

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

GABRIELLE OLIVEIRA PIMENTA

AS TECNOLOGIAS DAS FÁBRICAS INTELIGENTES: UMA ANÁLISE BRASIL E  
COREIA DO SUL

Joinville

2022

GABRIELLE OLIVEIRA PIMENTA

AS TECNOLOGIAS DAS FÁBRICAS INTELIGENTES: UMA ANÁLISE BRASIL E  
COREIA DO SUL

Trabalho apresentado como requisito para  
obtenção do título de bacharel no Curso de  
Graduação em Engenharia Automotiva do  
Centro Tecnológico de Joinville da  
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Janaína Renata Garcia

Joinville

2022

GABRIELLE OLIVEIRA PIMENTA

AS TECNOLOGIAS DAS FÁBRICAS INTELIGENTES: UMA ANÁLISE BRASIL E  
COREIA DO SUL

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 15 de dezembro de 2022.

**Banca Examinadora:**

Prof. Dra. Janaína Renata Garcia  
Orientadora

Prof. Dr. Modesto Hurtado Ferrer  
Membro  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Sérgio Junichi Idehara  
Membro  
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a Genésio Gabriel de Oliveira (*in memoriam*)

## **AGRADECIMENTOS**

A minha mãe Sandra, minha maior fonte de inspiração, quem sempre apoiou todos os meus sonhos e me motivou a não desistir, mostrou minha luz quando não a enxergava, escutou minhas comemorações e meus anseios e me dar um abraço quando as inseguranças falavam mais alto. Minha gratidão pela pessoa que me moldou em me tornar!

Ao meu pai Paulo, que no seu jeito de poucas palavras, permitiu-me chegar até aqui através de suas ações e conduta em levar a vida. Obrigada pelo seu suporte!

A toda família Gabriel de Oliveira, especialmente meu avô Genésio (in memoriam), por estarem do meu lado incondicionalmente.

A minha orientadora Profa. Dra. Janaína por confiar na minha ideia e sua paciência e sabedoria na orientação deste trabalho.

Agradeço aos muitos colegas que compartilharam momentos intensos em trabalhos e projetos.

Agradeço a todos que auxiliaram no presente trabalho, aos colegas e professores que deram suporte no questionário. Em especial ao Presidente da Câmara do Comércio e Indústria Brasil – Korea, Pablo Palhano pela sua disponibilidade e conhecimento da indústria brasileira e coreana.

## RESUMO

A manufatura está cada vez mais orientada a dados devido às linhas de montagem tradicionais não comportarem as necessidades de maior flexibilidade, personalização e agilidade. A manufatura digital admite a integração de componentes inteligentes que conectam materiais, peças, equipamentos e sistemas a partir da internet, o que permite processos autônomos e integrados que viabilizam o aumento da produção e tomadas de decisões descentralizadas pelo acesso facilitado de informações, aprendizado e comunicação. Para a indústria incorporar esse novo modelo de fabricação, denominada de Fábricas Inteligentes, diversas tecnologias da Indústria 4.0 são requisitadas para instrumentalizar a comunicação entre objetos, bem como a capacidade de tomada de decisões e sincronização do ambiente real e virtual. O avanço da maturidade das tecnologias nas fábricas proporciona informações disponíveis em tempo real e decisões mais inteligentes e otimizadas para redução e desperdício, produtos de melhor qualidade e custos mais baixos de fabricação. Para isso, os países precisam investir em estratégias políticas que impulsionem as inovações e forneçam investimentos e infraestrutura para que as empresas consigam habilitar as Fábricas Inteligentes; países desenvolvidos priorizam essas governanças, porém os países em desenvolvimento apresentam limitações na implementação devido à falta de elaboração de planos e investimento no desenvolvimento das tecnologias. Diante disso, optou-se por comparar o Brasil e a Coreia do Sul, pois ambos tiveram uma industrialização tardia, porém devido a políticas governamentais distintas o país sul-coreano alcançou o patamar de desenvolvido, porém o Brasil não teve sucesso. Para realizar a comparação, este trabalho busca inicialmente caracterizar os conceitos de Fábrica Inteligente e Indústria 4.0, selecionar com base em uma revisão da literatura as principais tecnologias relacionadas com o setor manufatureiro, e após a seleção das quinze principais um questionário foi elaborado para avaliar o nível das tecnologias e comparar os resultados entre fábricas de empresas sul-coreanas instaladas nos dois países para investigar se há discrepâncias entre as tecnologias e os principais motivos. Ao final do trabalho constatou-se que o sucesso da Coreia do Sul está atrelado a um estreito relacionamento entre políticas públicas e o setor privado com investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento, infraestrutura e qualificação de profissionais. Em relação ao Brasil os maiores desafios para as Fábricas Inteligentes são a falta de profissionais qualificados, disponibilidade de algumas tecnologias, investimento no desenvolvimento de infraestrutura, tecnologia e inovação e políticas bem estruturadas para auxiliar na revolução da manufatura.

**Palavras-chave:** Smart Factory. Indústria 4.0. Nível tecnológico.

## ABSTRACT

The manufacturing sector is increasing data-driven technologies as the traditional assembly lines do not support the need for greater flexibility, customization, and agility. Digital manufacturing allows the integration of intelligent components that connect materials, parts, equipment, and systems through the internet, which allows autonomous and integrated processes that enable increase in production and decentralize decision-making by facilitating access to information, learning and communication. For the industry to incorporate this new manufacturing model, called Smart Factory, several Industry 4.0 technologies are required to instrumentalize communication between objects, as well as the ability to make decisions and synchronize the real and virtual environment. The advancing maturity of technologies in factories provides real-time information available and optimized decision-making that provide reduction in waste, better products quality, and lower manufacturing costs. To do this, countries need to invest in strategies policies that drive innovation and provide investment and infrastructure for companies to enable smart factories. Developed countries prioritize these governances, but underdeveloped countries have limitations in implementation due to the lack of development plans and investment in the development of technologies. Therefore, it was decided to compare Brazil and South Korea, as both had a late industrialization, but due to different government policies, the South Korean country reached the level of developed, but Brazil was not successful. To carry out the comparison, this work initially seeks to characterize the concepts of Smart Factory and Industry 4.0, than select based on a literature review the main technologies related to the manufacturing sector, and after selecting the top fifteen technologies a questionnaire was prepared to evaluate the level of technologies and compare the results between factories of South Korean companies located in both countries to investigate whether there are discrepancies between technologies and the main reasons associated with it. At the end of the work, it was found that the success of South Korea is linked to a close relationship between public policies and the private sector with continuous investments in research and development, infrastructure, and professional qualification. In Brazil, the biggest challenges for Smart Factories are the lack of qualified professionals, availability of some technologies, investment in the development of infrastructure, technology and innovation, and well-structured policies to assist in the manufacturing revolution.

