho total de dois milhões de empregos nas áreas de computação, matemática, arquitetura e engenharia. O relatório do Fórum resulta de uma pesquisa feita pelos 300 maiores empregadores do mundo, responsáveis por 13 milhões de empregos no planeta, chamando atenção para a Revolução digital e incentivando os mercados a se prepararem para ela”.

E complementa:

“Outro estudo apresentado em 2017 pela consultoria americana McKinsey & Company diz que cerca de 800 milhões de profissionais poderão perder seus empregos até 2030. O relatório analisou 800 profissões em 46 países e constatou que até um terço dos trabalhos atuais poderá ser automatizado daqui a 12 anos. Em países do capitalismo central, como Estados Unidos e Alemanha, entre 23% e 24% dos empregos atuais sofrerão diretamente com a automação, segundo esse levantamento. No Japão, esse número pode alcançar 26%. Países periféricos, que têm menos dinheiro para investir em automação e robótica, não seriam tão afetados até 2030. Na Índia, por exemplo, o impacto se daria apenas sobre 9% dos trabalhos. No Brasil, esse percentual pode chegar a 15%”.

Ao analisar alguns aspectos que envolvem a Indústria 4.0, a próxima seção será dedicada à compreensão de subáreas que estão sendo desenvolvidas.

1.3. OS *CLUSTERS* TECNOLÓGICOS

O projeto Indústria 2027 realizado pelo instituto Euvaldo Lodi (IEL), em conjunto com CNI, SENAI e SESI, teve por objetivo qualificar o como as inovações disruptivas que impactarão a indústria brasileira no período 2017-2027. Além do mais, o projeto se dedicou em analisar a capacidade inovativa do Brasil. De acordo com IEL (2018 p.55):

“A introdução de sistemas ciber físicos de interconexão, digitalização, processamento e otimização do desenvolvimento e da fabricação de produtos, com crescente utilização de Inteligência Artificial, constitui uma inovação de processo importante na atividade econômica e representa, para os fabricantes de bens de capital, um novo mercado de grande potencial. As máquinas são conectadas e acessíveis enquanto objetos na rede, podendo dispor de dados em tempo real. Esses dados são passíveis de exploração, análise e intervenção por meio da própria rede. Ademais, as máquinas poderão guardar documentos e informações sobre si mesmas fora do seu corpo físico, implicando uma representação virtual com identificadores próprios, bem como habilitação para processos cognitivos (*machine learning*). A Produção Inteligente deve permitir, assim, um novo patamar de interação entre os mundos físico e virtual.”

Oito *clusters* tecnológicos foram analisados pelo projeto I2027: (i) IA, *big data*, computação em nuvem, (ii) IoT, (iii) produção inteligente e conectada, (iv) tecnologia de redes, (v) nanotecnologia, (vi) biotecnologias avançadas, (vii) materiais avançados e (viii) novas tecnologias de armazenamento de energia (IEL, 2018).

A IA permitirá que a indústria tome decisões de produção baseadas em algoritmos (conjunto das regras e procedimentos lógicos perfeitamente definidos que levam à solução de um problema em um número finito de etapas). Para deliberar uma ação dentro do sistema, a *big data* se torna a principal fonte de consumo da IA. Ao acionar o banco de dados disponibilizado (*big data*) a IA fica munida de informações históricas da produção podendo, desta forma, tomar decisões e conduzir a operação. Torna-se, também, mais inteligente com cada atuação que realiza dentro do sistema. De acordo com Millington (2006), como a capacidade de programar o computador para desempenhar tarefas que o pensamento humano e animal é capaz de fazer naturalmente. Para Nikolopoulos (1997), a IA é um campo de estudos multidisciplinar, originado da computação, da engenharia, da psicologia, da matemática e da cibernética, cujo

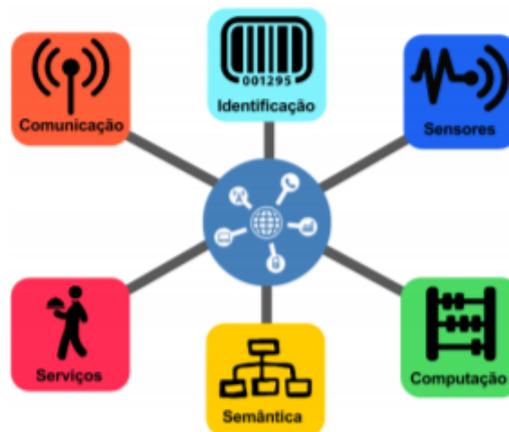
principal objetivo é construir sistemas inteligentes com o objetivo de desenvolver essa atividade com um grau de excelência superior ao ser humano.

IoT, em suma, é a interconexão entre objetos. Por meios de sensores e IA é possível que objetos troquem informações entre si. Tornar o consumo mais inteligente é um exemplo comercializado como *smart home* ou casas inteligentes. A capacidade de identificar problemas em equipamentos será o principal diferencial na indústria. Os sensores serão capazes de reportar defasagens no rendimento de máquinas e tornar o consumo ótimo sobre toda extensão industrial atuando de forma onipresente. Conforme Santaella (2013), a ubiquidade se refere à noção de algo que está presente em todos os lugares e em todos os momentos, persistente, sempre disponível e atuante. Em muitos, supera as noções tradicionais de espaço e tempo físico, como no caso do espaço e tempo do digital em rede, em que muitos eventos ocorrem de modo simultâneo e em muitos lugares diferentes. De acordo com o Santos (2016, p.31):

“A Internet das Coisas, em poucas palavras, nada mais é que uma extensão da Internet atual, que proporciona aos objetos do dia-a-dia (quaisquer que sejam), mas com capacidade computacional e de comunicação, se conectarem à Internet. A conexão com a rede mundial de computadores viabilizará, primeiro, controlar remotamente os objetos e, segundo permitir que os próprios objetos sejam acessados como provedores de serviços.”

Para que esse sistema funcione é necessário a fusão entre esses seis blocos exemplificados pela figura 2, conforme aponta Santos (2016): comunicação, identificação, sensores, computação, semântica e serviços. A primeira etapa de um bloco básico de uma IoT consiste em identificar os objetos para realizar a conexão destes por meio da internet; os sensores coletam informações essenciais em forma de dados e os guardam nuvem; a comunicação, representa os meios que os objetos usam para realizar uma sincronização; o bloco computação faz o processamento de algoritmos dos objetos; os serviços realiza o mapeamento dos dados obtidos; a semântica promove a evolução do processo com a extração de conhecimento dos objetos da IoT.

Figura 2: Blocos básico da IoT



Fonte: Santos (2016)

A Produção Inteligente e Conectada é o espelho de um todo o processo industrial sendo feito virtualmente, por meio de todos os equipamentos interconectados. Para ela destacam-se os sistemas ciberfísicos (CPS – *Cyber Physical Systems*), sistemas integrados de controle e automação. Segundo European Parliament (2016, p. 9):

“Cyber-physical systems that use ICTs to monitor and control physical processes and systems. These may involve embedded sensors, intelligent robots that can configure themselves to suit the immediate product to be created, or additive manufacturing (3D printing) devices.”

À medida em que proliferaram os sensores de alta capacidade e com custos e tamanhos progressivamente menores, bem como instrumentos computacionais que seguem as mesmas tendências, além da Revolução de comunicação proporcionada pelas redes *wireless* e pelos avanços da internet, maior se torna a pressão para o desenvolvimento de sistemas que integrem a computação com os processos físicos (RAJKUMAR *et al.*, 2010). Os sistemas resultantes dessa integração são conhecidos como Sistemas Ciber-Físicos (LEE, 2008).

O processo físico estabelecido em uma fábrica, por exemplo, torna-se aliado das novas tecnologias com a finalidade de produzir com mais eficiência. Desta forma, o processo industrial e a capacidade instalada de uma indústria evoluem com a implementação de CPS. Estes representam a convergência de tecnologias em sistemas embutidos, sistemas de distribuição, sistemas seguros e sistemas em tempo real com avanços em redes eficientes de

energia, microcontroladores, sensores e atuadores (RAJKUMAR; *et al.*, 2010). Uma grande diferença entre CPS e um sistema de controle regular ou um sistema embutido é o uso de comunicações, o que adiciona reconfigurabilidade e escalabilidade, bem como complexidade e potencial instabilidade. Além disso, o CPS tem significativamente mais inteligência em sensores e atuadores, bem como restrições de desempenho substancialmente mais rigorosas (POOVENDRAN, 2010).

Tecnologia de redes, usadas para o transporte de informações, possibilitam que os benefícios oferecidos pelas outras tecnologias digitais – IoT, IA e Produção Inteligente e Conectada – sejam aprimorados. Com as tecnologias de redes é possível, por exemplo, comandar fábricas por transmissão sem fio, acompanhar remotamente o funcionamento de veículos e de eletrodomésticos, além de rastrear qualquer item cadastrado no sistema (IEL, 2018).

Nanotecnologia é a possibilidade de manipulação de partículas e moléculas em escala nanométrica com destino específico. O termo nanotecnologia designa a manipulação de materiais átomo por átomo, com foco na produção e aplicação de sistemas e componentes em nanoescala (FERREIRA, VARELA, 2009).

A biotecnologia envolve o emprego combinado de engenharia genética, biologia celular e ciência da computação. Por meio da manipulação de seres vivos ou de partes deles, é possível obter produtos e processos como, por exemplo, novas vacinas, novos medicamentos e terapias, plantas com maior resistência a pragas e a estresses climáticos, além de testes diagnósticos mais precisos e menos invasivos (IEL, 2018).

De forma geral, a biotecnologia é tudo que envolve a aplicação de técnicas científicas em seres vivos. Em outras palavras, a utilização de organismos para evolução de uma determinada área da ciência. Os objetivos são abrangentes: produção ou modificação de produtos; aperfeiçoamento de plantas ou animais e descoberta de novos microrganismos para uma determinada finalidade.

Os materiais avançados abrangem materiais comuns e em uso – mas que sofreram aprimoramento – e novos materiais que apresentam desempenho superior aos materiais tradicionais em uma ou mais propriedades de interesse para uma dada aplicação, em diversas áreas (IEL, 2018). Segundo Lastres (2016, p. 69): "*In trying to develop the concept of Advanced Materials (AMs), most scholars have tended to define them as those to satisfy sophisticated and specific needs in response to the new requirements of market evolution or else as the result of*

scientific and technological advances". Podem ser encontrados quatro categorias em que esses materiais se distribuem, que são: polímeros, cerâmicas, metais e compósitos.

Medina (1998) destaca principais avanços na área de materiais avançados:

- Aumento da relação força-densidade que abre a possibilidade da fabricação de produtos de alta performance e resistência que são utilizados em ligas espaciais na indústria aeronáutica e automobilística;
- Cerâmicas supercondutoras que possibilitam avanços na área computacional, meios de transporte, entre outros;
- Fibras óticas, atualmente de uso comum em residências, demonstram um avanço para o setor de telecomunicações;
- Superligas que suportam grandes temperaturas permitindo a produção de motores mais eficientes e que poluem menos;

O armazenamento de energia é uma série de tecnologias de armazenamento e conversão de energia que contribuem com o uso inteligente de fontes de energia renováveis e com a sustentabilidade (IEL, 2018). Podem ser utilizadas de três formas: sistemas autônomos em relação à rede de energia elétrica; produtos e processos sem a dependência de combustíveis fósseis; e segurança das matrizes energéticas.

As inovações podem ocorrer no processo industrial de uma empresa ou cadeia de valor, se incidindo em processo, produto, mercado, fonte de matéria-prima e organizacional. A figura 3 mostra uma síntese dos *cluster* tecnológicos apresentados nesta seção.

Figura 3: Clusters tecnológicos



Fonte: Agenda Brasileira para Indústria (2019) e IEL (2018) - Adaptado

No próximo capítulo, serão abordadas as principais experiências em bens de capital na Alemanha, que é um país que se notabiliza pela adoção da quarta Revolução Industrial e por uma indústria de bens de capital sofisticada.

CAPÍTULO 2:

INDÚSTRIA MUNDIAL E ALEMÃ DE BENS DE CAPITAL E

INDÚSTRIA 4.0

Bens de capital são a base de uma economia, pois integram e agregam o crescimento de um país impactando, de forma indireta, evolução tecnológica e de processos às cadeias produtivas de outros setores. Para ser classificado como bens de capital a indústria deve se relacionar com outra linha de produção. Desta forma, consegue-se participar de inúmeras cadeias de valor e disseminar evolução técnica por elas.

O setor de bens de capital relaciona-se diretamente com a maioria das indústrias, sendo uma base importante para a difusão de tecnologia (STRACHMAN; AVELLAR, 2008). Possui a função de disseminador de inovação e, paralelamente, tende a agregar heterogeneidade em suas diversas aplicabilidades e usos. Desta forma, por possuir características que estimulam cadeias produtivas relevantes em um país, posicionando uma nação de uma maneira mais estratégica, do ponto de vista macroeconômico, pois possui ações determinantes que norteiam o comportamento da balança comercial (DE NEGRI E CAVALCANTI 2012; VERMULM 1995).

Segundo a taxonomia de Pavitt (1984), citada por Araújo (2011), o setor de bens de capital é classificado como *specialised suppliers*. A terminologia em inglês se refere aos fornecedores especializados: bens de capital gera, em si, inovação e propaga para as cadeias produtivas em que está introduzido; este, sendo a base de inúmeros outros setores, transfere para a próxima ramificação industrial de forma indireta a tecnologia gerada no seu processo complementando-se com as outras atividades industriais. Assim, a classificação de Pavitt (1984) descreve bem a realidade ocorrida no setor: ser fornecedores especializados que propagam inovação para as demais ramificações.

Para complementar, há atributos que se aproximam a outras categorias de classificação de Pavitt (1984): ao analisar o segmento de bens seriados, o modelo se assemelha *scale intensive*. O último termo se refere à produção em escala, tal como a fabricação de máquinas e equipamentos. Sobre demanda, o trabalho ocorre com a necessidade do cliente, personalizando o processo para atender cada individualidade requisitada pelo consumidor com uso

generalizado; esse comportamento se aproxima, na classificação de Pavitt (1984), em *science based*.

2.1. BENS DE CAPITAL SERIADOS X NÃO-SERIADOS

Os bens de capital seriados são uma indústria que depende da produção em escala. Posto que o segmento necessita de executar um processo industrial padronizado, seu foco é fabricar em grandes quantidades para obter ganhos em escala; ou seja, quanto maior for a produção, melhor será a redução de custos. Desta forma, por ter menor conteúdo tecnológico, as barreiras à entrada são relativamente baixas; várias empresas atuam nesse mercado elevando a intensidade da competição. Esses empreendimentos, de bens de capital, em série, são caracterizados por focalizarem em mercadorias para outra cadeia industrial, preenchendo em massa, o mercado com itens a fim de satisfazer a demanda padronizada do comércio – como máquinas agrícolas, tratores, caminhões e ônibus (IEL, 2018).

Segundo uma classificação da Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ, 2014, p. 7):

“Bens de Capital Seriados: são aqueles projetos para atender a formulações padronizadas de desenho. Os processos, as operações de fabricação e as matérias-primas a utilizar são imutáveis para um ‘programa de fabricação’ denominado ‘série’. A característica implícita da ‘fabricação seriada’ é a quantidade ponderável de unidades produzidas em um determinado período de tempo”

Em bens de capital não seriados o objetivo é atender a demanda específica do cliente, sendo essa sua principal particularidade. O processo industrial é personalizado, propondo-se entregar o produto de maneira minuciosa. Este segmento do setor também pode ser denominado como bens de capital sob encomenda: são produzidos segundo características técnicas associadas a cada processo produtivo e definidas pelos clientes – como prensas utilizadas por montadoras de automóveis, altos-fornos de siderúrgicas, turbinas de usinas hidrelétricas (IEL, 2018). Pela classificação da ABIMAQ (2014, p. 7):

“Bens de Capital Não Seriados: são aqueles projetados para atender a formulações de desempenhos específicos para um determinado processo ou instalação industrial. Esses projetos poderão ser utilizados na construção de diversas instalações industriais, transmitindo às máquinas ou equipamentos o caráter nas dimensões e especificações

de matérias-primas entre duas ou mais unidades fabricadas sucessivamente. São também denominados como ‘fabricados sob encomendas’.”

Com as principais características de bens de capital apresentadas, a próxima seção tratará o cenário econômico para esta indústria. Nela, será exposto o comportamento do setor no cenário econômico mundial e, posteriormente, o alemão.