**Keywords:** Smart Factory. Industry 4.0. Technological level.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resumo das quatro revoluções industriais. ....	26
Figura 2 - Industrialização brasileira entre as décadas de 1950 e 1980. ....	30
Figura 3 - Integração das tecnologias da Indústria 4.0 em uma Fábrica Inteligente. ....	42
Figura 4 - Fluxo de dados na Indústria 4.0. ....	44
Figura 5 - Interconexões da IIoT nas Smart Factories e na cadeia de valor. ....	48
Figura 6 - Vantagens da IIoT. ....	50
Figura 7 - Modelo de Sistemas de Produção Ciber-Físicos nas Fábricas Inteligentes. ....	53
Figura 8 - Modelo de um Digital Twin. ....	57
Figura 9 - Arquitetura de um sistema de manufatura em nuvem. ....	62
Figura 10 - Origem dos dados de big data. ....	66
Figura 11 - Cibersegurança em uma fábrica. ....	81
Figura 12 - Fluxo do trabalho. ....	86
Figura 13 - Nível tecnológico da IIoT. ....	102
Figura 14 - Nível tecnológico dos CPPS. ....	105
Figura 15 - Nível tecnológico do Digital Twin. ....	106
Figura 16 - Nível tecnológico da Computação em Nuvem. ....	108
Figura 17 - Nível tecnológico da Big Data. ....	109
Figura 18 - Nível tecnológico da Inteligência Artificial. ....	110
Figura 19 - Nível tecnológico do Machine Learning. ....	112
Figura 20 - Nível tecnológico dos Sensores. ....	113
Figura 21 - Nível tecnológico dos Robôs. ....	114
Figura 22 - Nível tecnológico da Manufatura Aditiva. ....	115
Figura 23 - Nível tecnológico da Realidade Aumentada. ....	116
Figura 24 - Nível tecnológico da Simulação. ....	117
Figura 25 - Nível da integração entre os sistemas. ....	118
Figura 26 - Nível de Segurança. ....	119
Figura 27 - Nível tecnológico do Edge Computing. ....	120
Figura 28 - Análise comparativa entre os níveis tecnológicos. ....	121



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - PIB e PIB per capita do Brasil e Coreia do Sul em 1954.....	17
Quadro 2 - IDH e PIB e PIB per capita em 2021 do Brasil e Coreia do Sul. ....	18
Quadro 3 - Levantamento das tecnologias mais citadas.....	90
Quadro 4 - Autores e as tecnologias abordada das dissertações de maturidade. ....	93
Quadro 5 - Perguntas das referências em relação aos CPPS. ....	93
Quadro 6 - Níveis das questões de múltipla escolha. ....	94
Quadro 7 - Exemplo de uma questão de um grupo no questionário. ....	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Respostas do questionário.....	100
Tabela 2 - Grupo de tecnologias e o nível tecnológico.....	101

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

5G – Quinta Geração de Conectividade Sem Fio  
AI – Artificial Intelligence  
AR – Augmented Reality  
BD – Big Data  
CAD – Computer-Aided Design  
CC – Cloud Computing  
CCIBK – Câmara do Comércio e Indústria Brasil Korea  
CNI – Confederação Nacional das Indústrias  
CPPS – Cyber-Physical Production Systems  
CPS – Cyber-Physical Systems  
DT – Digital Twin  
ERP – Planejamento de Recursos Empresariais  
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano  
IIoT – Industrial Internet of Things  
IoT – Internet of Things  
MES – Sistema de Execução de Manufatura  
ML – Machine Learning  
OEM – Original Equipment Manufacturer  
PIB – Produto Interno Bruto  
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento  
RFID – Radio Frequency Identification  
SCADA – Supervisão e Aquisição de Dados  
TI – Tecnologia da Informação  
VR – Virtual Reality

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1. OBJETIVOS .....	19
1.1.1. Objetivo Geral .....	20
1.1.2. Objetivos Específicos .....	20
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>21</b>
2.1. INDUSTRIALIZAÇÃO .....	21
2.1.1. As revoluções industriais .....	25
2.1.2. Industrialização no Brasil .....	29
2.1.3. Industrialização na Coreia do Sul .....	33
2.2. INDÚSTRIA 4.0 E FÁBRICAS INTELIGENTES .....	39
2.3. TECNOLOGIAS CHAVE DAS FÁBRICAS INTELIGENTES .....	43
2.3.1. Internet das coisas e internet das coisas industrial .....	45
<u>2.3.1.1. 5G .....</u>	<u>51</u>
2.3.2. Sistemas ciber-físicos e sistemas de produção ciber-físicos .....	52
2.3.3. Digital twin .....	56
2.3.4. Computação em nuvem e manufatura em nuvem .....	60
2.3.5. Big data e analytics .....	63
2.3.6. Inteligência artificial .....	68
2.3.7. Machine Learning .....	71
2.3.8. Sensores e identificação por rádio frequência .....	72
2.3.9. Robôs e robótica .....	74
<u>2.3.9.1. Robôs Colaborativos .....</u>	<u>75</u>
<u>2.3.9.2. Veículos autoguiados .....</u>	<u>76</u>
2.3.10. Manufatura aditiva .....	76
2.3.11. Realidade aumentada .....	77
2.3.12. Simulação .....	78
2.3.13. Integração de sistemas .....	79
2.3.14. Segurança .....	80
<u>2.3.14.1. Blockchain .....</u>	<u>82</u>
2.3.15. Edge computing .....	83
2.4. IMPLEMENTAÇÃO DAS FÁBRICAS INTELIGENTES .....	84

<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>86</b>
3.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	88
3.2. QUESTIONÁRIO .....	91
<b>3.2.1. Estrutura do questionário</b> .....	<b>95</b>
<b>3.2.2. Pré-teste e divulgação</b> .....	<b>97</b>
3.3. ENTREVISTA.....	97
<b>4. ANÁLISE DE DADOS</b> .....	<b>99</b>
4.1. APRESENTAÇÃO DOS DADOS .....	99
4.2. ANÁLISE DOS GRUPOS DE TECNOLOGIAS .....	101
<b>4.2.1. Internet industrial das coisas</b> .....	<b>102</b>
<b>4.2.2. Sistemas de produção ciber-físicos</b> .....	<b>105</b>
<b>4.2.3. Digital Twin</b> .....	<b>106</b>
<b>4.2.4. Computação em nuvem</b> .....	<b>107</b>
<b>4.2.5. Big data e analytics</b> .....	<b>109</b>
<b>4.2.6. Inteligência artificial</b> .....	<b>110</b>
<b>4.2.7. Machine learning</b> .....	<b>111</b>
<b>4.2.8. Sensores e RFID</b> .....	<b>112</b>
<b>4.2.9. Robôs</b> .....	<b>113</b>
<b>4.2.10. Manufatura aditiva</b> .....	<b>115</b>
<b>4.2.11. Realidade aumentada</b> .....	<b>116</b>
<b>4.2.12. Simulação</b> .....	<b>117</b>
<b>4.2.13. Integração de sistemas</b> .....	<b>118</b>
<b>4.2.14. Segurança</b> .....	<b>118</b>
<b>4.2.15. Edge computing</b> .....	<b>120</b>
4.3. ANÁLISE SOBRE A SMART FACTORY NOS PAÍSES .....	120
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>127</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>130</b>
<b>APÊNDICE A – RESUMO DAS TECNOLOGIAS</b> .....	<b>146</b>
<b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO</b> .....	<b>148</b>
<b>APÊNDICE C – ENTREVISTA</b> .....	<b>179</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade de fabricação está atrelada às tecnologias aplicadas na produção (OZTEMEL; GURSEV, 2020), por conseguinte, é crucial para o setor industrial se adequar às Fábricas Inteligentes, ou Smart Factory. Ao empregarem tecnologias de ponta, oriundas da Indústria 4.0, são capazes de integrar os processos de fabricação para criar produtos que refletem as necessidades dos clientes por um sistema de manufatura eficiente (KO *et al.*, 2020). Em virtude disso, a indústria está passando por uma transição para se adequar aos requisitos das Fábricas Inteligentes.

A Indústria 4.0, ou quarta revolução industrial, representa o caminho para as indústrias do futuro ao apresentar uma manufatura flexível e ágil, que ocorre de maneira relativamente autônoma e integrada, o que torna possível o aumento da produção e a customização em massa dos produtos. Como resultado da combinação entre tecnologias do sistema de produção e processos inteligentes nas tomadas de decisões descentralizadas, transformam-se assim todas as cadeias de valor e os modelos de negócios das empresas (EBRAHIM; BABOLI; ROTHER, 2019; KO *et al.*, 2020; ZHONG *et al.*, 2017).

O termo Indústria 4.0, introduzido na Alemanha em 2011 por um grupo de representantes de diferentes áreas (política, acadêmica, econômica), representa iniciativas para manter o setor manufatureiro em um patamar competitivo; essa ideia foi suportada pelo governo alemão e inserida nas estratégias de desenvolvimento da indústria do país. Como consequência disso, para prosseguir líderes, países como Estados Unidos, Inglaterra, França, Japão e Coreia do Sul também desenvolveram suas políticas de reestruturação da manufatura industrial – mediante a iniciativas, planos de ação, investimentos e infraestrutura para torná-las inteligentes. Como resultado, a indústria está sofrendo diversas transições decorrentes das mudanças do mercado e do avanço das tecnologias, impulsionadas pela Smart Factory, como meio de manterem-se concorrentes no cenário mundial (BÜCHI; CUGNO; CASTAGNOLI, 2020; KO *et al.*, 2020; OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Makarova, Shubenkova e Buyvol (2018) afirmam que o conceito de Indústria 4.0 está associado com a digitalização da informação, permitindo, ao comparar a manufatura em uma fábrica inteligente com uma fábrica tradicional, uma produção mais personalizada devido a maior flexibilidade e adaptabilidade. Segundo Afonso

(2016), em países com Fábricas Inteligentes em patamares mais avançados, é perceptível o aumento de produtividade a eficiência de fabricação e a redução de custos de manutenção. Essas características são alcançadas pela utilização de diversas tecnologias, como: sistema ciber-físico, internet das coisas, Fábricas Inteligentes, big data e computação em nuvem.

Assim sendo, as Fábricas Inteligentes ao mesmo tempo que é uma vertente, também utiliza diversas ferramentas da Indústria 4.0, pois elas instrumentalizam uma gama de novas tecnologias para as Fábricas Inteligentes. Essas tecnologias permitem a comunicação entre máquinas e insumos através de dispositivos localizados em diversos locais da empresa ou da cadeia de valor (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016), e, também, direta com os sistemas de manufatura para a resolução de problemas e decisões adaptativas sejam tomadas em tempo hábil. Ao incorporar a inteligência artificial os sistemas de manufatura aprendem com as experiências para uma prática industrial conectada, inteligente e onipresente (ZHONG *et al.*, 2017).

Por exemplo, o digital twin sincroniza processos de fabricação, peças e máquinas entre os ambientes virtual e real (EBRAHIM; BABOLI; ROTHER, 2019); a identificação por radiofrequência permite a comunicação sem fio de objetos que possuem um chip com aparelhos que conseguem identificá-los e rastreá-los em tempo real (BAI *et al.*, 2020); entre outras, como: robôs autônomos, simulação, realidade aumentada, sistemas integrados, rastreabilidade e manufatura aditiva (MAKAROVA; SHUBENKOVA; BUYVOL, 2018).

Ao utilizar as ferramentas da Indústria 4.0, as máquinas e dispositivos são equipados para responderem às situações, pois são capacitados a aprender com informações e experiências anteriores, as quais são armazenadas e interpretadas pela inteligência artificial. Logo, os equipamentos do chão de fábrica da Smart Factory são aptos a coletar dados e transmiti-los de forma rápida, assim, as informações da cadeia de suprimentos da manufatura ficam disponíveis a qualquer instante e em qualquer lugar, por meio da internet das coisas, objetos inteligentes e análises de big data (CHEN *et al.*, 2018; ZHONG *et al.*, 2017).

Em suma, as fábricas conseguem mapear os processos de manufatura e monitorá-los através de um digital twin de estruturas reais e pela comunicação viabilizada pela digitalização, conectividade e análise de dados. Com o aumento da maturidade da Smart Factory, os equipamentos são capazes de resolver problemas

de forma mais eficiente e realizar decisões em tempo real – ao empregar sensores e máquinas com sistemas e tecnologias que permitem a interação entre equipamentos e trabalhadores, e entre os equipamentos (ZHONG *et al.*, 2017).

A indústria automotiva não é uma exceção para os adventos da Smart Factory. Para Athanasopoulou *et al.* (2019), o setor está passando por uma rápida inovação, pois, como Müller, Vette e Scholer (2016) afirmam: as linhas de montagem tradicionais não conseguem mais comportar as necessidades da, cada vez mais, exigida customização dos veículos pelos clientes. Por isso, a cooperação entre robôs e humanos e a digitalização das fábricas estão sendo empregadas para suprir essa demanda. Entre os anos de 2017 e 2018, dos setores industriais, o automotivo realizou os maiores investimentos e definiu as metas mais elevadas para a implementação de operações da manufatura inteligente (GILL *et al.*, 2018).

Segundo uma pesquisa do Capgemini Research Institute (WINKLER *et al.*, 2020), os participantes desse setor habilitaram cerca de 30% de suas fábricas para a Fábricas Inteligentes entre 2018 e 2019; e apresentam planos agressivos para, até 2023, alcançarem 44% de implementação, isso representa 20% a mais do que a média do setor industrial, porém, não é uma meta simples de alcançar, pois o investimento para as tecnologias que foi de 2,2% do faturamento deve passar para 3,5%. Dessa maneira, a implementação da Smart Factory requer uma estruturação minuciosa devido ao elevado investimento necessário.