2.2. INDÚSTRIA MUNDIAL DE BENS DE CAPITAL

Na tabela 1 é apresentado o comportamento dos bens de capital na indústria, em dados mundiais coletados pelo Euromonitor. No segmento de máquinas e equipamentos e sistema produtivo de bens de capital, possuem um percentual de participação de aproximadamente 22%, em 2016. Tal dado se mantém constante desde 1997. A projeção para 2025 continuará no mesmo patamar dos anos anteriores. A terminologia “Máquinas e equipamentos”, em bens de capital, também podem ser equiparadas aos bens seriados.

Tabela 1 - Participação (percentual) da indústria no valor da produção de todas as atividades econômicas, 1997/2025			
Composição do valor da produção da indústria	Participação %		
	1997	2016	2025
Energia, utilidades e reciclagem	19,8	21,3	19,7
Bens intermediários	32,9	34,8	36,4
Alimentos, bebidas e tabaco	15,4	13,9	13,7
Bens pessoais	12,5	11	11,1
Bens de alta tecnologia	11,6	11,3	10,9
Máquinas e equipamentos	7,8	7,8	8,2
Sistema produtivo de bens de capital	11,8	11,9	12,3

Fonte: Adaptado de Euromonitor (2018).

Conforme a tabela 2, o maior produtor mundial, comparativamente com o resto do mundo, desde 1997 tem sido a China. Em 2016 saltou para 46% de participação mundial e está com uma projeção de 53% para o ano de 2025. Os EUA, sendo o segundo do *ranking* mundial, possuíam 23% em 1997, regredindo para 11% em 2016 para 8% no ano de 2025. Os dados demonstram que no futuro a China tende a permanecer como líder no setor, pelo menos até 2025, conforme aponta a projeção da Euromonitor.

Tabela 2: Produção mundial de bens de capital por país – 1997 – 2025					
(milhões de dólares)					
	Produção anual (US\$mi)		Participação na produção mundial		
	1997	2016	1997	2016	2025
Mundo	2.811.787	5.575.696	-	-	-
China	196.845	2.382.132	7%	43%	53,1%
EUA	651.178	593.644	23%	11%	7,6%
Japão	464.479	452.015	17%	8%	5,5%
Alemanha	309.500	413.662	11%	7%	5,2%
Coreia do Sul	71.461	182.477	3%	3%	2,9%
Itália	154.808	177.509	6%	3%	2,7%
Índia	45.296	120.788	2%	2%	2,5%
França	105.109	97.005	4%	2%	1,3%
Reino Unido	91.161	65.074	3%	1%	0,8%
Suíça	64.054	61.718	2%	1%	0,8%
Canadá	52.101	61.494	2%	1%	0,9%
Brasil	32.536	59.019	1%	1%	0,9%
Taiwan	33.536	51.876	1%	1%	0,8%
México	26.857	50.634	1%	1%	0,8%
Espanha	36.707	48.651	1%	1%	0,7%

Fonte: Euromonitor 2016; Elaboração própria

Ainda de acordo com a Tabela 2, o Brasil ocupava 11º posição desde o ano de 1997. A nação está classificada bem abaixo de países mais ricos economicamente e industriais como: Alemanha, EUA e outros, correspondendo em torno de 1% de toda a produção mundial. Em dados recentes da *United Nations Development Organization* (UNIDO, 2018), os maiores países produtores de bens de capital são: China, Japão, Estados Unidos, Alemanha e Itália. O Brasil possui posição de destaque entre os países emergentes, representando o segundo maior na pesquisa, logo após a Índia.

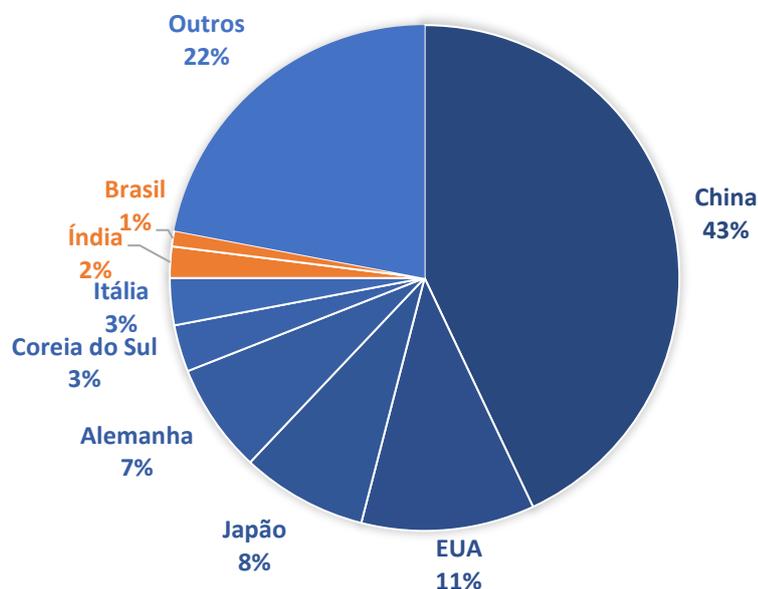
A tabela 3 exibe a classificação de países em desenvolvimento na produção de máquinas e equipamentos em 2016. Das nações apresentadas, o Brasil ocupou o segundo lugar. Sua participação foi de 13,6% sendo superado pela Índia, com 17,4%. Em contraste com a tabela 2, a participação dos países emergentes apresenta-se baixos, perante aos desenvolvidos. Brasil e Índia, quando somados, possuem uma importância relativa de aproximadamente 4% em toda produção mundial em 2016.

Tabela 3: Países em Desenvolvimento e Economias Industriais emergentes produtores de Máquinas e Equipamentos em 2016	
País	Participação %
Índia	17,4
Brasil	13,6
Turquia	9,6
México	8,3
Tailândia	6,3
Polônia	6,2
Irã	5,8
Argentina	5,4
Indonésia	3,8
África do Sul	3,6
Arábia Saudita	3,1
Romênia	2,2
Ucrânia	2,1
Argélia	1,7
Venezuela	1,0

Fonte: UNIDO 2018; Elaboração própria

O gráfico 1 apresenta o desempenho dos países mais relevantes na produção mundial em 2016. Do total da produção mundial, em dólares norte-americanos, a China comercializou a parcela US\$ 5,6 trilhões que equivalente a 43% do todo. EUA seguem com 11% e o Brasil, 1% do total.

Gráfico 1: Participação dos países na produção mundial de bens de capital em 2016 (US\$)



Fonte: Euromonitor; Elaboração própria

A tabela 4 ilustra o sistema produtivo de bens de capital, que não considera os bens seriados, em 2016, em determinados países. A China possui um alto consumo aparente, sendo três vezes maior que o segundo classificado (EUA). Esse fato revela o forte dinamismo que ela possui no seu mercado doméstico. Apesar dos altos números, os chineses possuem uma balança superavitária. Diferentemente, os EUA possuem um alto viés importador: 45% do seu consumo aparente era representado por importações na ocasião.

Tabela 4: Sistema produtivo de bens de capital – 2016 (milhões de dólares)

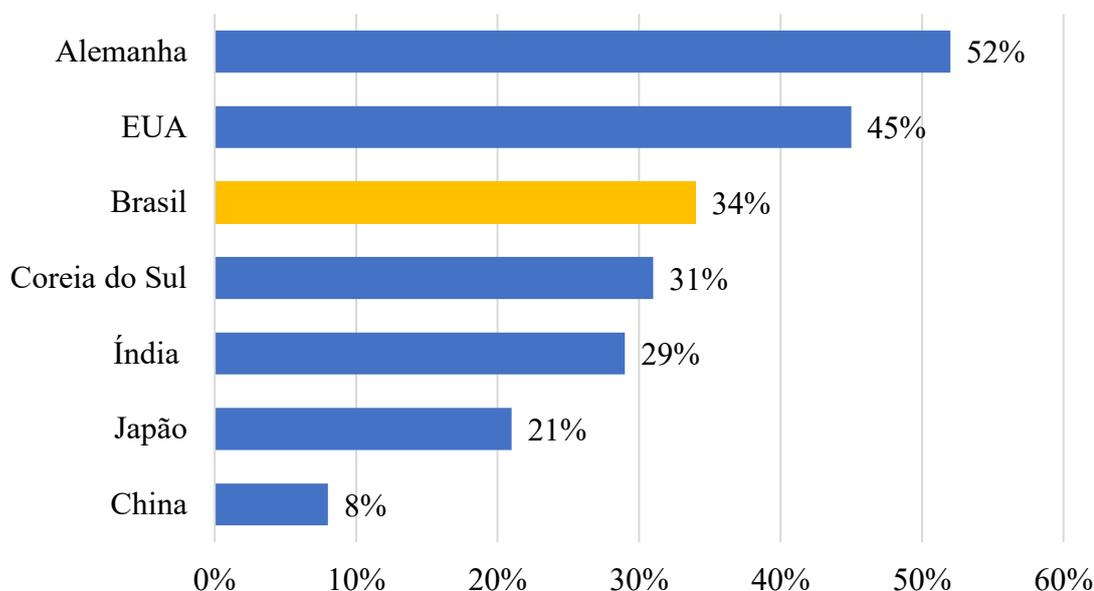
País	Consumo aparente	Produção	Exportação	Importações	Saldo comercial
China	2.263.138	2.382.132	296.441	177.447	118.994
EUA	691.075	593.644	210.434	307.864	-97.430
Japão	340.231	452.015	182.506	70.722	111.784
Alemanha	286.568	413.662	275.983	148.888	127.095
Coreia do Sul	167.192	182.477	67.475	52.191	15.284
Índia	138.711	120.788	22.721	40.644	-17.923
Brasil	71.602	59.019	11.419	24.002	-12.583

Fonte: Euromonitor 2016; Elaboração própria

Brasil e Índia são as economias emergentes representadas no gráfico 2 possuindo um saldo comercial deficitário em 2016. O consumo aparente da Índia era duas vezes maior que o brasileiro e, relativamente, o último possui maior dependência de importações: 34% do consumo aparente contra 29% do indiano. China, segundo o gráfico 2, apresentava 8% de importações em seu consumo aparente. EUA e Alemanha, economias consideradas desenvolvidas, possuem praticamente metade do seu consumo aparente proveniente de importações.

Gráfico 2 - Coeficiente de importações sobre consumo aparente - 2016

(milhões de dólares)



Fonte: Euromonitor; Elaboração própria

Na próxima seção, será apresentado o comportamento do setor de bens de capital na Alemanha. Serão abordadas características mercadológicas e os impactos macroeconômicos sobre o setor que se encontra em perspectiva diferente da realidade brasileira.

2.3. UMA BREVE VISÃO DA ECONOMIA ALEMÃ

Desde o término da II Guerra Mundial, a Alemanha realizou grandes investimentos em indústrias estratégicas e em bens de capital. Segundo Cesaratto (2010, p. 10): “*German national assets remerged in a more peaceful context in the post WW II reconstruction period, followed by the German economic miracle*”. Especificamente para Indústria 4.0, conforme Bunse *et al* (2014 *apud* De Sousa Júnior *et al*, 2019), há esforços do governo alemão que reúne todos os seus ministérios, principais empresas inovadoras e acionistas com o objetivo de alavancar as

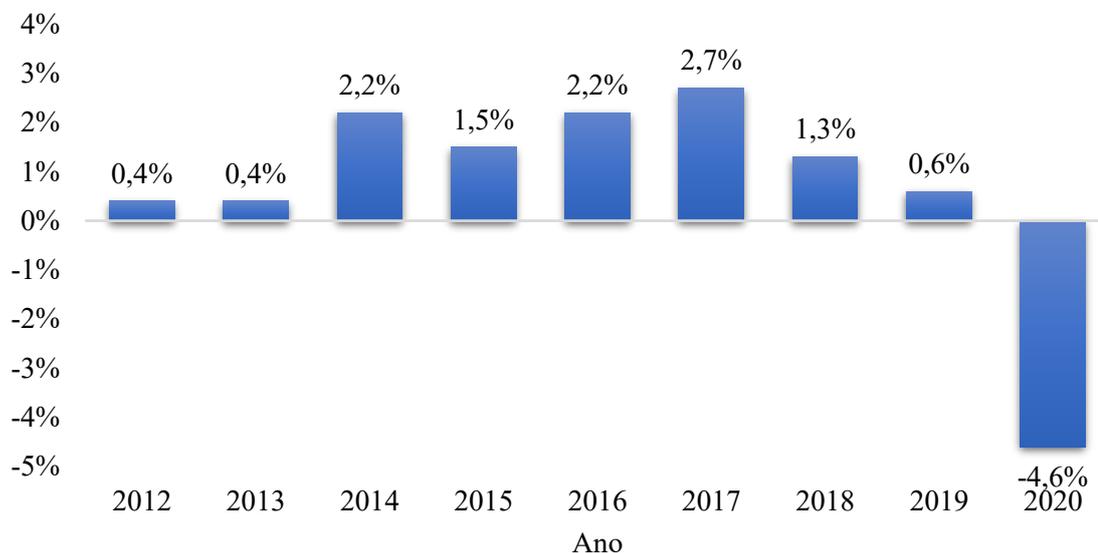
tecnologias que são aplicadas no país. Para isso se utilizam de recursos, tais como: planos e programas de incentivos para o desenvolvimento da área tecnológica e inovação.

De Sousa Júnior *et al* (2019) enfatizam que esse desenvolvimento tecnológico, voltado para a Indústria 4.0, acontece devido uma boa articulação de três pilares da organização social: governo, indústria e a sociedade. Daudt e Cox (2016) apontam que o bom relacionamento entre essas três frentes de poder proporciona benefícios em cadeia para a sociedade. As empresas possuem acesso a uma ampla rede de pesquisa e desenvolvimento (P&D), a crédito e capacitações técnicas. A sociedade se aprimora por intermédio de um sistema educacional vocacional robusto. Conforme Cesaratto (2010, p. 13): *“This paper found that a rationale of the German model was presumably maintenance of an efficient, disciplined and profitable national economy associated with international economic and political power”*. Bastasin (2013, p.2) aponta:

“(…) the entire German production system had to and was able to strengthen its export orientation, while facing the major geopolitical changes that have directly involved the country; the German reunification, the European monetary unification, eastern Europe opening to international trade and, finally, the entrance into markets of large areas of the world up to the full development phase of globalization”.

O gráfico 3 demonstra o comportamento do PIB alemão de 2012, até o ano de 2020, com variação percentual. Após o ano de 2012, a variação do PIB do país permaneceu constante, em torno de 2% de variação anual, em média. A partir de 2018 apresentou uma queda de PIB. Nos anos seguintes segue-se em queda.

Gráfico 3 - Variação Anual do Produto Interno Bruto (PIB) da Alemanha, 2012-2020%)



Fonte: Country Economy 2021; Elaboração própria.

Santander (2020) descreve a setorização alemã, sendo que 28% do PIB corresponde ao setor industrial e emprega 27% da força de trabalho do país distribuída em 1.600 empresas de manufatura líderes no mercado mundial em 2019. A Alemanha estabeleceu sua evolução com foco em indústria automotiva, equipamentos elétricos e eletrônicos, mecânica e produtos químicos. Este é o modelo econômico composto e articulado internacionalmente por pequenas e médias empresas. Segundo Destatis (2019 *apud* Santander 2020), 61% das pessoas que estão empregadas na Alemanha, trabalhavam em pequenas ou médias empresas em 2019.