A pesquisa, também, apontou que em 2023 se 24% das plantas automotivas se tornem Fábricas Inteligentes, espera-se um aumento de cerca de 7% na produção e uma queda nos custos operacionais de até 7%. Esses ganhos quantificados significam 160 bilhões de dólares anuais para o setor e, dessa quantia, para as principais montadoras e fornecedores no mercado mundial, o lucro operacional anual representa valores próximos a 4,6 e 1 bilhões de dólares, respectivamente, além do que, estima-se que o ponto de equilíbrio para essas empresas seja atingido em menos de um ano da implementação da Smart Factory (GILL, *et al.*, 2018).

Pelos avanços tecnológicos ocorrem de forma acelerada, principalmente nas economias desenvolvidas, ao comparar com países emergentes, uma vez que os governos priorizam a elaboração de estratégias políticas que impulsionam as inovações e fornecem maiores investimentos. Um exemplo é o da Coreia do Sul, desde 2014 o governo desempenha esforços para estabelecer Fábricas Inteligentes para melhor aplicar as tecnologias como: internet das coisas, inteligência artificial e



sistemas para execução da fabricação; empregando-as e estruturando-as de acordo com o nível da fábrica (KO *et al.*, 2020).

A indústria manufatureira representa a base do crescimento e inovação econômica da Coreia do Sul, seu impacto é de 31% da economia doméstica, ficando acima dos principais países desenvolvidos, como Alemanha (23%) e Estados Unidos (13%). Para se manter competitivo no mercado, o governo coreano tem como meta dispor de 20 mil Fábricas Inteligentes até 2022, ou seja, 26,3% das fábricas do país (PARK; KIM; YOUM, 2019).

Distintamente, países em desenvolvimento, como o Brasil, precisam intensificar sua competitividade no mercado internacional para alcançar a eficiência e o menor custo de seus produtos. Os desafios, porém, são maiores do que nações como a Coreia do Sul, pois não há infraestrutura adequada de redes móveis e internet para o fluxo de informação das Fábricas Inteligentes. Destaca-se, também, que para obter bons resultados com a fábrica inteligente é necessário desenvolver toda a cadeia de suprimentos (empresa e fornecedores), assim, necessita-se investir em inovação, regulamentações de ética e segurança de dados digitais e mão de obra qualificada para as novas demandas e perfis profissionais – e esses não são responsabilidade só das empresas, mas também do governo (TOTVS, 2019; TOTVS 2021).

No Brasil a modernização da indústria ainda está em estágio inicial para a quarta revolução industrial, diante disso, o cenário dominante ainda é o de modelos de produção que dependem de processos manuais e com intervenção humana. No entanto, estima-se que para os próximos dez anos cerca de 15% das empresas de manufatura empreguem a Indústria 4.0 (TOTVS, 2021). Assim sendo, o país está aplicando ações para o desenvolvimento de suas fábricas, porém ainda em um passo lento comparado com a Coreia do Sul, assim, medidas que aceleram a Smart Factory devem ser estimuladas.

*Este trabalho, portanto, busca enunciar os conceitos das Fábricas Inteligentes e as tecnologias da Indústria 4.0 no setor manufatureiro, com destaque no automotivo, avaliando o Brasil e a Coreia do Sul a partir de empresas coreanas, para assim entender: quais os níveis tecnológicos de cada uma em empresas coreanas instaladas no Brasil e na Coreia do Sul? Avaliar se há discrepâncias tecnológicas entre os dois países?*

Escolheu-se comparar os dois países pela similaridade de ambos terem passado por uma industrialização tardia, conhecido como catching up, ou seja, entre as décadas de 1950 e 1970, buscaram o emparelhamento econômico com países desenvolvidos por meio de políticas industriais ativas e com estratégias desenvolvimentistas. Porém, certas distinções na forma adotada pelos governos, de intervenção do Estado, fizeram com que as estratégias executadas pela Coreia do Sul levassem a uma industrialização avançada, enquanto o Brasil não obteve sucesso no longo prazo (PEREIRA; DATHEIN, 2016).

No início da década de 1950 os dois países eram pouco desenvolvidos e com economias majoritariamente agrárias. No Brasil a exportação de produtos primários, como o café, movia a economia, porém, devido a Grande Depressão da economia na década de 1930, teve-se o fim desse modelo de desenvolvimento (NASSIF *et al.*, 2020). Segundo Bolt e Van Zanden (2020), um estudo do Maddison Project Database aponta o Produto Interno Bruto (PIB) e o PIB per capita do Brasil e da Coreia do Sul, medidos em dólares internacionais (int-\$) constantes de 2011, para metade da década de cinquenta são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - PIB e PIB per capita do Brasil e Coreia do Sul em 1954.

	<b>Brasil</b>	<b>Coreia do Sul</b>
<b>PIB</b>	151,83 bilhões 2011 int-\$	29,18 bilhões 2011 int-\$
<b>PIB per capita</b>	2.531 2011 int-\$	1.373 2011 int-\$

Fonte: Bolt e Van Zanden (2020).

Em 1954 o Brasil e a Coreia do Sul ainda não tinham iniciado a jornada para a industrialização, a qual proporciona melhor qualidade de vida, a infraestrutura do país é desenvolvida e permite manter-se competitivo no mercado global com seus produtos. Os PIBs da Coreia do Sul eram inferiores do que o do Brasil, como mostra o Quadro 1, e ambos eram baixos em relação, por exemplo, ao PIB per capita de países que já estavam em processo de industrialização, os Estados Unidos com 16.512 int-\$ em 1954 (BOLT; VAN ZANDEN, 2020). O cenário coreano em 1954 era de pós-guerra, onde estava devastada após o fim da guerra da Coreia (1950-1953) e era um dos países mais pobres do mundo (HEO *et al.*, 2008).

No governo de Juscelino Kubitschek, em 1956, o Brasil, com o Plano de Metas, iniciou a industrialização através da transferência de tecnologia, conhecimento administrativo e infraestrutura (LATINI, 2007, apud ELIAS; TELLES, 2015), por meio

de incentivo de investimento estrangeiro direto em um modelo de ajuda por subsídio, ocasionando uma proteção e não competição no mercado interno – favorecendo empresas estrangeiras. Assim, o Brasil consolidou o parque industrial, porém, desde a década de 1980 existe um aumento da dependência tecnológica pela falta de elo entre os setores públicos e privados em investir na inovação, e o abandono do Estado em políticas industriais ativas (PEREIRA; DATHEIN, 2016).

Por outro lado, a Coreia do Sul priorizou a indústria nacional desde o início de sua industrialização, em 1960, buscou o aprendizado tecnológico para o desenvolvimento da indústria nacional, objetivando uma economia voltada à exportação de seus produtos. Nos anos 1980, as empresas coreanas começaram a atingir a maturidade das tecnologias, as quais passaram a investir em inovação – deixando de exportar produtos com baixa intensidade tecnológica para se tornar um país com tecnologia de ponta e um dos líderes do mercado no setor de semicondutores (PEREIRA; DATHEIN, 2016; OLIVEIRA, 1993). No Quadro 2 tem-se os resultados da industrialização nos países nas perspectivas de IDH e PIB.

Quadro 2 - IDH e PIB e PIB per capita em 2021 do Brasil e Coreia do Sul.

	<b>Brasil</b>	<b>Coreia do Sul</b>
<b>IDH</b>	0,754	0,925
<b>PIB</b>	1,6 trilhões de dólares	1,8 trilhões de dólares
<b>PIB per capita</b>	7,5 mil dólares	34,8 mil dólares

Fonte: United Nations Development Programme (2022); The World Bank (2022).

A evolução dos países é perceptível ao comparar o Quadro 1 e o Quadro 2, a Coreia do Sul passou de um dos países sem perspectivas muito promissoras para o futuro na década de 1950, após a Guerra da Coreia sendo extremamente pobre com crescimento lento e dependência dos Estados Unidos na economia (SETH, 2013), para, segundo o United Nations Development Programme (2022), em 2021, um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,925, ocupando o 19º lugar. O PIB sul-coreano foi de 1,8 trilhões de dólares em 2021 e o PIB per capita da Coreia do Sul de 34.758 dólares (THE WORLD BANK, 2022) país com um quarto da população e 1,2% da área brasileira. Por conseguinte, a Coreia do Sul alcançou as economias avançadas e o Brasil segue em desenvolvimento.

Por outro lado, na década de 1950, o Brasil era um país pobre e com indicadores sociais precários (FERREIRA; VELOSO, 2015), e em 2021 alcançou o

IDH de 0,754, em 87º lugar (UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME, 2022). O PIB brasileiro, em 2021, foi de 1,61 trilhões de dólares e o PIB per capita o Brasil foi de 7.519 dólares (THE WORLD BANK, 2022). Assim, o Brasil conseguiu elevar a sua economia e desenvolver o país, porém alcançando um nível mediano.

No setor automotivo, a empresa coreana Hyundai Motors, tem um impacto significativo no PIB sul-coreano, essa ocupa a décima posição do setor no ranking Global 500 de 2021 (FORTUNE, 2021), com uma receita de 88 bilhões de dólares. Entre os maiores produtores mundiais de veículo em 2021, a Coreia do Sul ocupou o quinto lugar com 3,16 milhões e o Brasil o oitavo com 1,71 milhões de unidades (INTERNATIONAL ORGANIZATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS, 2022). Dessa maneira, ambos os países têm uma representatividade da indústria automotiva na produção industrial, em 2020 foi de 13% de toda produção na Coreia do Sul e 18% no Brasil (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES, 2020; YOON, 2021).

Diante da temática da Indústria 4.0 e as aplicações nas Fábricas Inteligentes, juntamente com a análise entre Brasil e Coreia do Sul, o trabalho busca identificar as principais tecnologias, avaliar os níveis tecnológicos de cada em fábricas instaladas em ambos os países e avaliar se há discrepância entre os níveis tecnológicos. Para isso, a metodologia envolve o levantamento bibliográfico com palavras-chave como *smart factory*, *industry 4.0*, *manufacturing* e *technology* para a conceitualização e determinação das principais tecnologias aplicadas nas Fábricas Inteligentes do setor manufatureiro, com foco no automotivo. Com isso, faz-se possível o desenvolvimento de um questionário aplicando estruturas de avaliação do nível tecnológico das tecnologias, avaliando o Brasil e a Coreia do Sul.

Ao final do trabalho cada uma das tecnologias levantadas na fundamentação teórica, como as principais da Indústria 4.0 no setor manufatureiro, tem o nível tecnológico apresentado para ambos os países, com dados governamentais e dados recentes da literatura para reforçar a avaliação. Ao final faz-se uma análise da Smart Factory dos países e lista-se os principais motivos dos cenários.

## 1.1. OBJETIVOS

Para resolver a problema apresentado, propõe-se neste trabalho os seguintes objetivos.

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Identificar as principais tecnologias das Fábricas Inteligentes para analisá-las nas indústrias localizadas no Brasil e na Coreia do Sul.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Enunciar os conceitos de Indústria 4.0 e Fábricas Inteligentes e suas principais tecnologias para o setor manufatureiro com destaque para o automotivo;
- Elaborar uma estrutura conceitual sobre as Fábricas Inteligentes no setor manufatureiro e as tecnologias utilizadas para avaliar o nível tecnológico de cada uma das tecnologias através de um questionário em fábricas sul-coreanas instaladas no Brasil e na Coreia do Sul;
- Analisar se há discrepância tecnológica no setor manufatureiro entre o Brasil e a Coreia do Sul a fim de entender os principais motivos e limitações nos dois países.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O setor manufatureiro, principalmente nas economias mais desenvolvidas, está transitando pela quarta revolução industrial, essa utiliza conceitos de Internet das Coisas (IoT) para levar as fábricas a sistemas de produção integrados, tanto verticalmente quanto horizontalmente. Resulta-se, por vez, em Fábricas Inteligentes que atendem a customização solicitada pelos clientes ao integrar os sistemas, o que ocasiona o aumento da competitividade global das empresas que implementam as tecnologias da Indústria 4.0 (THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

Para entender como as indústrias brasileira e coreana chegaram no nível que estão hoje perante as Fábricas Inteligentes, as próximas seções tratam das revoluções industriais, como foi o processo de industrialização do Brasil e da Coreia do Sul. Após esse entendimento aborda-se com detalhe a Indústria 4.0 voltada para as Smart Factories com as principais tecnologias.

### 2.1. INDUSTRIALIZAÇÃO

O desenvolvimento industrial consiste na construção de capacidade tecnológicas através do aprendizado e com tradução em inovação, tanto de produtos quanto de processos, em direção a mudanças tecnológicas contínuas (PACK; WESTPHAL, 1986 apud KIM, 2001). Segundo Hartmann *et al.* (2021), diversas literaturas sobre o desenvolvimento econômico descrevem-no como uma transformação estrutural em busca do aumento de atividades econômicas com maior valor agregado, as quais são dependentes do conhecimento intensivo profissional.

Para Kim (2001), a industrialização, para o patamar de países desenvolvidos, representa o processo de transformação de uma sociedade tradicional em uma moderna, ao promover a ciência e a tecnologia, pois a aprendizagem tecnológica possibilita a capacidade tecnológica, aumentando a competitividade de empresas que investem nesse desenvolvimento e dos governos, principalmente dos que promovem uma infraestrutura que facilite essas novas abordagens. Segundo Grossmam (1991 apud KIM, 2001) a inovação tecnológica é responsável por mais de 50% do crescimento econômico de países desenvolvidos.