Tabela 5: Composição do PIB alemão por setor – 2019

(% de participação do setor no PIB)

Divisão da atividade econômica por setor	Agricultura	Indústria	Serviços
Emprego por setor	1,3	26,9	71,9
Valor agregado (% do PIB)	0,8	27,5	61,9
Valor agregado (crescimento anual em %)	-1,3	1,6	2,2

Fonte: Elaboração própria com dados do World Bank (2019)

Como apontam Daudt *et al* (2016) *apud* Cesaratto (2010), há razões para o bom desenvolvimento macroeconômico da Alemanha. O governo estabeleceu restrições na utilização da política fiscal. Tais medidas permitiram que as exportações alemãs se tornassem ainda mais competitivas. Conforme Daudt *et al* (2016, p. 23):

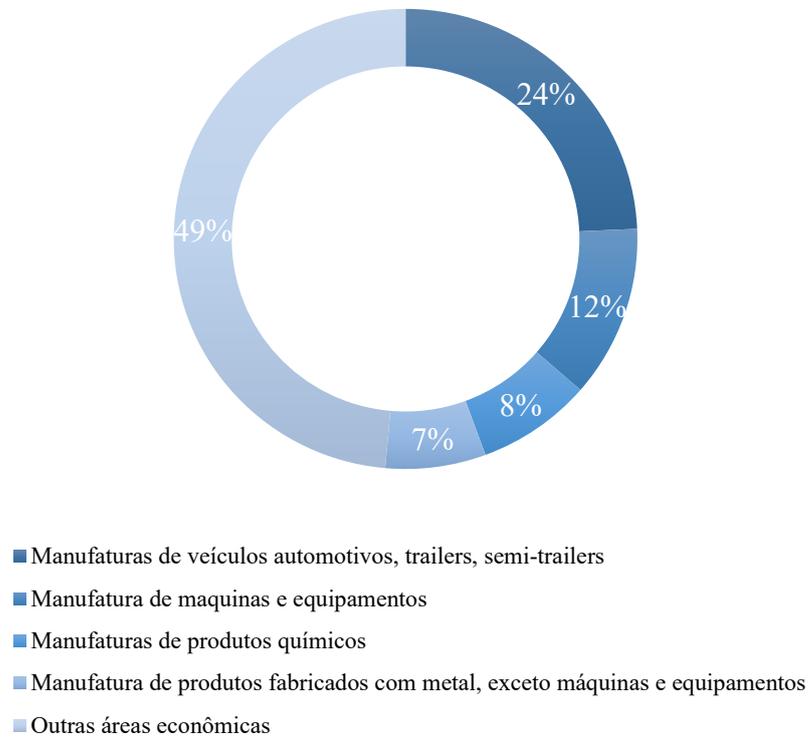
“Enxergar os grandes movimentos da economia alemã e de sua indústria é fundamental para compreender a nova estratégia industrial. É nesse contexto que se insere a estratégia alemã, cujo objetivo, pode-se interpretar, é o de aprofundar sua posição de líder industrial na Europa por meio do estímulo e ampliação *techonological competitiveness* de suas empresas e do reforço de sua complexidade ‘não preço’. Nesse contexto e associadas a uma estratégia mais geral, acrescentam-se a preocupação com o uso eficiente de recursos de energia, a ampliação das fontes renováveis na matriz energética e a produção de equipamentos e veículos eficientes”.

Segundo Daudt *et al* (2016, p. 23): “A iniciativa alemã tem como pano de fundo uma série de preocupações gerais que são semelhantes às dos EUA e que se traduzem no desejo de se cristalizar na liderança global no que tange à produção industrial e tecnologia de ponta”.

Como observa Andreoni e Chang (2016), com o avanço das tecnologias sendo implementadas nos setores de produção das indústrias, todo o sistema de produção torna-se mais eficiente em: transporte, logística, equipamentos e os insumos necessários à produção. A corrida da Alemanha foi se tornar o país *expert* em realizar esses feitos de forma exponencial e disruptiva na humanidade.

No gráfico 3 é demonstrado o quanto foi investido no setor de bens de capital e outros ramos da economia. No ano de 2018 o governo investiu 68 bilhões de euros no setor de bens de capital, que é o foco deste estudo. Tal dado alinhado a estratégica de desenvolvimento industrial alemã reforça a o argumento de Andreoni e Chang (2016), de que há uma ação conjunta entre os setores da economia alemã para um desenvolvimento mútuo. Ainda no mesmo gráfico é possível compreender a distribuição de investimentos dedicados ao setor de bens de capital. A subcategoria, no setor, que mais recebeu investimento em 2018 foi o automotivo com 24% dos investimentos dedicados a esse ramo. Tal argumento reforça a estratégia alemã sobre o desenvolvimento da Indústria 4.0: o pacto com as principais empresas automotivas para desenvolvimento tecnológico.

Gráfico 4: Investimentos totais na Alemanha por setor, em 2018 (%)



Fonte: Statistisches Bundesamt (Detatis, 2020); Elaboração própria

2.4. A INDÚSTRIA 4.0 NA ALEMANHA

Conforme aponta a Agência de Investimento e Comércio Alemão (GTAI, 2011 - sigla em alemão), a Alemanha é a líder mundial em soluções para *softwares* para securitização em empresas; além disso possui uma reputação considerável em engenharia. Unindo os dois mundos (T.I. e Engenharia) há um grande potencial de desenvolvimento na Indústria 4.0; justamente pelo fato de que essa “*tech*” engloba toda tecnologia gerada com a era computacional (indústria 3.0) com os avanços da manufatura.

O mesmo estudo relata que a Alemanha é a terceira maior do mundo, em tecnologia da informação, sendo superada apenas de EUA e Japão. Anualmente, o país gera 20 bilhões de euros por ano nesse setor e, no ano 2020, originou cerca de duas vezes mais esse montante na economia. Segundo IEDI (2017), o governo federal alemão articula e incentiva parcerias estratégicas, na Indústria 4.0, com universidades e indústrias que são referências no país. Tal feito permitiu a relevância da Alemanha em sistemas integrados e *know-how* em

desenvolvimento de sistemas ciber-físicos (CPS), uma das principais bases da Indústria 4.0, já analisado no capítulo 1. A Alemanha estimulou a integração de vários atores na sociedade para tais implementações por meio de planos e políticas de incentivo governamentais. O foco do governo sempre é o pioneirismo no tema; a *High-Tech Strategy* foi uma adoção política que trouxe tal articulação.

A GTAI (2011, p. 13) aborda a *High-Tech Strategy*, que possui o foco no desenvolvimento tecnológico da indústria 4.0 no país:

“The German government passed the High-Tech Strategy Action Plan in March 2012 for the further implementation of the High-Tech Strategy. The Action Plan identifies 10 ‘Future Projects’ – including INDUSTRIE 4.0 - which are considered as being critical to addressing and realizing current innovation policy objectives as the focus of research and innovation activity”.

Conforme apontam Daudt *et al* (2016), o termo *High- Tech Strategy* foi uma estratégia do governo federal alemão e iniciativas privadas (como Siemens, Volkswagen, Bosch, Kuka e outros) de unir nacionalmente todos os esforços para estimular a necessidade de inovação e novas tecnologias. Conectado ao objetivo, citado acima, a Alemanha deseja se tornar a principal liderança global em inovação na indústria. Segundo Delgado *et al* (2010, p. 25):

“Dentre as principais políticas de apoio à inovação, destaca-se a *High-Tech Strategy* do governo federal (lançado em 2006, no governo da chanceler Angela Merkel), que é uma estratégia nacional que abrange todos os ministérios. Estabelece estratégias para dezessete ‘campos de futuro’ e pretende traduzir ideias de tecnologias básicas o mais rapidamente possível em produtos comercializáveis, serviços e processos”.

Para superar os desafios da nação como clima, alimentos, combustíveis e outros, conforme apontam Delgado *et al* (2010) o país elaborou um plano de ação pelo Ministério Federal de Educação e Pesquisa Alemão (BMBF). Segundo BMBF (2010, p. 29): “*The BMBF Foresight Process*”, subtitled “*Implementation and Further Development of a Foresight Process*”, started by assessing present-day science and technology and was broadened to look into the future over the next 10 to 15 years – and even further. It took into account the developments at the national as well as international level”. A figura 4 expõe os cinco pilares da sociedade em que a estratégia se concentrará. Chamados de desafios globais, o governo pretende devolver tais pilares nos próximos 10 a 15 anos com pesquisa e inovação de ponta.

Essa atuação pretende resguardar a Alemanha e garantir sua prosperidade nas áreas expostas pela figura.

Figura 4: Áreas de atuação da *High Tech Strategy*



Fonte: BMBF (2019)

Como aponta Delgado (2010), o governo federal disponibilizou seis bilhões de euros para os projetos de P&D, por 15 anos, desde que foi lançado em 2006. Os alemães estão focalizados em alcançar o pioneirismo em inovação global. Outro programa foi instituído, o PROINNOII, para incentivo e apoio de cooperação entre países vizinhos na UE “*cross-border*”.

De acordo com o IEDI (2017), a *high strategy* desenvolveu o projeto *CyProS 2020* com o objetivo de integrar sistemas ciber-físicos para uso na logística industrial do país. Desta forma, o país pretende aumentar de modo significativo e sustentável a produtividade e flexibilidade das empresas. O governo com o objetivo de aumentar a referência alemã, em produção de tecnologias, no âmbito internacional. Conforme GTAI (2011, p.13), o projeto se desenvolve em torno de:

“Software systems and knowledge processing research funding is divided into three specific categories:

- Embedded systems focusing in particular on software-intensive embedded systems with links to electronics, communication technology and microsystems technology;
- Simulated reality for grid applications and infrastructure, virtual/augmented reality and ambient intelligence, simulation, information logistics and software development for high-performance computing;
- Human/machine interaction with language and media technologies, bioanalogous information processing, service robotics and usability”.

2.5. O POTENCIAL DA INDÚSTRIA 4.0 ALEMÃ EM BENS DE CAPITAL

Considerando todas as políticas descritas em conjunto com o potencial econômico do país, IEDI (2017) enfatiza as oportunidades e a direção que a Indústria 4.0 pode seguir em território alemão. A ideia gera atração na movimentação do setor privado em investir nesse processo de *upgrade* da indústria. Além do mais, há uma estimativa a longo prazo, de 78 bilhões de euros a serem gerados em acréscimo na economia, conforme apresenta a tabela 6, sendo que seis setores proveriam essa nova movimentação.

Setores Econômicos selecionados	Valor agregado bruto (bilhões de euros)		Potencial da indústria 4.0	Crescimento anual	Incremento (bilhões de euros)
	2013	2025	2013-2025	2013-2025	2013-2025
Indústria Química	40,08	52,10	+30%	2,21%	12,02
Veículos Automotivos e Autopeças	74,00	88,80	+20%	1,53%	14,8
Engenharia de máquinas e instalações	76,79	99,83	+30%	2,21%	23,04
Equipamentos elétricos	40,72	52,35	+30%	2,21%	12,08
Agricultura e floresta	18,55	21,33	+15%	1,17%	2,78
Tecnologia de informação e comunicação	93,65	107,70	+15%	1,17%	14,05

Potencial conjunto dos seis setores selecionados	343,34	422,11	+23%	1,74%	78,77
Extrapolação para o valor agregado bruto total na Alemanha	2326,61	5593,06	+11,5%	1,27%	267,45

Fonte: Buhr (2015); Elaboração própria

Na tabela 6 pode-se observar essa projeção que na terceira coluna há o potencial de crescimento esperado em 2025 para determinados setores. Indústria química e engenharia de máquina e instalações e equipamentos elétricos são os setores da economia alemã mais promissores de desenvolvimento. Com todos eles conjuntamente, pode-se obter um resultado de crescimento econômico. Tal resultado pode ser obtido com a diferença das subcolunas que estão dentro da coluna “Valor agregado bruto.” Assim, pode-se identificar o potencial de crescimento da Indústria 4.0 na coluna 2; e o incremento em dinheiro que isso representa por intermédio da observação da última coluna. A informação exposta na última linha é a união de todas os setores expostos na tabela; nela é possível verificar o salto que todos os setores podem, como expectativa, de 2013 para 2025, incrementar 268 bilhões de euros na economia alemã. Esse dado representa um aumento geral de 11,5% de potencial de crescimento da indústria e para bens de capital, um acréscimo de 30%.

Conforme aponta Schröder (2016, p.09), o centro de todo esse crescimento tecnológico que reflete economicamente tem como base, e principal ação, nos CPS:

“From a technological standpoint CPS forms the core of Industry 4.0. The basic technology of CPS comprises so-called embedded systems. Embedded systems as the key component of CPS are basically mini-computers, which are capable of measuring physical states, such as temperature or pressure, through sensors”.

Em complemento, IEDI (2017, s.p.) observa:

“O potencial econômico considerável é atribuído à tecnologia CPS na indústria. Esse potencial é realizado por meio do *networking* (baseado na internet) de todos os elementos do processo de criação de valor em tempo real, habilitado pela tecnologia CPS. De mão com a adoção de CPS vai a expectativa de maiores aumentos de produtividade porque, desta forma, os estoques podem ser reduzidos, o planejamento de pessoal melhorado, a logística otimizada e a complexidade e os custos de

manutenção diminuídos. Além disso, pode-se esperar um aumento na qualidade do produto, ao lado de opções de fabricação mais flexíveis. Os especialistas até preveem que a flexibilização máxima será alcançada com o tamanho de lote um; isso significa que um produto personalizado pode ser fabricado para clientes ao mesmo preço de produto serial hoje me dia, proporcionando um impulso considerável à satisfação do cliente. E porque o faturamento está de acordo com eficiência de uso real, as perdas devido à subutilização da própria infraestrutura de TI da empresa são evitadas. Por último, mas não menos importante, a localização não é um obstáculo para o uso de tais serviços”.

A serviço do governo alemão, há uma iniciativa de divulgação dos aprendizados e resultados, por meio da Plattform Industrie 4.0. Sendo assim, Alemanha (2021) apresenta experiências práticas sobre a Indústria 4.0 no país. O estudo divulgou que no futuro haverá a “era das máquinas”; em tal situação, muitas ocupações, de âmbito operacional, serão substituídas por robôs. Para indústria, isso significa uma redução de €40,00 por hora quando se utiliza um operador, para €3,00 por hora com o uso de robôs.

Conforme aponta o governo alemão: *“In countries like the US, Japan and Germany, approximately 50% of today’s professions are at risk of automation. Robots are particularly effective at performing repetitive and scalable tasks. (ALEMANHA, 2021, p. 9)”*. Tais dados demonstram o impacto que a Indústria 4.0 pode causar em economias como Japão, EUA e Alemanha que possuem por volta de 50% da sua indústria avançada utilizando automação. Além destes fatos, o estudo mostra que o intuito é conceder prioridade aos robôs em posições de alto risco no trabalho.

Uma pesquisa desenvolvida com 300 pessoas que trabalham na indústria alemã revelou que 60% deles já se imaginam trabalhando com máquinas e robôs de suporte; e 21% confiam mais em trabalhar com uma IA do que um outro colega de trabalho (ALEMANHA, 2021). Alguns casos práticos são possíveis e já estão em uso no país, como é o demonstrado pela figura 5. Nela há um operador que está navegando pelo sistema SAP utilizando somente os olhos e gestos. Os dados dizem que o operador aumentou 12% da eficiência no trabalho, com a tecnologia. Segundo Alemanha (2021, p.17):

“In production, the trend is clearly shifting towards lot size 1. As a result, factory staff need to refer to assembly instructions more frequently and must also document work steps for quality assurance. The use of gaze and gesture control in operator guidance can lead to increased efficiency. In the area of office applications, efficiency has been shown to increase by around 12%”.

Figura 5: Operador utilizando olhos para navegar no sistema de montagem industrial SAP.



Fonte: AI and Robotics at the Service of Humanity (2021, p.17); Reprodução

Os esforços do governo alemão no investimento e pioneirismo na Indústria 4.0 permite elencar metas de desenvolvimento sustentável para o país. “*This works in two directions: firstly, sustainability is being embedded in Industrie 4.0, and secondly, Industrie 4.0 helps to drive forward the implementation of sustainability goals*” (ALEMANHA, 2020). O direcionamento do governo é que haja uma grande mudança até 2030, com o movimento da indústria sustentável e as tecnologias 4.0. Para bens de capital essas iniciativas são mais agressivas. Todo esse investimento citado decorreu da necessidade de recuperação do país após a Segunda Guerra Mundial. Assim, bens de capital foi uma indústria estratégica para recuperação econômica e volta do posicionamento da Alemanha do mundo.

Segundo O’Sullivan *et al* (2013 *apud* DAUDT *et al* 2016), o setor manufatureiro possui mais de um quinto do valor adicionado, sendo um dos maiores da Europa, na Alemanha. Além do mais, como mencionado, empresas alemãs são líderes no setor de bens de capital e criação de tecnologias. Tal fato ocorre devido à capacidade das empresas alemãs nas exportações, principalmente, na própria Europa. O posicionamento geográfico central, a unificação europeia

e incentivos do tratado europeu, permitiriam que a Alemanha importasse peças e exportar bens de finais na linha de produção: os bens de capital.