Lamonica e Feijó (2011) exploram o modelo de Kaldor sobre o crescimento liderado pela exportação, onde os produtos industrializados desempenham um papel fundamental no dinamismo das economias ao longo prazo, pois o atraso tecnológico do setor industrial causa a perda na competitividade na exportação, e conseqüentemente diminui a taxa de crescimento econômico. Assim, as exportações de um país devem ser focadas nos setores em que a demanda mundial é crescente, como os semicondutores, para acelerar a taxa de crescimento. Portanto, deve-se elevar a competitividade das exportações com a transformação da estrutura industrial, e assim reduzir a restrição externa, para a economia crescer.

Similarmente, Hartmann *et al.* (2021) fizeram um levantamento de estudos que apontam que a produção de produtos mais especializados, como equipamentos médicos e microcircuitos para eletrônica melhoram os níveis de renda e a possibilidade de diversificação, assim, ao dar-se ênfase nos recursos naturais, produtos agrícolas e produtos com baixo custo de mão de obra pode impor armadilhas no crescimento da economia em desenvolvimento em um longo prazo. Os estudos também mostram que a recuperação econômica em um médio a longo prazo é impulsionada pela capacidade de inovação e entrar em novos setores industriais no momento certo.

Ainda sobre as afirmações de Kaldor; Bresser-Pereira, Nassif e Feijó (2016) afirmam que para o desenvolvimento econômico se concretizar e o catching up com países desenvolvidos ocorrer, o setor industrial é o responsável por sustentar e realimentar, por ser o único capaz de ampliar os ganhos de produtividade para o restante da economia. Ou seja, países que passaram por uma Revolução Industrial no final do século XVIII e início do século XIX tiveram processos de contínua invenção e revolução de conhecimentos tecnológicos, porém muitos países não tiveram base e recursos para esses avanços (BAE; SELLERS, 2007). Assim, economias que ao longo do século XX buscaram desenvolver sua indústria precisaram realizar uma industrialização tardia através do empréstimo de conhecimentos e investimentos dos países industrializados (AMSDEN, 1989 apud BAE; SELLERS, 2007).

A industrialização tardia representa o desenvolvimento de países que buscam o emparelhamento tecnológico com países avançados. No caso do Brasil e da Coreia do Sul, ambos iniciaram esse processo entre a segunda metade do século XX e início do século XXI, um processo de industrialização tardia que necessita de políticas de desenvolvimento econômico de longo prazo através da industrialização das nações

para o catching up a partir de um Estado desenvolvimentista que aplicara mudanças estruturais e institucionais. Ambos os países iniciaram em uma base agrária, passando por políticas ativas para o processo de industrialização, essas transformadas em um Estado desenvolvimentista; a diferença mais contrastante foi à priorização da propriedade estrangeira ou nacional das principais empresas (PEREIRA; DATHEIN, 2016).

Como o conceito de indústria é dinâmico, dependente dos métodos utilizados na produção e gestão dos processos produtivos; e as mudanças não afetam apenas a produção, mas também as estruturas sociais, culturais e econômicas dos países (CASTELLS, 2013; ÇAKIR, 2018 apud KURT, 2019). Em países desenvolvidos, o aprendizado para a capacidade tecnológica é, em maioria, decorrente do aprendizado e inovação pela pesquisa, diferente de países em desenvolvimento, onde a absorção de tecnologia é pela imitação, ou seja, aprender fazendo. Em vista disso, países desenvolvidos conseguem acompanhar o mercado mundial nas tecnologias e melhorar a sua economia, já países em desenvolvimento dificilmente conseguem manter o patamar, pois necessitam estruturar-se de forma a passar do estágio de imitação para o de aprendizado e desenvolvimento de novas tecnologias (KIM, 2001).

Assim, o processo de industrialização tardia envolve nações que iniciaram com o empréstimo de tecnologias e recursos de países já industrializados, porém também necessitam da intervenção do Estado para subsidiar, monitorar e orientar o setor privado para conseguir o crescimento econômico e independência tecnológica (WOO-CUMINGS, 1995 apud BAE; SELLERS, 2007). Ao conquistar a independência tecnológica o país consegue, em longo prazo, sustentar a industrialização e torna-se um país desenvolvido.

Para Medeiros (2017), o sucesso do Estado Desenvolvimentista envolve três pilares:

“[...] criação de rendas de proteção às indústrias locais, pela política industrial e tecnológica (indução e criação de capacidade produtiva em novos setores e atividades) e por políticas macroeconômicas expansivas formava o arsenal desenvolvimentista independentemente da maior ou menor importância dos mercados internos e externos e da base de recursos naturais ou tamanho da população, fatores estruturais que distinguem as diferentes vias de industrialização.” (MEDEIROS, 2017, p. 5).

Com a revolução da microeletrônica (1970), diversos serviços tradable - bens ou serviços que pode ser vendido em locais distantes de onde foram produzidos -,



como softwares e indústrias da tecnologia da informação e comunicação; juntamente com o setor manufatureiro, são responsáveis por impulsionar o desenvolvimento econômico, a produtividade e a mudança estrutural. Assim, os setores industriais devem estar conectados às estratégias de produção, para que o país consiga reduzir o papel do setor manufatureiro, para dar espaço aos serviços tradable (BRESSER-PEREIRA; NASSIF; FEIJÓ, 2016).

Novas tecnologias provocam novos modelos de negócio, as quais necessitam de políticas que as impulsionam para manter a indústria do país competitivo no mercado global, e a não adoção de medidas podem levar o país a ficar para trás na corrida pela inovação e competitividade. Conseqüentemente, o avanço das tecnologias requer que os governos formulem políticas que estabeleçam maneiras de pesquisa e transferência de tecnologia para impulsionar as revoluções disruptivas nos países, um exemplo é a Indústria 4.0 que surgiu na Alemanha como estratégias para sua indústria manter-se competitiva, logo outras nações estabeleceram programas para manufatura inteligente, como: outros países Europeus, Estados Unidos, Japão e Coreia do Sul (THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

Hartmann *et al.* (2021) afirmam que países como a Coreia do Sul, Israel e Irlanda conseguiram realizar a industrialização tardia ao sofisticar sua estrutura produtiva, enquanto o Brasil e África do Sul são exemplos de países que tentaram a industrialização tardia, porém ainda estão com uma produção em maioria de produtos simples. Os autores complementam que países com sucesso no processo de catching up utilizaram uma combinação de políticas industriais e sociais e estratégias orientadas de dentro para fora em seu desenvolvimento; além da importância de construir a capacidade tecnológica, promover a aprendizagem de conhecimento e sofisticar a indústria. Os autores afirmam que os países que se desenvolveram promoveram com sucesso a diversificação dos setores com certos tipos de eletrônicos e partes de computador.