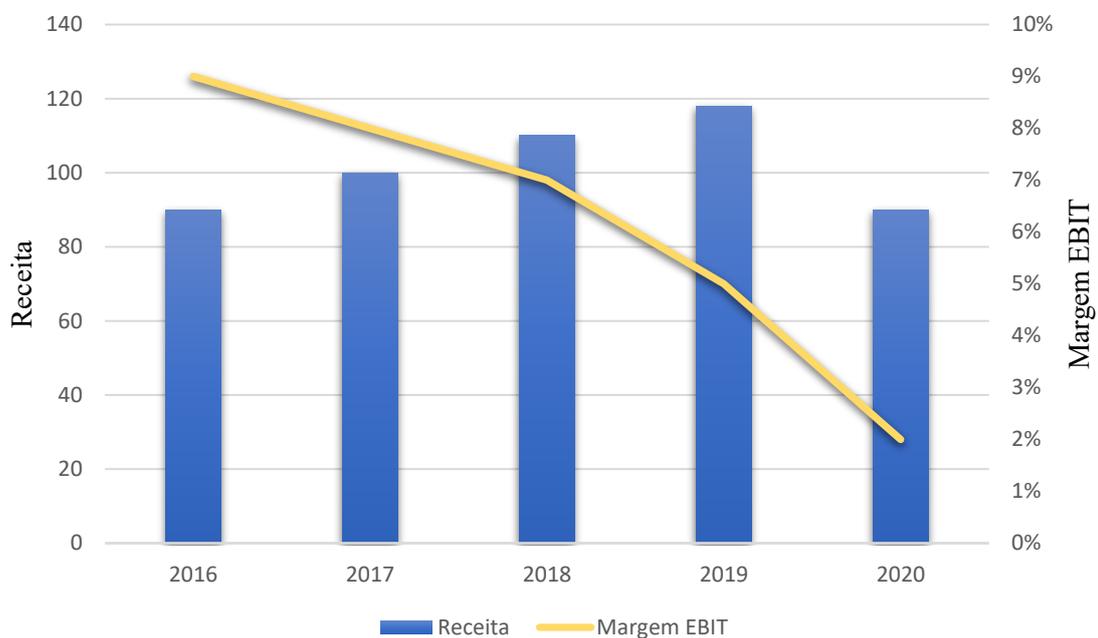
“German competitiveness derives from the acquisition of comparative advantages in a rather large number of specialized categories of products. In capital goods, durable consumer goods and pharmaceutical products, increased exports to the rest of Europe, maintaining its traditional European subcontracting chains (supply chain), specially in non-euro Visegrad countries (Czech Republic, Hungary, Poland and Slovakia, the only euro area country)” BASTASIN (2013, p.5).

Todo posicionamento alemão, na indústria de bens de capital, está voltado para a competição por não preço, mas sim pela ampliação da *technological competitiveness*. Dado este fato, a produção final é toda direcionada à evolução tecnológica das ramificações da indústria por meio de bens de capital, tudo isso unido ao processo governamental já citado anteriormente:

“As mentioned above, Germany’s leading position is a result of various elements, especially since the formation of the European Union. The legislation on the European single market imposed unique standards for products and services exported under the common market. What used to be “only” a non-tariff barrier has become a huge advantage for exports because of its technological superiority and the ever since strengthened ability to set standards” (DAUDT *et al.* 2018, p. 8).

Porém, conforme aponta McKinsey (2020), o cenário de bens de capital mudou no solo alemão. Com a vinda da Covid-19, impactando o cenário econômico de todos os países do mundo, a lucratividade do setor decresceu. Além do mais, desde 2016, as margens estão mais apertadas devido à variação de matérias-primas; todos esses fatos, adicionados ao aumento do custo de mão de obra, reduziram a lucratividade (margem EBIT, lucro antes do reconhecimento das despesas com juros e impostos) do setor, como se observa no gráfico 4.

Gráfico 5: Receita do setor de bens de capital e a margem EBIT na Alemanha, 2016-2020 (bilhões de euros)



Fonte: McKinsey (2020); Elaboração própria.

Conforme o gráfico sobre a receita e margem EBIT do setor, percebe-se que houve um acréscimo de receita ao longo dos anos no setor, conforme previsto pelos textos dos autores anteriormente citados. Mas, ao se considerar a margem EBIT, há um decréscimo desde 2016. Como exposto anteriormente há três razões principais: aumento de salários, matérias primas e queda na produtividade. McKinsey (2020, p. 3) complementa com mais seis razões:

“The high cost of materials, low productivity gains, and staffing costs are not the only reasons for unprofitable growth in the German machinery industry. Here are six others:

- The technological advantages that German companies hold are declining relative to global competitors, and that puts pressure on prices and margins.
- Growth is happening primarily in highly competitive markets, further increasing pricing pressure.
- Products continue to become more complex because of rapidly expanding software development and moves into smaller niches. Productivity increases are therefore limited.
- The industry’s move into the solutions business space is expensive because companies are still at the beginning of the learning curve.
- Companies often do not successfully price the incremental performance improvements they add to machines”.
- The industry’s production and R&D footprints frequently center on high-cost countries, while revenues increasingly come from lower-cost ones, where margins are thinner.

O estudo reforça que Alemanha possui uma indústria de excelência a nível mundial e que todos esses expostos abalaram a indústria manufatureira de forma de forma geral. Porém, mesmo que o desafio complexo, dado todo o cenário exposto, o país possui um prestígio internacional em conjunto com suas marcas que permite seu reposicionamento. Cabe também destacar que, apesar de considerável esforço depreendido para encontrar informações acerca da Indústria 4.0 no setor de bens de capital, conforme os *clusters* tecnológicos discutidos no I2027, não consegui atingir este resultado a bom termo. No próximo capítulo, será discutida a experiência brasileira.

CAPÍTULO 3

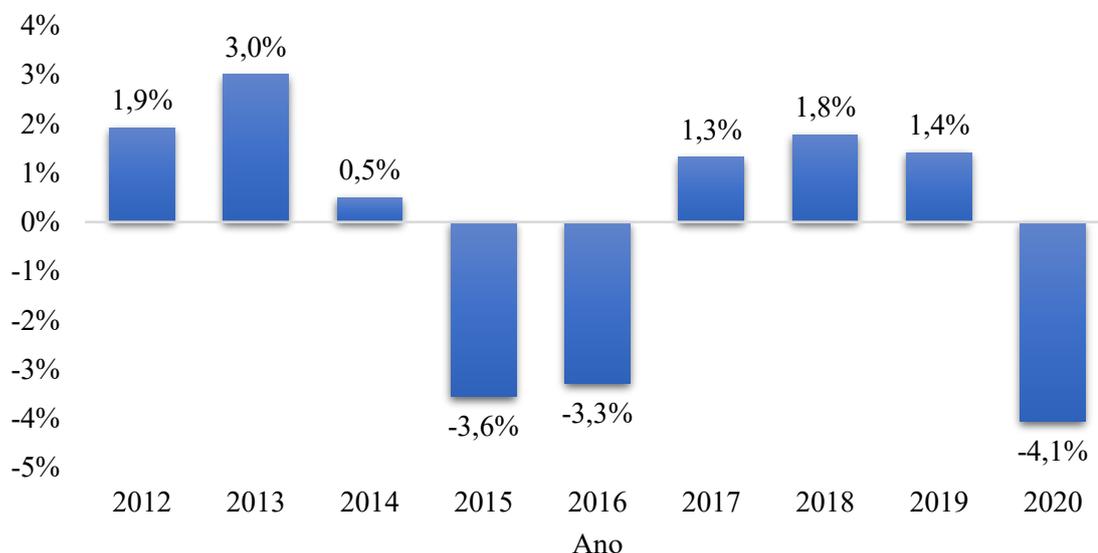
PANORAMA DA INDÚSTRIA DE BENS DE CAPITAL E TECNOLOGIAS 4.0 NO BRASIL

3.1. CONTEXTO NACIONAL DE BENS DE CAPITAL

Nesta seção, serão analisados os dados sobre o contexto brasileiro de bens de capital. Segundo dados do Depec-Bradesco (2019), bens de capital não seriados são responsáveis por 20% da produção brasileira; 80% correspondiam aos bens de capital seriados em 2018.

O gráfico 5 demonstra o comportamento do PIB brasileiro de 2010, até o ano de 2020, com variação percentual. Após o ano de 2010, a variação do PIB do país decresceu juntamente com a produção de bens de capital mecânico. O período de 2010 a 2016 apresentou uma relação entre queda de PIB. Nos anos seguintes constata-se uma volta da economia que, no biênio 2017-2018, foi em torno de 1%.

Gráfico 6 - Variação Anual do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, 2012- 2020%

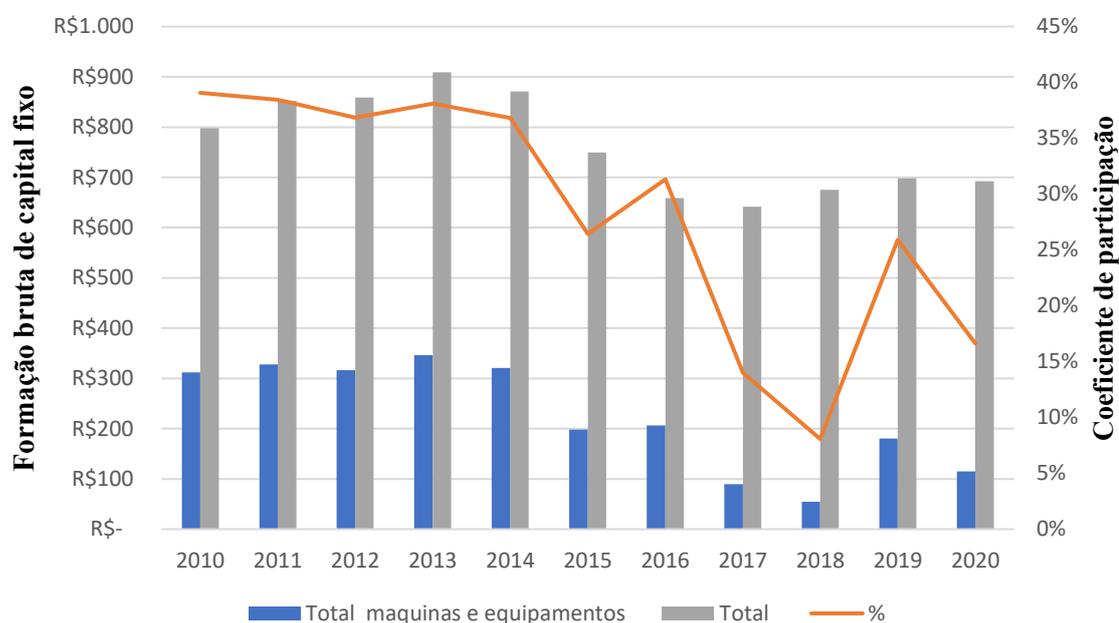


Fonte: IBGE 2021; Elaboração própria.

No gráfico 6 apresenta-se a participação do setor na Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) é apresentada, mais especificamente a categoria de máquinas e equipamentos, em valores deflacionados com o ano base de 2010. No início de 2010 a participação foi de 37% encolhendo-se sete pontos percentuais no ano de 2015. Ao correlacionar o PIB real com a taxa de participação bruta de bens de capital, o comportamento é similar: a queda do PIB em 2015 ocorreu quando a participação de bens de capital decresceu. Devido a esses movimentos de queda do PIB estarem acompanhados, ao mesmo momento, com queda na participação de bens de capital, tais dados sugerem a importância desse setor no dinamismo da economia nacional.

Ainda no mesmo gráfico, o eixo direito demonstra o coeficiente de participação de bens de capital na formação bruta de capital fixo do Brasil. Em outras palavras, esse indicador indica qual a parcela de colaboração que o setor de bens de capital possui em FBCF. O eixo esquerdo representa em valores reais a FBCF geral. Desta forma consegue-se visualizar no gráfico a oscilação do indicador, o quanto bens de capital produz e o porcentagem de participação.

Gráfico 7 - Formação bruta de capital fixo (FBCF) e coeficiente de participação de bens de capital na FBCF, 2010-2020 (índice 2010 = 100 em milhões de reais).



Fonte: IBGE; Elaboração própria.

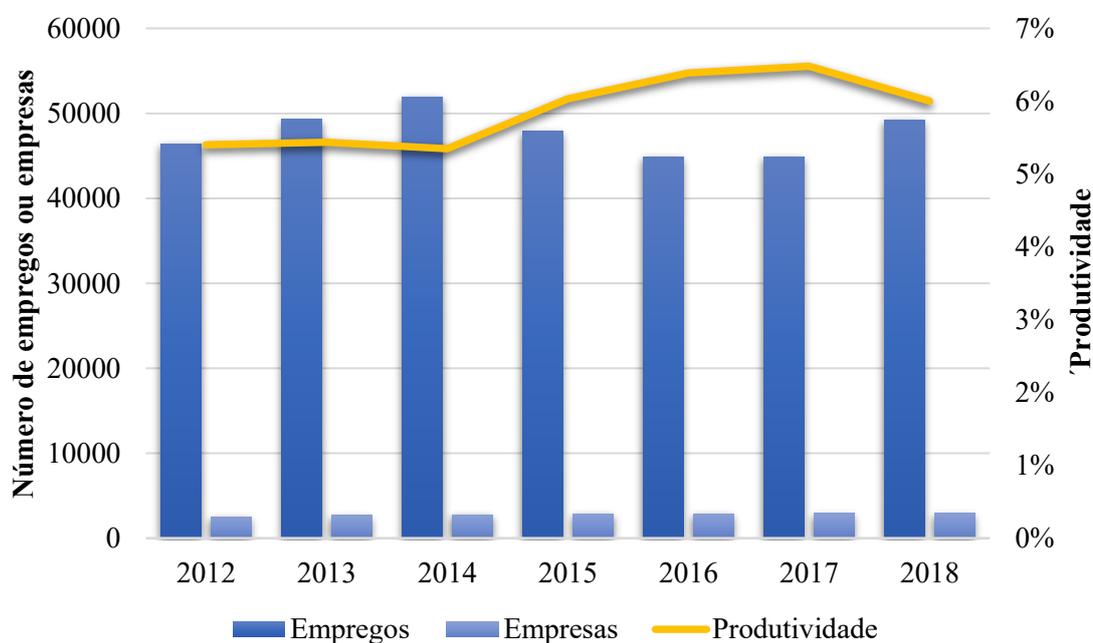
Segundo o Sistema de Contas Nacionais (SCN), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os bens de capital representam 33% da FBCF, ou investimentos do país, o equivalente a 5% do Produto Interno Bruto (PIB) no ano de 2016, vide gráfico 6. Ainda sobre os impactos da indústria de bens de capital na economia brasileiro, o autor salienta:

“Com altíssimo valor adicionado na sua produção, este setor contribui ainda com valores consideráveis de tributos e gera milhões de empregos diretos e indiretos. As receitas líquidas de vendas destas empresas somaram R\$ 606 bilhões em 2016 – 22% da receita da indústria. O grau de ocupação registrado foi de 1,8 milhão de pessoas – 24% do pessoal ocupado da indústria geral. Deste montante de trabalhadores do setor, 75% são assalariados ligados à produção, cuja remuneração (salários e outros ganhos) somou R\$ 50,6 bilhões.”

O setor de bens de capital no Brasil apresenta, no total, 2.955 empresas, segundo dados do Observatório FIESC (2020). Destes, 97,4% são classificadas como micro ou pequenas empresas industriais. Conforme aponta o referido estudo, 49,6% dos trabalhadores em bens de capital são empregos por tais empresas.

No gráfico 7 mostra o comportamento da evolução dos empregos e números de estabelecimentos que produzem bens de capital no Brasil. O desempenho relatado começa é exposto a partir do ano de 2012 até 2018. Há uma constância no nível de empregos, com um leve declínio nos de 2014 e 2018; para o número de empresas o valor é crescente, mas de uma maneira pouco expressiva. Como resultado, constata-se pouca mudança no setor no decorrer dos anos.