Bresser-Pereira, Jannour e De Paula (2020) afirmam que a Coreia do Sul é um caso de sucesso da industrialização tardia que iniciou em 1960, diferentemente de países da América Latina, como o Brasil, que teve seu processo interrompido após a crise da dívida Mexicana em 1982, pois, ao realizarem, principalmente, a abertura comercial levou a ruptura do regime de política econômica desenvolvimentista que marcou a industrialização conquistada até então, levando ao processo de desindustrialização e primarização das exportações. Ao longo das próximas seções

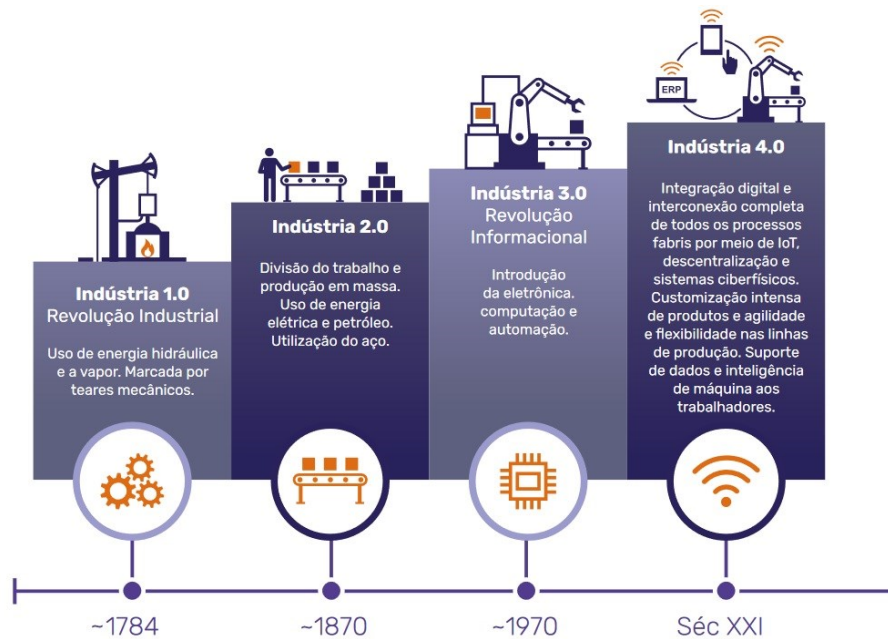
serão discutidos as revoluções industriais e o processo de industrialização do Brasil e da Coreia do Sul.

### **2.1.1. As revoluções industriais**

Cada revolução industrial representa uma série de eventos caracterizados por inovações da revolução anterior, ou seja, não são eventos separados, mas o avanço das formas de produção, com efeito de aumento significativo de produtividade (XU; DAVID; KIM, 2018). Inicia-se com uma revolução nos processos que ganham novas aplicações pelos avanços das tecnologias, seguido pela revolução de produtos (VON TUNZELMANN, 2003). Assim, aumenta-se a complexidade da produção, a qual deve ser gerenciada por métodos e ferramentas apropriados pois envolve elementos tangíveis, intangíveis e humanos; além da interação entre máquinas e humanos, que ao longo das revoluções é modificada, com interfaces e conceitos cada vez mais sofisticados e aprimorados para garantir maior eficiência e segurança (THOBEN; WIESNER. WUEST, 2017).

Desse modo, ao discutir a quarta revolução industrial, entende-se que três foram as revoluções que passaram, Figura 1, e trouxeram algum nível de inovação, desenvolvimento tecnológico e mudanças de paradigma na manufatura: inicialmente com a mecanização utilizando água e uma nova fonte de energia: a vapor, seguida pelas linhas de montagem que atingiram a produção em massa e a descoberta da eletricidade, as quais representam a segunda revolução e finalmente a automação utilizando tecnologia da informação com a utilização de dispositivos programáveis. Promove-se atualmente a manufatura inteligente que representa a quarta revolução industrial (PAPULOVÁ; GAZOVÁ; ŠUFLIARSK, 2022; THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

Figura 1 - Resumo das quatro revoluções industriais.



Fonte: KPMG (2019).

A Primeira Revolução Industrial viabilizou o início da mudança da economia majoritariamente agrária e artesanal, que utilizava com fontes de energia a água, madeira e energia animal para uma dominada pela indústria (XU; DAVID; KIM, 2018). Proporcionada pela invenção da máquina a vapor, com a utilização de carvão como combustível, propiciou a mão de obra auxiliada por máquina (VON TUNZELMANN, 2003), a qual resultou na diminuição dos custos de produção e aumento na quantidade e qualidade dos produtos (KURT, 2019). Originou-se na segunda metade do século 18 (1750-1815), na Inglaterra (VON TUNZELMANN, 2003), e ao utilizar a energia mecânica combinada com controlador de força centrífuga, por exemplo, promoveu o aumento da produtividade, inicialmente na indústria têxtil (BECKERT, 2014 apud SCHMIDT *et al.*, 2015).

A Segunda Revolução Industrial teve seu princípio na Alemanha e nos Estados Unidos, na segunda metade do século 19 (1870-1914), caracterizada pela produção em massa, com modelos fordista e taylorista, baseada na divisão de trabalho; e a utilização da energia elétrica, substituindo a energia química (vapor), o que permitiu um novo formato de trabalho: de máquinas auxiliadas por trabalhadores (VON TUNZELMANN, 2003). Para isso, necessitou-se de avanços como a transformação da corrente alternada e formas de isolamento para a distribuição da energia (SCHMIDT *et al.*, 2015).

A Terceira Revolução Industrial representou a adaptação da eletricidade, o desenvolvimento da eletrônica e computação e por avanços das tecnologias de informação para a produção (KURT, 2019). Foi marcada pela invenção do microchip, que resultou na automatização dos processos, como as linhas de montagem para o aumento da produção, com início no final do século 20 (1973-2010) em países desenvolvidos, destacando os Estados Unidos e o Leste Asiático (VON TUNZELMANN, 2003; XU; DAVID; KIM, 2018). A utilização da eletrônica permitiu o controle inteligente de robôs, a produção automatizada e a integração entre eles ocasionaram o terceiro avanço disruptivo (SCHMIDT *et al.*, 2015).

A viabilização de novas tecnologias no século 21 oportunizou a Quarta Revolução Industrial (PAPULOVÁ; GAZOVÁ; ŠUFLIARSK, 2022). Três são os motivos pelo qual a quarta revolução está sendo discutida, ao invés de prolongar a terceira revolução: velocidade, escopo e impacto dos sistemas. Ou seja, o avanço das tecnologias e inovações está em uma velocidade sem precedentes, comparada com as revoluções anteriores, causando mudanças nos sistemas de produção, gestão e governança (SCHWAB, 2015 apud XU; DAVID; KIM, 2018). Portanto a nova revolução utiliza dos fundamentos das anteriores, porém com uma maior taxa de integração, digitalização, virtualização, tecnologias e tempo de resposta mais rápidos (ORTIZ; MARROQUIN; CIFUENTES, 2020).