Gráfico 8 - Evolução do número de empregos no setor de bens de capital, 2012-2018 (coeficiente de produtividade)

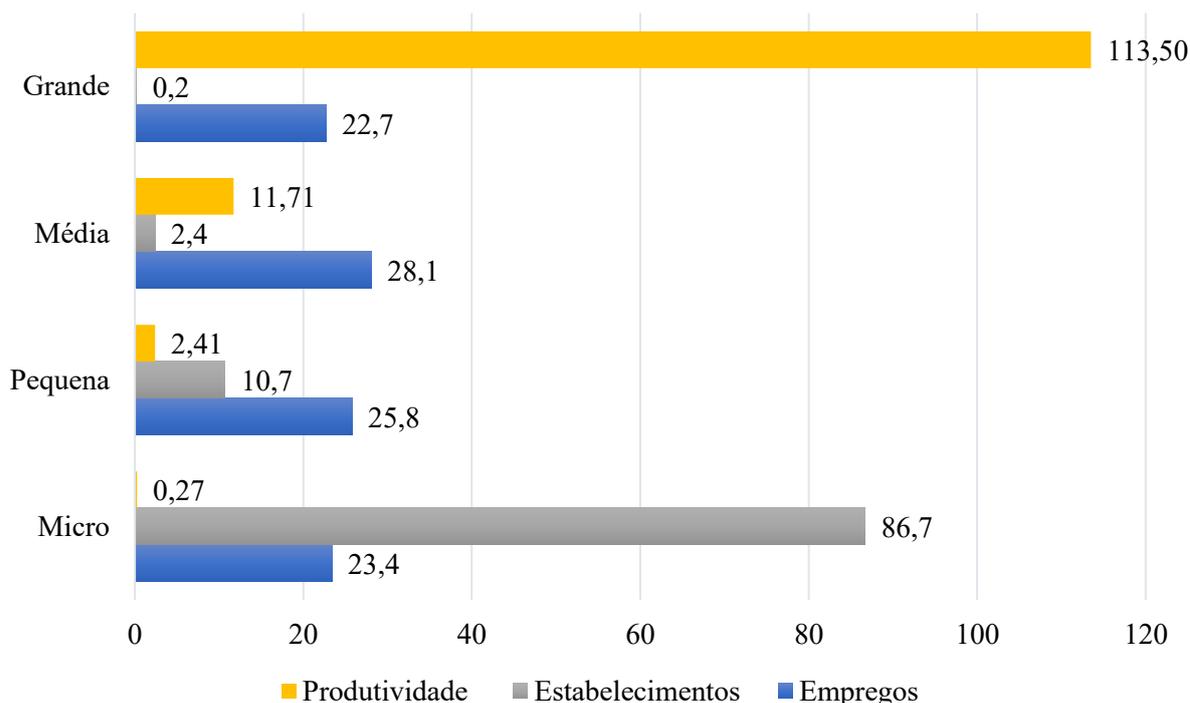


Fonte: FIESC 2020; Elaboração própria

No gráfico 8 é examinada a produtividade das empresas, de acordo com o seu porte em 2020. Pode-se concluir que pequenos empreendimentos utilizam uma quantidade elevada de funcionários para sua produção. Em contraposição, empresas de grande porte possuem, em média, a mesma quantidade de funcionários no ramo, quando comparadas às pequenas. Assim, elas conseguem otimizar sua produção com um quadro de mão de obra reduzida. Ou seja, as grandes companhias possuem produtividade de 113,50 com geração de 22,7 empregos; com aproximadamente a mesma quantidade de trabalhadores (25,8) uma pequena empresa possui

uma produtividade de 2,41. Tal fato, acarreta em uma redução de custo por se aproveitaram da produtividade e ganho em escala, para o grande porte empresarial.

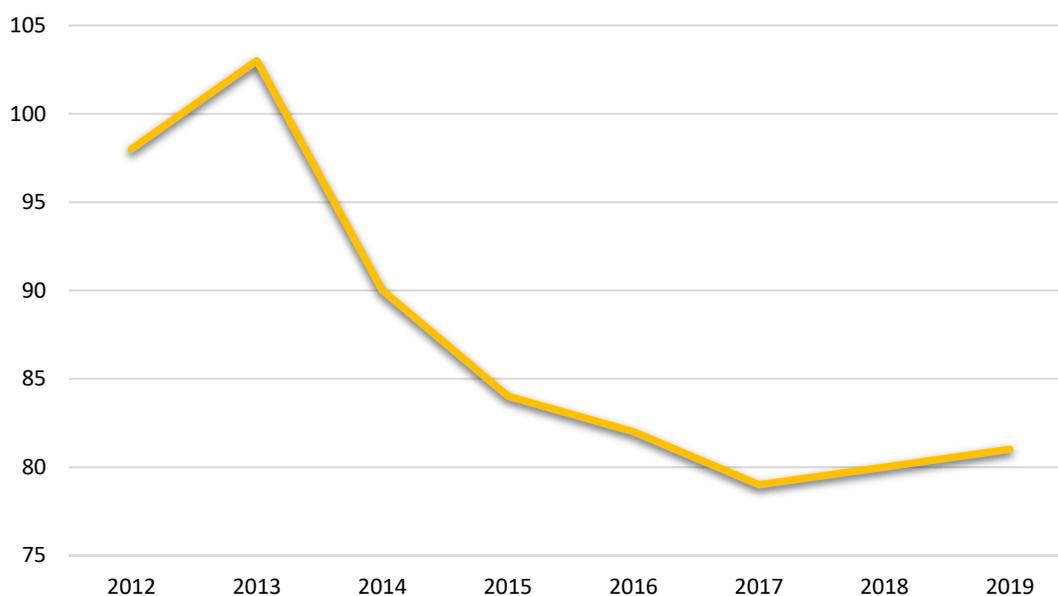
Gráfico 9: Estabelecimentos e empregos segundo o porte de empresa na indústria brasileira de bens de capital, 2020 (média de empresas e estabelecimentos)



Fonte: FIESC 2020; Elaboração própria

No gráfico 9, os dados do IBGE demonstram que, desde 2012, o setor decresceu no volume de vendas de bens seriados. As informações são comparadas, considerando a produção do ano base, que é 2012, como base 100. Desde o início de 2013 os números demonstram queda; em 2019 o gráfico apresenta um desempenho 20% inferior ao ano-base.

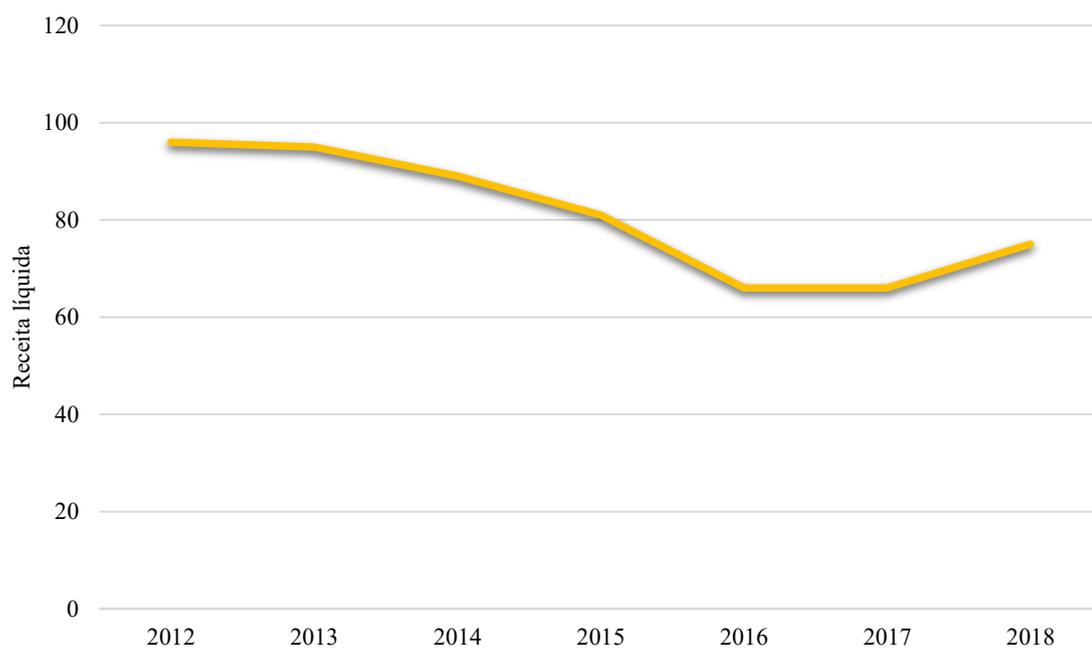
Gráfico 10: Produção de bens de capital para fins industriais seriados, 2012-2019 (média anual índice 2012=100)



Fonte: IBGE - Pesquisa Industrial Mensal - Produção Física; Elaboração própria

O gráfico 10 mostra os dados sobre a venda líquida de bens de capital mecânicos (seriados). Ele ilustra a queda da receita líquida de bens de capital mecânicos desde o segundo semestre de 2012 voltando a uma pequena ascendência no ano de 2016. Sobre os bens de capital não seriados, a informação não foi exposta no mesmo documento que originou os dados presentes nessa análise.

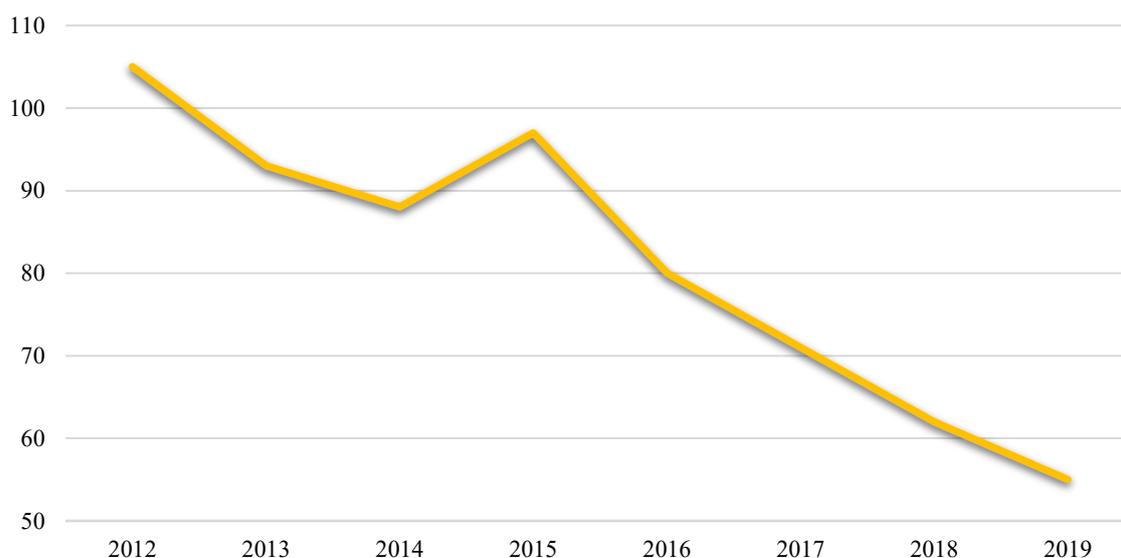
Gráfico 11: Receita líquida bens de capital mecânicos, 2012-2018 (bilhões reais).



Fonte: ABIMAQ 2020; Bradesco 2020 Elaboração própria

No gráfico 11, a evolução da produção física dos bens de capital não seriados é representada. Diferentemente da evolução de bens de capital seriados, o comportamento desse segmento estável a partir do ano de 2012 e sofreu uma queda no ano de 2015 mantendo uma receita líquida média de 60 a 80 bilhões de reais em cada ano.

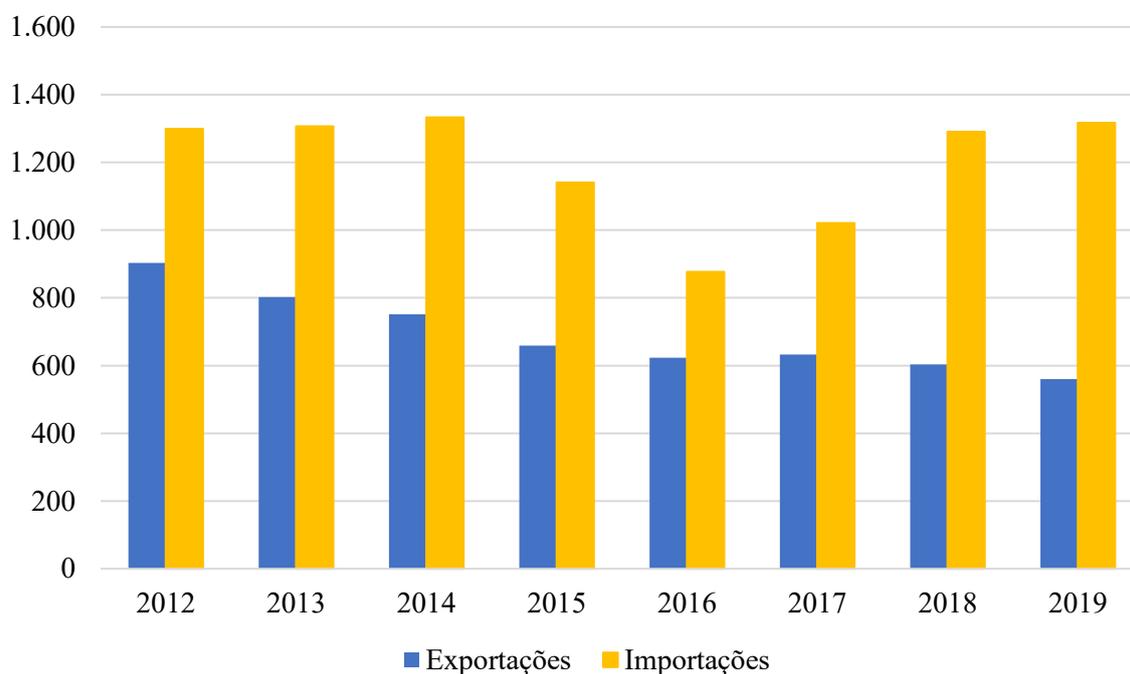
Gráfico 12: Bens de capital para fins industriais não seriados, 2012-2019 (média anual índice 2012 =100)



Fonte: IBGE - Pesquisa Industrial Mensal - Produção Física; Elaboração própria

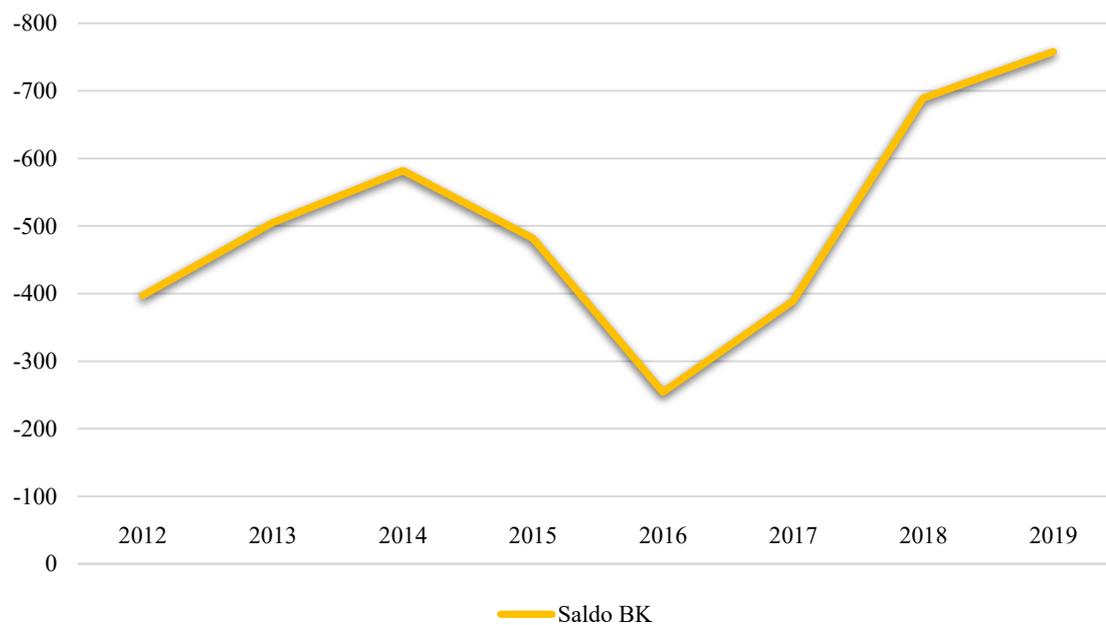
O gráfico 12 aborda a evolução da balança comercial do setor de bens de capital. Desde início da análise o comportamento das exportações foi de decréscimo; este comportamento acarreta, sempre, a balança comercial de bens de capital ser negativa. O gráfico revela que, em 2016, a balança comercial teve seu melhor resultado com um déficit de US\$ 150 milhões; após isso, ocorreu quedas que, em 2019, chegaram em aproximadamente US\$ 800 milhões. Em outra ótica, a análise explicita a dependência brasileira externa de bens de capital. Em seguida, o gráfico 13 ilustra o comportamento do saldo da balança comercial (coeficiente das variáveis do gráfico 12). É possível observar um pico negativo no ano de 2016 e, após esse período, a linha se mantém em crescimento.

Gráfico 13: Evolução da balança Comercial - Bens de Capital, 2012-2019 (US\$ milhões)



Fonte: FIESC 2020; Elaboração própria.

Gráfico 14: Saldo da balança comercial - Bens de Capital, 2012-2019 (US\$ milhões)



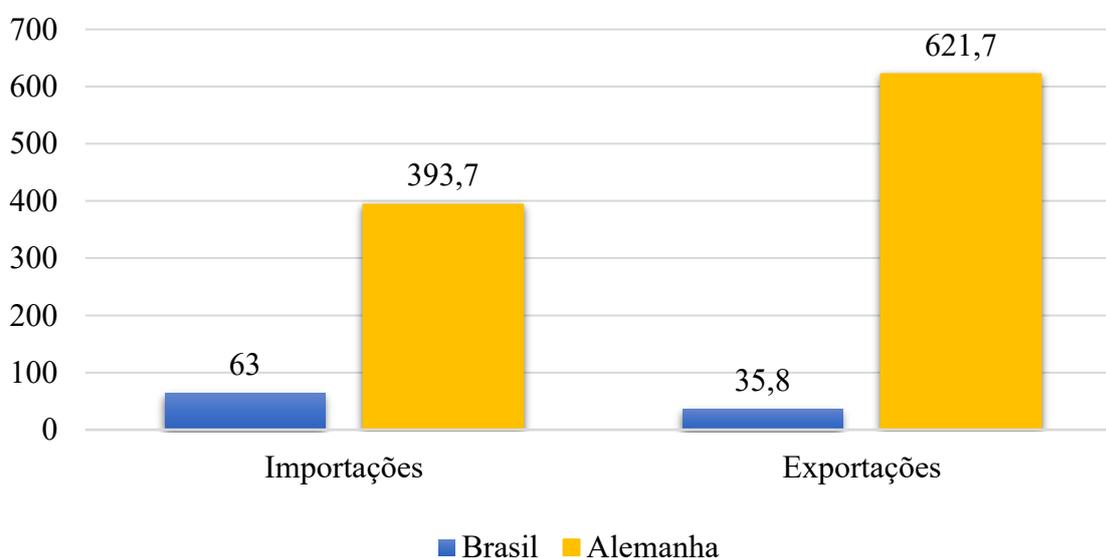
Fonte: FIESC 2020; Elaboração própria.

Sobre a participação brasileira no comércio exterior, Cardoso (2019, s.p), argumenta:

“Algumas das hipóteses da baixa participação brasileira no comércio global são atribuídas a: i) um reduzido número de acordos comerciais firmados pelo Brasil nos últimos anos, alguns, inclusive, com pouca expressividade de ganhos comerciais devido aos parceiros selecionados ou pela composição da oferta dos bens negociados e ii) uma estratégia canalizada por governos anteriores nas negociações de âmbito multilateral, que, sem entrar no debate se estava correta ou não, poderia, sim, resultar ao Brasil acesso aos mercados agrícolas de players importantes da economia internacional, como, por exemplo, os Estados Unidos e a União Europeia”.

Tal argumentação pode ser validada com a análise sobre a balança comercial de bens de capital brasileira sofre, quando comparada a Alemanha. O gráfico 14 permite uma reflexão sobre o saldo comercial brasileiro de tecnologias, perante ao mundo. Ao se comparar as importações e exportações do principal *player* mundial (Alemanha) com o Brasil, no ano de 2018, a presença do país é tímida. Ou seja, há um caminho muito grande para se percorrer e ter a mesma relevância comercial, em bens de capital somado a Indústria 4.0 embutida neles, internacionalmente.

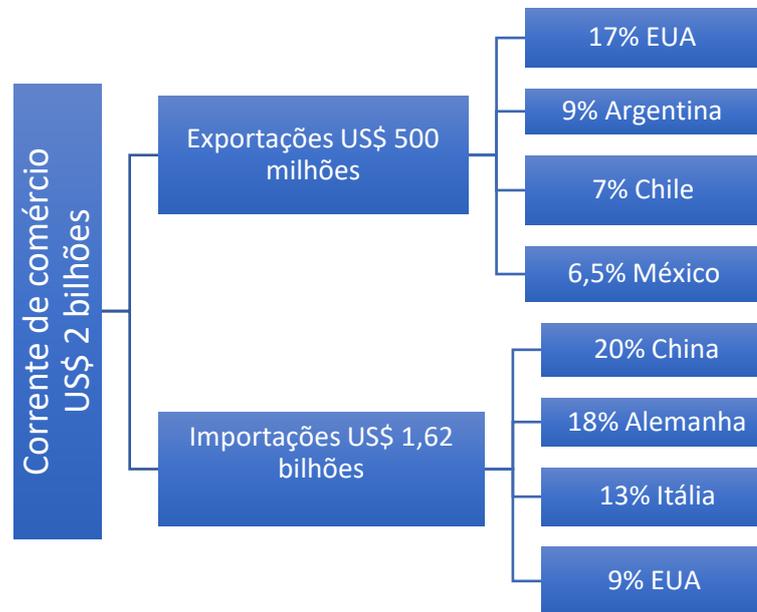
Gráfico 15 : Exportações e Importações de bens de capital de Brasil e Alemanha para o mundo em 2018 (bilhões de dólares)



Fonte: WITS – Word Integrated Trade Solution, 2020; Elaboração própria

Na figura 6, em 2019, com dados da ABIMAQ, a corrente de comércio de bens de capital no Brasil é representada:

Figura 6: Corrente de comércio de máquinas e equipamentos especializados no Brasil – 2019



Fonte: Brasil; Elaboração própria

Este diagrama demonstra a dependência do setor quanto às importações de países referenciais em inovações e tecnologia de ponta: EUA, China, Alemanha e Itália. Os principais consumidores dos bens brasileiros são: EUA, Argentina, Chile e México. De Negri e Cavalcanti (2011, p. 9), apresentam uma justificativa para esse comportamento brasileiro:

“O que se verifica no período recente é um aprofundamento dessa especialização produtiva. Assim, os preços internacionais de *commodities* ainda em alta e uma conjuntura de perda de dinamismo da indústria (...) contribuíram para aprofundar a especialização produtiva da economia brasileira em segmentos de baixa intensidade tecnológica”

Tal afirmação se encaixa ao setor de bens de capital, pois o dinamismo se demonstrou o mesmo em provavelmente na maioria das *commodities*; esse comportamento “atrasado”, possui justificativas históricas. É uma característica dos países com industrialização tardia. Como aponta Chang (2004, p.208):

“Como se observou inúmeras vezes nos últimos séculos, o problema comum enfrentado por todas as economias em *catch-up* é que a passagem para atividades

de maior valor agregado, que constitui a chave do processo de desenvolvimento econômico, não se dá ‘naturalmente’. Isso ocorre porque, por diversas razões, há discrepâncias entre o retorno social e o individual de investimentos nas atividades de alto valor agregado – ou indústrias nascentes – nas economias em *catch-up*.”

Em suma, *catch-up* é o alcançar o desenvolvimento econômico de países mais desenvolvidos. Para o Brasil ter chances de sucesso num processo de *catch-up* em relação aos países desenvolvidos, é imperativo implementar um programa para competitividade. Além disso, estimou-se que, em 2014, a renovação do parque industrial em um período de 20 anos, provocaria uma demanda adicional de bens de capital mecânicos de R\$ 23 bilhões anuais somente em máquinas nacionais (ABIMAQ, 2014).

O parque industrial está voltado para todo o consumo do mercado nacional. A Índia, tal como o Brasil, tem no mercado interno seu principal foco. Os dois países são grandes consumidores, produtores e importadores de bens de capital – ainda que o Brasil em menor proporção, não figurando sequer entre os 15 maiores importadores em 2016 (IEL, 2018).

Os desafios, perante esse contexto apresentado, será a implementação da Indústria 4.0 em bens de capital no Brasil. Todo esse contexto e classificação técnica deste setor será apresentado na próxima seção. A abordagem contextualizará os conceitos envolvidos no tema da Indústria 4.0.

3.2. DESAFIO PARA AS IMPLEMENTAÇÕES DESSAS TECNOLOGIAS E O CENÁRIO DA MANUFATURA NO BRASIL

Nessa seção será exposta uma análise sobre quais as dificuldades o Brasil encontra na implementação das tecnologias da era 4.0. O país não é referência no cenário mundial em produção e difusão de novas tecnologias. Sua dinâmica industrial apresenta-se contrária à da Alemanha, principais referências na Indústria 4.0 no setor de bens de capital, observado que as empresas e os países devem adotar estratégias e políticas a fim de estarem prontos para as mudanças que ela sinaliza, que inicialmente são vistas como ameaças mas que podem ser fontes de oportunidades de transformação estrutural e desenvolvimento (FURTADO, 2017). Há, portanto, uma possibilidade desse cenário ser revertido. Segundo IEL (2018, p. 70):

“A Produção Inteligente representa, em primeiro lugar, uma oportunidade para que a economia brasileira reduza o hiato de produtividade que, em algumas atividades, a distância dos países desenvolvidos e de outros países emergentes. A indústria de transformação brasileira se encontra numa posição intermediária entre os países emergentes e os países desenvolvidos. Deve aumentar a eficiência na indústria para manter a capacidade de suprir o mercado interno e concorrer no mercado global.”

E complementa:

“O principal desafio consiste em ultrapassar os limites da trajetória previsível de disseminação da Produção Inteligente na indústria brasileira, acelerando o ritmo e ampliando o alcance para além do grupo de empresas líderes, de modo que os ganhos de produtividade se espalhem de forma mais ampla na estrutura produtiva. É preciso evitar a adoção defasada e restrita a um reduzido número de empresas. As novas tecnologias não devem se difundir apenas entre as empresas líderes e suas cadeias de suprimento e distribuição. É necessário que alcancem à maior parte das empresas que atuam no sistema produtivo de bens de capital para que possam incorporar os ganhos de competitividade potenciais”.

Contudo, são muitos os desafios que são encontrados no território brasileiro. Para CNI (2016b), o baixo conhecimento por parte das empresas, o alto custo de implantação, a baixa qualificação do trabalhador e o reduzido apoio do governo são algumas delas, configurando um cenário completamente adverso ao observado na experiência alemã.

Vermulm (2018, p. 10) apresenta uma pesquisa realizada pela CNI 2016: *“Foram consideradas 10 tecnologias digitais para se obter informações como: adoção dessas tecnologias pelas empresas; objetivos da adoção das tecnologias; importância delas para a competitividade industrial; principais dificuldades para a sua aplicação etc.”*. A pesquisa foi aplicada em um total 2.225 empresas, das quais 910 de pequeno porte, 815 médias e 500 de grande porte. A pesquisa comprova o distanciamento do cenário brasileiro de inovação das novas tecnologias digitais. Ela revelou que 57% das empresas desconheciam as tecnologias; 32% das grandes empresas não entendiam que as tecnologias digitais poderiam ser importantes para o desenvolvimento e competitividade; 43% de toda pesquisa não enxergavam qual tecnologia possuía potencial para aumento de competitividade.

As empresas brasileiras estão em transitando entre a segunda e terceira Revolução Industrial. Esse cenário é realidade para a maioria das indústrias que utiliza linhas de montagem e automação. A quarta Revolução se demonstra mais presente, segundo o autor, no setor automotivo. Este deriva de estímulos gerados pelos grandes *players* internacionais. Aliás, segundo pesquisa realizada pelo IEL (2018), a maioria das empresas está no processo de adoção inicial ao sistema de inovação da Indústria 4.0. Em que, 80% desse universo pesquisado

estavam apenas realizando pesquisa de como realizar a implantação da inovação no processo produtivo. A pesquisa IEL (2018, p.73) complementa:

“Para explorar plenamente as oportunidades advindas dessa tecnologia, é preciso estabelecer mecanismos para evitar, na medida do possível, que os riscos obstaculizem ou restrinjam o processo. Para tanto são necessários, assim como em outros países, a coordenação e o compartilhamento de riscos entre as empresas e entre atores públicos e privados. O Brasil precisa encontrar o modelo mais adequado ao seu perfil tecnológico, empresarial e institucional, assim como a Alemanha e os Estados Unidos fizeram com suas respectivas iniciativas”.

Inovação é a força motriz das revoluções industriais, sendo ela um fator indispensável para na Indústria 4.0. O Brasil ocupa uma posição muito desfavorável mundialmente, de acordo com Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 (2019), pois a inovação brasileira é a 69º no *ranking* mundial. Os desafios apontados para evolução desse cenário, se baseiam soluções que já foram implementados nos *players* internacionais. Sendo elas: (i) a construção de políticas estratégicas, incentivos governamentais; (ii) a reunião de empresários e gestores com postura proativa; e (iii) o desenvolvimento tecnológico e formação de profissionais, próximos à indústria.

A ABDI (2017) levantou cinco eixos, em um programa para indústria do futuro, para que o Brasil desenvolva e comece a adentrar na Revolução 4.0. Os eixos foram levantados por meio de uma pesquisa em conjunto com instituições alemãs e são eles: (i) criação de um programa brasileiro de manufatura avançada; (ii) acordo bilateral com a Alemanha para acesso aos programas do país; (iii) inauguração de rede de *testbeds* (experimentos controlados em espaços reais); (iv) estímulos internos do governo com linhas de fomento; (v) engajamentos de pequenas e médias empresas. O primeiro e o segundo pontos envolvem a criação e acesso aos programas de manufatura avançada. Desta forma, o Brasil conseguiria ser direcionado com medidas efetivas de desenvolvimento com base nos programas alemão. Os outros eixos apontados pelo programa pela ABDI (2017) relacionam-se às ações práticas apoiadas pelo governo federal, principalmente em recursos financeiros, para o desenvolvimento e inovação das pequenas e médias empresas.

Conforme aponta a UNIDO (2017 *apud* OECD, 2020) no Brasil, desde 2010, há uma queda de 2% no desenvolvimento do PIB que está distribuída entre 2010 e 2015. Atrelado a este fato, o país não gerou intensificação e atualização tecnológica no setor contribuindo para sua queda na classificação internacional do *ranking* de Desempenho Industrial Competitivo. Ou seja, a variável investimento está diretamente relacionada com a intensidade tecnológica do

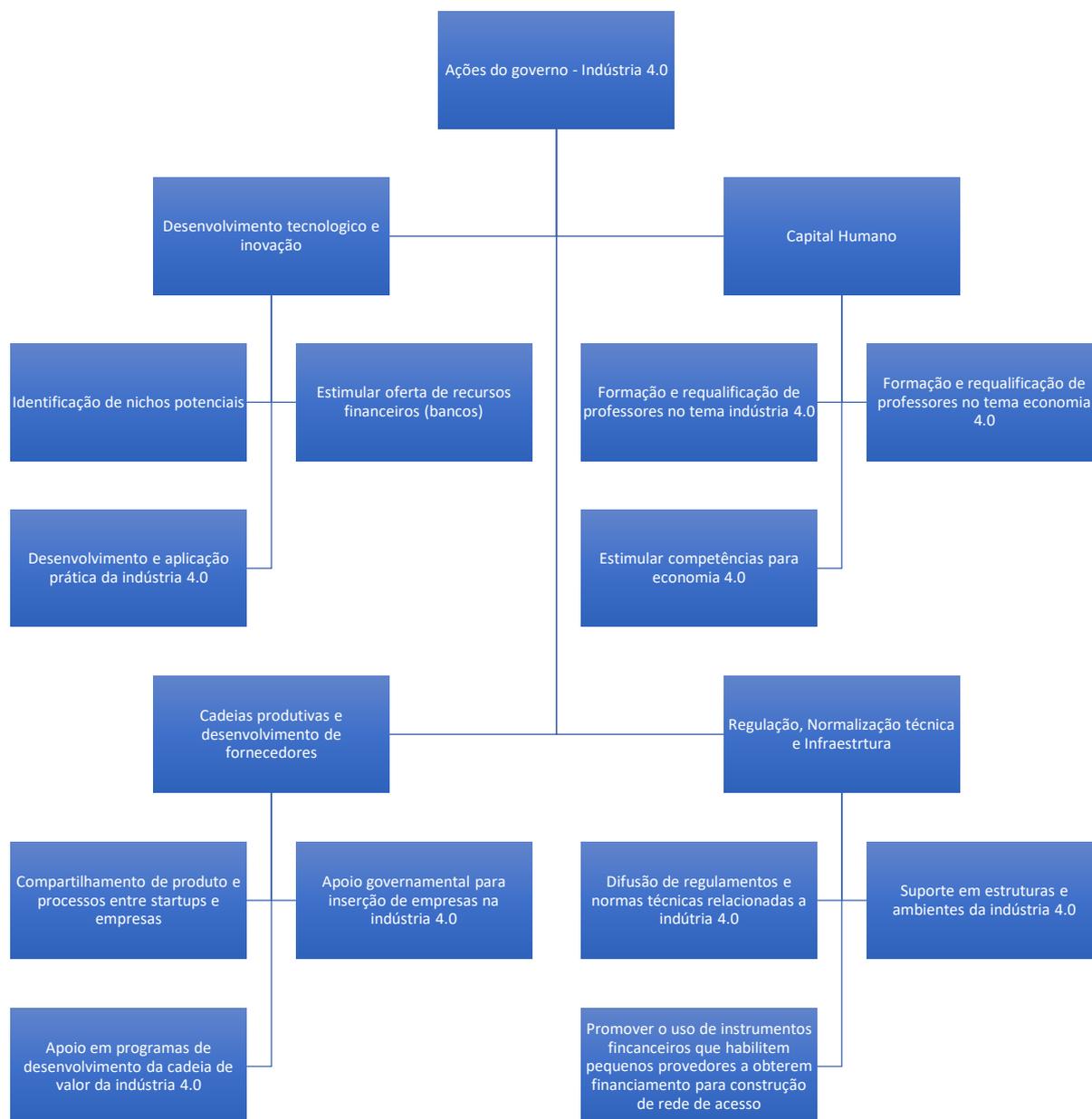
país; com o decréscimo de investimento, a classificação internacional do Brasil regrediu em *high tech*.

No mesmo estudo, conforme OECD (2020), devido ao fraco desempenho no setor, o MCTIC (2017) implementou iniciativas para estabelecer a mudança nesse cenário. Entretanto, o mínimo viável para a implementação e ampliação das tecnologias digitais nas empresas está longe de acontecer. O Brasil apresenta um uso, em média, de 4% de robôs em sua indústria. Enquanto países nórdicos conseguem implementar em sua indústria 33% do uso de robôs, como são os casos da Finlândia e Dinamarca (sendo esses países os maiores índices de implementação); comparado à Alemanha, o índice está em torno de 14%, número três vezes maior que o brasileiro.

O plano de ações (Brasil, 2020), apresentado pela figura 7, expõe as decisões que o governo tomou perante ao cenário da Indústria 4.0 brasileiras e os próximos passos. Conforme aborda OCDE (2020, s.p), sobre o plano de ações do Ministério da economia: “*se baseia em documentos e estratégias anteriores de atores públicos e privados para propor ações estratégicas em cada uma das quatro áreas de foco.*”. E complementa:

“Entretanto, a ausência de um plano de orçamento geral e a dependência dos mecanismos de financiamento existentes, em muitos casos, faz com que uma implementação bem-sucedida das ações previstas tenha altos e baixos, ficando dependente da vontade política, dos recursos financeiros das diferentes instituições, e de sua disposição em cooperar. Um fortalecimento do mecanismo de governança global de transformação digital, será fundamental nesse sentido.” OCDE (2020, s.p.).

Figura 7: plano de ações governo brasileiro para implementação da indústria 4.0



Fonte: Elaboração própria com informações Brasil (2020).

Com base nos dados já apresentados, é notório o como o Brasil está muito distante de mudar a realidade da implementação das tecnologias 4.0 no país. Conforme o índice de manufatura elaborado pela Deloitte (2016), a penetração dessas novas tecnologias era baixa; a pesquisa exhibe que o Brasil estava nas últimas posições, quando realizada uma análise em uma

amostrado de 40 países. O WEF (2018) elaborou uma pesquisa sobre as tecnologias 4.0 no Brasil, concluindo que por mais promissor que seja a Indústria 4.0 em solo brasileiro, o país se encontrava com um dos menores índices de preparo do G20. Após a análise a atuação do governo e as políticas para implementação de inovação e análise dela, a próxima seção tratará sobre como tende a ser a difusão das novas tecnologias 4.0 no setor de bens de capital no Brasil.

3.3. Difusão 4.0 no setor de bens de capital brasileiro

Conforme já exposto anteriormente, o Brasil possui uma grande defasagem de implementação tecnológica principalmente nas novas inovações da era 4.0. Este efeito reflete de forma intrínseca no setor de bens de capital e na economia nacional como um todo; como discutido no capítulo 1, o setor de bens de capital desenvolve de maneira indireta outras áreas da economia devido sua característica de se articular a diversas cadeias produtivas.

IEL (2018) aponta que, em alguns sistemas produtivos, o setor de bens de capital depende de micro e pequenas empresas para evoluir o processo como um todo. E sugere que as líderes do setor realizem o apoio adequado a essas firmas com um suporte de instituições públicas de financiamento para que estas acelerem tecnologicamente sua base produtiva. Na mesma argumentação, o Instituto segue com a ilustração dos principais protagonistas que envolvem o cenário produtivo de bens de capital: pequenos produtores e fornecedores de insumos para automotivos e de máquinas e equipamentos de uso geral. Estas empresas são totalmente interligados com o sistema produtivo de bens de capital e, ironicamente, possuem atrasos tecnológicos por não receberem suporte adequado; a maioria deles consiste de pequenos e micro produtores (CNI, 2019). Tais medidas, para solucionar esse problema, devem envolver a digitalização da gestão e processos adaptando a produção com *softwares* com o apoio de instituições financeiras (IEL, 2018).

Contudo, o estudo prevê que até 2027 o setor deva seguir a seguinte trajetória:

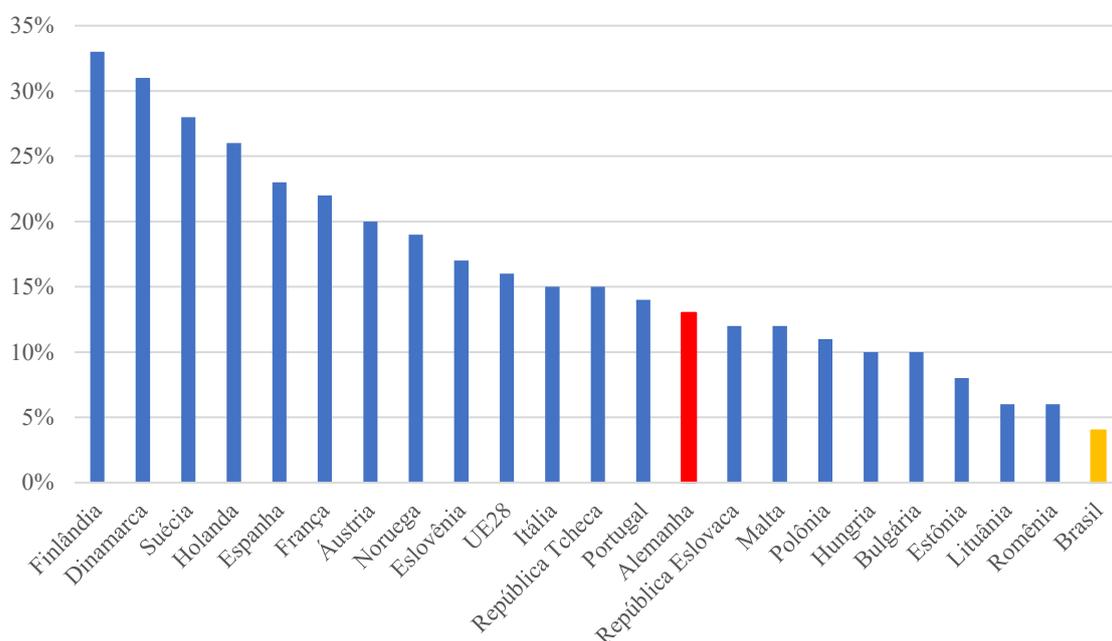
- Subsidiárias de empresas líderes em bens de capital oferecerão produtos tecnologicamente atualizados no mercado nacional;
- As empresas líderes no setor implementarão itens de sensoriamento e conexão para aumento de produtividade e redução de custos. Desta forma, será possível controlar a produção de maneira digital e intensificar a manutenção preventiva.

Conforme aponta IEL (2018, p. 73), o Brasil ainda precisa, de fato, iniciar a implementação de tecnologias 4.0 para que não sofra de perdas de produtividade na indústria, principalmente, em bens de capital. E realça: “*O Brasil precisa encontrar o modelo mais adequado ao seu perfil tecnológico, empresarial e institucional, assim como a Alemanha e os Estados Unidos fizeram com suas respectivas iniciativas*”.

Há uma tríade composta pelos principais protagonistas industriais de bens capital, que são: grandes empresas, empresas de pequeno porte e produtores de máquinas e equipamentos. Segundo IEL (2018), em uma pesquisa realizada em 2017 nesse mercado 81% dessas empresas ainda estão em um estágio inicial de adoção de tecnologias 4.0 no setor de bens de capital. É um resultado insatisfatório para o Brasil, visto os processos e avanços já estabelecidos em países de referência na área, como a Alemanha.

A Alemanha, por um outro lado, como demonstrado no capítulo 2, é uma das maiores potências da difusão dessas tecnologias. Orquestrou todo o projeto da indústria 4.0 em conjunto com principais atores da sociedade: *players* industriais, pessoas e entidades financeiras. Com a *high tech strategy* foi possível estabelecer a meta do projeto: ser um dos pioneiros na corrida da tecnologia 4.0, ao contrário do Brasil que andou na contramão dessa corrida tecnológica, de acordo com as evidências apresentadas no gráfico 15, que mensura a difusão de robôs industriais na manufatura.

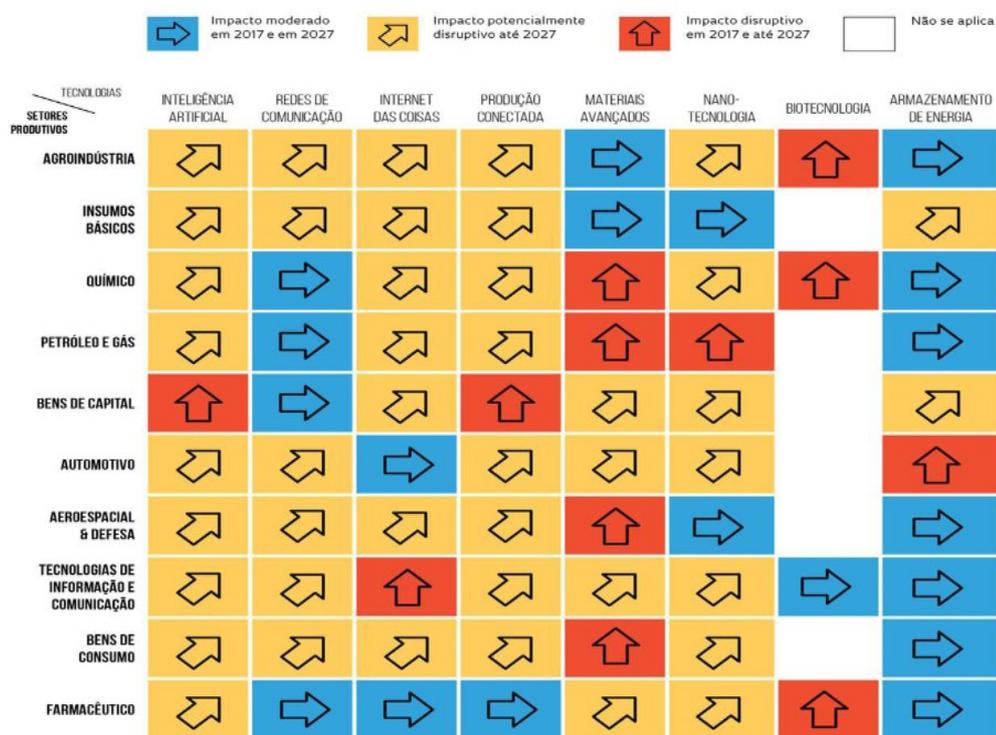
Gráfico 16: Percentual de uso de robôs industriais na manufatura, Brasil e Europa, 2019



Fonte: Elaboração própria com referência aos dados de OECD (2020)

A figura 8 ilustra as principais implicações dos oito *cluster* tecnológicos nos principais setores industriais, conforme estudo do IEL. A previsão do impacto é medida até 2027 com o potencial disruptivo sendo medido em: sem aplicação, moderado, potencialmente disruptivo e disruptivo. Avalia-se que os *clusters* inteligência artificial e produção conectada terão grande impacto em termos da Indústria 4.0; os dois *clusters* estão diretamente conectados no setor de bens de capital devido à necessidade de segmento em se tornar uma indústria inteligente: com linhas de produção sem interferência de decisões humanas e autônomas.

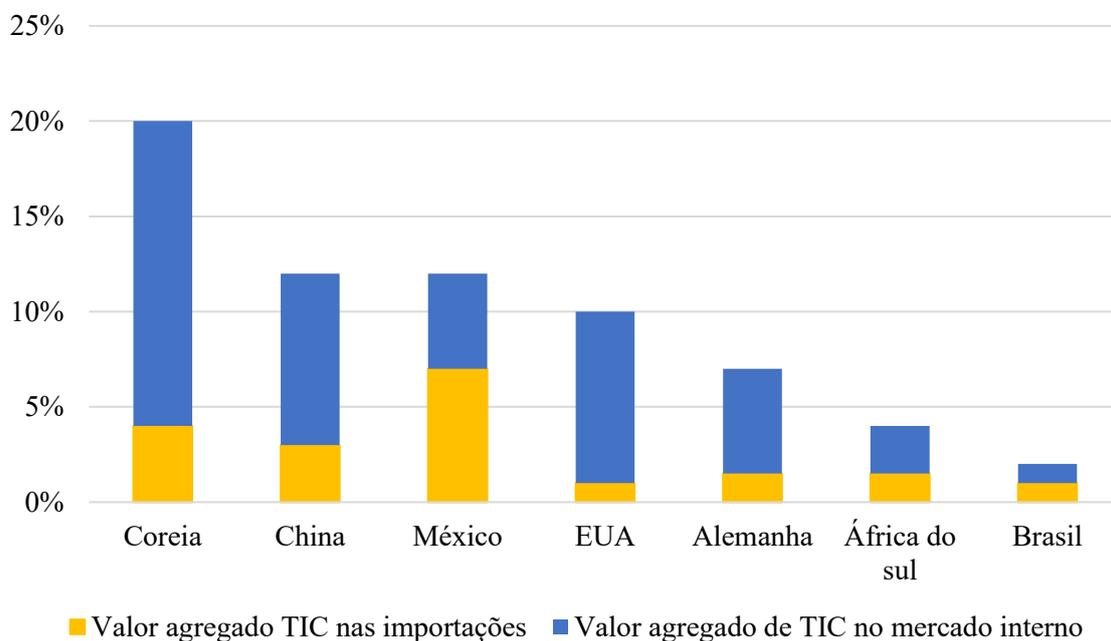
Figura 8: Choques da inovação – impactos de oito tecnologias para a competitividade de setores produtivos



Fonte: IEL (2018); Reprodução

Segundo dados da OCDE (2015), a participação brasileira, no indicador de conteúdo de valor agregado de TIC, é bem baixa (1%) quando comparada às economias desenvolvidas, conforme gráfico 16. A situação do Brasil fica mais desfavorável quando é contrastado com países de economia emergente: México com 12% e China com 13% de TIC. A Alemanha, que é alvo desse estudo, possui um percentual de TIC de 8%, oito vezes maior que o brasileiro, em comparativo.

Gráfico 17: Percentual Conteúdo de valor agregado de TIC nas exportações de produtos manufaturados do Brasil, 2015



Fonte: Elaboração própria com referência aos dados de OECD (2020)

Os dados mencionados demonstram a carência de brasileira em produção de tecnologias de ponta que possam ser implementadas de maneira efetiva no contexto industrial nacional. Segundo OCDE (2020, s.p.): *“As empresas manufactureiras no Brasil, portanto, parecem estar cada vez mais confiantes no valor agregado de TIC estrangeiro, ilustrando a importância fundamental de se ter acesso à tecnologia estrangeira a um custo acessível”*.

Conforme aponta a matéria do FAPESP (2017), haverá de ter uma articulação mais complexa do que é disponibilizada no país atualmente, necessitando de um redesenho no modelo de investimento em P&D e governança. Contudo, em alguns setores, como é o caso de bens de capital, a atuação das tecnologias tem impacto no curto prazo, como se observa nos dois *clusters* mencionados anteriormente (Produção inteligente e I.A), que já estão em plena aplicação em bens de capital.

Conforme aponta IEL (2018), a Produção Inteligente e Conectada deverá se difundir disruptivamente em um espaço tempo de cinco a dez anos, nas atividades de bens de capital e nas outras atividades. A figura 8 ilustra esse processo, sendo que as setas em vermelho representam os *clusters* de maior impacto na atividade produtiva representada. No caso, no segmento desse estudo, se encontra, como maior impacto: I.A. e Produção Inteligente e Conectada. Nesse contexto, o estudo cita o “núcleo duro” da Produção Inteligente e Conectada. Esse termo remete ao o que, nessa previsão de cinco a dez anos, haverá uma alteração na configuração no sistema produtivo. Segue os principais fatores identificados por IEL (2018):

- Manufatura Aditiva: manufatura realizada por união de partículas por camadas, sendo este aplicado a peças de alto valor agregado e de geometria mais complexa. Desta forma, o projeto consegue ser mais preciso.
- Robótica autônoma e colaborativa: esse um dos processos mais citados nesse estudo que é o auxílio de máquinas e I.A para controle da produção e tomada de decisão sem interferência humana.
- Virtualização da produção: compartilhamento de informações e dados entre toda a cadeia produtiva permitindo que, todos os níveis do complexo produtivo possam ser conectados. Desta forma, há a possibilidade de controlar e acompanhar remotamente a operação.

As outras tecnologias, já citadas nessa pesquisa, como redes de comunicação, *big data*, IoT e *blockchain* são complementares a todo o sistema apresentado. Desta forma, são tecnologias que ajudam a viabilizar a Produção Inteligente e Conectada. IEL (2018) afirma que essas tecnologias ocorrerão de maneira “fértil” no Brasil no prazo estipulado. A única diferença, entre os outros países desenvolvido e, inclusive com a Alemanha, é a falta de iniciativa e incentivo para acelerar o ritmo da difusão da Indústria 4.0.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou analisar o tema de inovação apresentando as aplicações e implicações das tecnologias da Indústria 4.0 para o setor de bens de capital na Alemanha e no Brasil. Em âmbito nacional, o panorama indica que o setor representa 33% da FBCF, segundo IBGE. Todavia, mesmo com essa característica, as empresas possuem dificuldades em se reinventar e aplicar novas tecnologias dentro do seu processo industrial, deixando o país com umas das piores taxas de desenvolvimento tecnológico do mundo (OECD, 2015).

O desenvolvimento das tecnologias 4.0, nos períodos analisados, se modelou de forma muito mais relevante em países de alto desenvolvimento econômico como a Alemanha, que foi objeto de estudo nesse trabalho em comparativo com o Brasil. Ao pesquisar sobre a política interna para gerar estímulo ao desenvolvimento da Indústria 4.0, os alemães demonstraram um engajamento público-privado muito grande em prol do desenvolvimento de principais setores na indústria, como bens de capital. Mais de uma vez, este é o ramo industrial que mais transmite tecnologia para outras cadeias produtivas. Segundo dados de Burh (2015), entre 2013 e 2025, com a implementação de novas tecnologias da era 4.0, haverá um incremento de 268 bilhões de euros na economia germânica.

A articulação do governo brasileiro para evolução técnica no setor ainda é bem incipiente. Conforme aponta IEL (2018), há a necessidade de estabelecer um canal mais prático entre pesquisa e atividade produtiva. Desta forma, a interação complexa entre as tecnologias IA, IoT, Redes de comunicação, *big data*, e outros (os *clusters* apresentados no capítulo 1) existe com o objetivo de gerar avanços de maneira progressiva na produtividade nacional. De fato, segundo Portal da Indústria (2018, s.p.), de acordo com uma pesquisa com 753 empresas de diversos setores da economia brasileira, 65% delas afirmaram que nos próximos dez anos a indústria sofrerá um alto impacto. Em especial, a de bens de capital que se encontra nesse cenário com 71% das empresas desenvolvendo, a curto de prazo, alguns *clusters*, como examinado no capítulo 3.

Além do mais, o Brasil possui a sua disposição uma grande quantidade de pesquisadores que são capazes de gerar conhecimento para disseminar por toda cadeia produtiva, porém, há a dificuldade de articulação entre todas as facetas da sociedade envolvidas (IEL,2018). Desta forma, o país se encontra em um grau de engajamento bem diferente do que foi encontrado nas aplicações práticas realizadas pelas experiências, por exemplo, pela Alemanha.

Outro indicador relevante para esse cenário de participação brasileira no mundo digital é o Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). De acordo com a Funiber (2020) este indicador permite calcular a parcela de valor agregado de tecnologias inseridas em produtos manufaturados. Ainda de acordo com Funiber (2020, p.5): *“A grande presença das TICs nas organizações e os altos investimentos realizados para adquiri-las, implantá-las, operá-las e explorá-las mostraram a necessidade de reconhecer os serviços que delas se podem extrair ou gerar para dar valor adicional a pessoas, processos, sistemas e às próprias tecnologias dentro das organizações, bem como a produtos e serviços próprios oferecidos pelas organizações.”*

No comércio mundial, a Alemanha possui mais presença que o Brasil; o país exporta 60% a mais, quando as balanças comerciais são comparadas. Tal fator, como demonstrado, se deve (pelo menos em parte) ao posicionamento político e estratégico que Alemanha estabeleceu em seu pioneirismo. Ademais, toda essa aplicação se encontra recente sendo objetivo de desenvolvimento de vários países. As tecnologias 4.0 permitirão tomadas de decisões mais inteligentes em toda cadeia produtiva. As próximas buscas e desafios para pesquisas dessa transformação serão no intuito de compreender o comportamento do setor e os planos de ações práticas que cada governo pode estabelecer. Assim, em concordância com Kupfer (2018, s.p.): *“A manufatura avançada não depende de inovações radicais, mas de uma convergência de tecnologias. Exige integração com a internet, investimento em Big Data, em análise de dados e em capacidade de tomar decisões”*. Ou seja, dentro da realidade brasileira está sendo realizado ações que estão distantes dos pontos focais executadas pela Alemanha, por exemplo: articulação com os principais *players* da sociedade, investimento e planos de ação.

Considerando a discussão no capítulo, 1 que apresenta uma análise mais teórica sobre bens de capital e as tecnologias 4.0, foi observado uma grande evolução do planeta nesse aspecto; várias indústrias dependem dos *clusters* tecnológicos (oito principais tecnologias da indústria 4.0) para os desenvolvimentos dos setores na economia. Unindo esse fato ao setor de bens de capital, o presente trabalho propôs contribuir com uma análise dos usos dessas tecnologias na Alemanha, na qual foi discutido no capítulo 2. Os alemães são referência no assunto mundialmente sendo um dos primeiros a esboçar e aplicar estratégias de desenvolvimento de sua indústria na era tecnológica 4.0. Em paralelo, o capítulo 3 contribui em como o Brasil se desenvolveu perante as novas aplicações; com análises gráficas e posicionamento teóricos é possível concluir que, atualmente, a indústria brasileira 4.0 se encontra atrasada em relação aos países pioneiros da corrida, como já citado. Portanto há

estudos e projeções que, até 2027, o Brasil comece a gerar tração tecnológica em suas cadeias de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI (2017). Indústria 4.0

ABIMAQ (2014). Competitividade (II). Disponível em: . Acesso em: 13 jun. 2019a.

ALEM, A. C.; PESSOA, R. M. (2005). O setor de bens de capital e o desenvolvimento econômico: quais são os desafios.

ANDREONI, A., & CHANG, H. J. (2016). Industrial policy and the future of manufacturing. *Economia e Politica Industriale*, 43(4), 491-502.

ARAÚJO, B. C (2011). Indústria de bens de capital. DE NEGRI, JA; LEMOS, MB *O núcleo tecnológico da indústria brasileira*. Brasília: Ipea/Finep/ABDI, v. 1, p. 409-514.

BASTASIN, C. (2013), “Germany: a global miracle and a European challenge”, Working Paper No. 62, Brookings Institution, Global Economy & Development, Washington, DC.

BIOTECHTOWN (2020). *O que é biotecnologia?* Disponível em: <https://biotechtown.com/blog-post/o-que-e-biotecnologia/>. Acesso em: 27 jun. 2020.

BITKOM; VDMA; ZVI (2016). *Implementation Strategy Industrie 4.0: report on the results of the industrie 4.0 platform*. Plattform Industrie 4.0 (2013-2015). Frankfurt, Alemanha.

BRETTEL, M., BENDIG, D., KELLER, M., FRIEDERICHSEN, N., & ROSENBERG, M. (2014). Effectuation in manufacturing: how entrepreneurial decision-making techniques can be used to deal with uncertainty in manufacturing. *Procedia CIRP*, 17, 611-616.

BUHR, DANIEL (2017). Social innovation policy for Industry 4.0. Friedrich-Ebert-Stiftung, Division for Social and Economic Policies. Disponível em: < <http://library.fes.de/pdf-files/wiso/11479.pdf> > Acesso em 13 maio 2020.

CESARATTO, S. *et al* (2010). Europe, German mercantilism and the current crisis. Department of Economics, University of Siena.

CHANG, H.J. (2004), Chutando a escada: a estratégia do desenvolvimento em perspectiva histórica, Unesp, São Paulo.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CNI (2016). *Desafios para a indústria 4.0 no Brasil*. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/>>. Acesso em: 30 jun. 2020

DAUDT, G. M.; WILLCOX, L. D. (2016). Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada.

DAUDT, G. M.; WILLCOX, L. D (2016). 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.

DAUDT, G.; WILLCOX, L. D. (2018). Critical thoughts on advanced manufacturing: the experiences of Germany and USA. *Revista de Gestão*.

DE LIMA, A. G., & PINTO, G. S. (2019). Indústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, 16(2), 299-311.

DE NEGRI, F. (2012). Elementos para a análise da baixa inovatividade brasileira e o papel das políticas públicas. *Revista Usp*, (93), 81-100.

DE SOUSA JÚNIOR, J. *et al* (2019). A indústria 4.0 sob as perspectivas alemã e japonesa e suas lições para o Brasil. *Contribuciones a la Economía*.

DELGADO, I. G., CONDÉ, E. S., ÉSTHER, A. B., & SALLES, H. D. M. (2010). Cenários da diversidade: variedades de capitalismo e política industrial nos EUA, Alemanha, Espanha, Coreia, Argentina, México e Brasil (1998-2008). *Dados*, 53, 959-1008.

FERREIRA, S. (2009). A invenção estratégica do terceiro sector como estrutura de observação mútua: Uma abordagem histórico-conceptual. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, (84), 169-192.

FERREIRA, S. C. R.; DE PAULA, G. M (2018). Os primeiros impactos da Indústria 4.0 sobre o setor de papel e celulose. In: III Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação, Uberlândia. Anais... São Paulo: Blucher, v. 5, n. 1, p. 405-423.

FIA, Fundação Instituto de Administração (2018). Indústria 4.0: o que é, consequências, impactos positivos e negativos [Guia Completo]. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/industria-4-0/>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

FIO CRUZ (2020). Líderes ou escravos <http://www.epsjv.fiocruz.br/noticias/reportagem/s>. Acesso em: 18 jul. 2020.

FURTADO, J (2017). Instituto de Estudos Para O Desenvolvimento Industrial - Iedi Indústria 4.0: A Quarta Revolução Industrial e os desafios para a Indústria e para o desenvolvimento brasileiro. Disponível em: https://iedi.org.br/artigos/top/estudos_comercio/20170721_iedi_industria_4_0.html>.

FRANSMAN, M (1986). Technology and economic development. Boulder: Westview.

GTAI (2011). High- Tech Strategy Action plan industrie 4.0.

HERMIDA, C., & XAVIER, C. L. (2012). Competitividade da indústria brasileira no período recente de acordo com a taxonomia de Pavitt. Revista Brasileira de Inovação, 11(2), 365-396.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2012-2020). Pesquisa industrial de inovação tecnológica - Pintec. Rio de Janeiro: IBGE.

IEL – INSTITUTO EUVALDO LODI; NC - NÚCLEO CENTRAL (2017). *Mapa de clusters tecnológicos e tecnologias relevantes para competitividade de sistemas produtivos*. Brasília, DF: IEL/NC.

IND 4.0 (2020). Tecnologias da Indústria 4.0 aumentam em 22%, em média, produtividade em PMEs. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/noticias/19206-tecnologias-da-industria-40-aumentam-em-22-em-media-produtividade-em-pmes>. Acesso em: 30 mai. 2021.

INTERESSE NACIONAL (2019). Ganhos de Produtividade com Abertura Comercial. Disponível em: <http://interessenacional.com.br/2019/07/11/ganhos-de-produtividade-com-abertura-comercial/>. Acesso em: 7 out. 2019.

KUPFER, D (1996). Uma abordagem neo-schumpeteriana da competitividade industrial. *Revista Ensaios FEE*, Porto Alegre, v.17, n.1. p. 355-372.

LASTRES, H. M. M. (2016). *The advanced materials revolution and the Japanese system of innovation*. Springer.

MEDINA, H. V. D., & NAVEIRO, R. M. (1998). Materiais avançados: novos produtos e novos processos na indústria automobilística. *Production*, 8, 29-44.

MELO, T. M.; CORREA, A. L.; CARVALHO, E. G.; POSSAS, M. L (2017). Competitividade e gap tecnológico – uma análise comparativa entre Brasil e países europeus selecionados. *Revista Brasileira de Inovação*, Campinas, SP, v. 16, n. 1, p. 129–156. DOI: 10.20396/rbi.v16i1.8649142. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8649142>. Acesso em: 31 dez. 2020.

MCKINSEY (2020). Margin pressure builds in the German machinery industry.

NETSCANDIGITAL (2019). O que a digitalização de documentos e a indústria 4.0 têm em comum? Disponível em: <https://netscandigital.com/blog/o-que-a-digitalizacao-de-documentos-e-a-industria-4-0-tem-em-comum/>. Acesso em: 1 abr. 2020.

NIKOLOPOULOS, C.; SHAREEF, I.; KALMES, D (2000). Neural network based machinability evaluation. In: *International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 723-730.

OLIVEIRA, E. M. (2004). Transformações no mundo do trabalho, da revolução industrial aos nossos dias. *Caminhos de Geografia*, v. 5, n. 11.

PAVITT, K. (1984). Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. *Research policy*, 13(6), 343-373.

POOVENDRAN, R. A. D. H. A. (2010). Cyber–physical systems: Close encounters between two parallel worlds [point of view]. *Proceedings of the IEEE*, 98(8), 1363-1366.

RAJKUMAR, R., LEE, I., SHA, L., & STANKOVIC, J. (2010, June). Cyber-physical systems: the next computing revolution. In *Design automation conference* (pp. 731-736). IEEE.

SANTOS, B. P. *et al* (2016). *Internet das coisas: da teoria à prática*. Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, v. 31.

SANTANDER (2020). Online Reports. Disponível em: <https://www.santander.com/en/shareholders-and-investors/financial-and-economic-information/annual-report/memoria-online-2020#2020-at-the-bank>. Acesso em: 30 jun. 2020.

SCHUMPETER, J. A. (1976). *II. Capitalism, Socialism, and Democracy*, 1942.

SCHRÖDER, C. (2016). *The challenges of industry 4.0 for small and medium-sized enterprises*. Friedrich-Ebert-Stiftung: Bonn, Germany.

STRACHMAN, E., & AVELLAR, A. P. M. (2008). Estratégias, desenvolvimento tecnológico e inovação no setor de bens de capital, no Brasil. *Ensaio FEE*, 29(1).

VELLO, A. C. P.; VOLANTE, C. R (2019). O CONCEITO DE INDÚSTRIA 4.0 E OS PRINCIPAIS DESAFIOS DE SUA IMPLANTAÇÃO NO BRASIL. *Revista Interface Tecnológica*, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 325-336. DOI: 10.31510/infa.v16i2.686. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/686>. Acesso em: 30 jun. 2020.

VERMULM, R. (2003). *A indústria de bens de capital seriados*. Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).