As tecnologias que fazem parte da atual revolução industrial são muito amplas, envolvem áreas como digitalização, robótica e inteligência artificial, algumas com enfoque no aspecto físico da produção, exigindo mudanças no layout para a implementação. Porém, uma grande parte dessa revolução inclui infraestrutura de dados e informação, onde os sistemas de tecnologia de informação das empresas tiveram que se reestruturar (POLIVKA; DVORAKOVA, 2021). A Internet de serviço representa a mudança da manufatura orientada para o produto para a orientação a serviços para geração de receita durante todo o ciclo de vida do produto por meio de serviços de valor agregado disponíveis pela internet (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

Esse novo ciclo utiliza tecnologias de internet das coisas para a comunicação entre objetos e sistemas ciber-físico para conexão entre o mundo físico e o digital (KURT, 2019). Ao ser baseado na internet permite o aprendizado e comunicação rápidas, o acesso facilitado a informações, o comércio de bens e serviços e a utilização de energias verdes que diminuem o impacto no meio ambiente. A Indústria

4.0 permite novas oportunidades econômicas sociais, ao gerar novos modelos de negócios, tecnologias de produção, criação de novos empregos e organização do trabalho (PRISECARU, 2016).

Na reunião de 2016 da World Economic Forum, segundo o presidente Klaus Schwab, a Quarta Revolução Industrial é caracterizada por uma internet mais onipresente e móvel, utiliza sensores menores e mais potentes, o que os torna mais baratos; pela inteligência artificial e a aprendizagem de máquina, a interação entre sistemas físicos e virtuais ocorre. Mary Barra, General Motors, argumentou que o setor automotivo busca uma produção mais eficiente, sustentável, segura e com carros mais inteligentes, destacando os carros autônomos e interconectados - onde as conexões de veículos serão no modelo vehicle to vehicle, ao compartilhar informações através de dispositivos instalados na rodovia, e até mesmo vehicle to infrastructure para reduzir os congestionamentos (PRISECARU, 2016). Esses modelos requerem uma conexão além da cadeia de valor, mas de todo um ecossistema.

Os novos e inovadores produtos e serviços que as revoluções industriais permitem requerem novos modelos de negócio; por isso, iniciativas como a Indústria 4.0 na Alemanha e a Smart Manufacturing nos Estados Unidos foram elaboradas para auxiliar as empresas a superarem as dificuldades de implementação das Fábricas Inteligentes (THOBEN; WIESNER. WUEST, 2017).

O termo Indústria 4.0 foi introduzido na Feira de Hannover, em 2011, na Alemanha; em 2012 foi criado um grupo de trabalho para elaborar quatro arquivos de proposta da revolução industrial ao governo alemão, pela Robert Bosch GmbH e Kagermann; e em 2013 foi oficialmente apresentado pelo governo alemão (KURTULMUŞ apud KURT, 2019), como iniciativas tecnológicas estratégicas para impulsionar a indústria do país (LIU *et al.*, 2017). A Academia Nacional Alemã de Ciência e Engenharia anunciou, em 2013, para o mundo o Manifesto da Indústria 4.0 (ERTURAN; ERGIN, 2017 apud KURT, 2019), com iniciativa estratégica para o país se manter na posição de um dos mais influentes na área de máquinas e automóveis (ROJKO, 2017). Com premissas como: disponibilidade e uso da internet e internet das coisas, integrar processos e negócios das empresas, mapear o mundo real digital e virtualmente e meios inteligentes de produção e produtos (ROJKO, 2017).

A Indústria 4.0 é capaz de produzir produtos de melhor qualidade a custos mais baixos e fornecer ao cliente de forma mais rápida, e assim, atender as demandas dos consumidores de alcançar produtos mais rapidamente por conta da globalização

e variedade de produtos, além de acatar a demanda individualizada dos clientes - um dos fatores que desencadeou essa revolução (KURT, 2019). Portanto representa as mudanças que estão ocorrendo no setor industrial decorrentes dos avanços e inovações tecnológicas (PEREIRA; ROMERO, 2017), simbolizada pelas transições disruptivas na busca, principalmente, da otimização da produtividade e a interação de diversas novas tecnologias levam ao desenvolvimento de uma nova forma de produção, caracterizando uma revolução industrial (BRYNJOLFSSON; HOFMANN; JORDAN, 2010 apud SCHMIDT *et al.*, 2015).

### **2.1.2. Industrialização no Brasil**

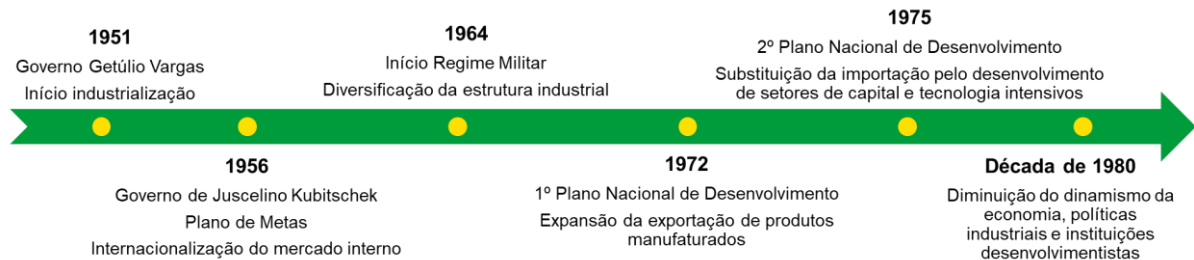
Na segunda metade do século 20, enquanto países desenvolvidos transitavam entre a segunda e terceira revolução industrial, como apresentado na seção anterior, no mesmo período, o Brasil estava iniciando o seu processo de industrialização, por isso se enquadra entre os países que sofreram uma industrialização tardia. Consequentemente, para alcançar os países com indústrias avançadas, precisa passar por uma fase de industrialização tardia, essa consiste no desenvolvimento da economia, para o emparelhamento, através, principalmente, da maturação e subsequente investimento em inovação no setor industrial.

Hartmann *et al.* (2021) apontam que na segunda metade do século 20 o Brasil, apesar de apresentar uma das maiores taxas de crescimento anual e desenvolver indústrias de baixa e média tecnologias, não conseguiu o catching up por não ser capaz de manter a expansão econômica - apresentava picos de rápido desenvolvimento seguidos de épocas de estagnação ou recessão. Além disso, mesmo com algumas indústrias se desenvolvendo, como a petroquímica e a aeronáutica, uma gama de setores não atingiu a complexidade necessária, ou seja, não realizou a troca da produção de bens primários para os de maior valor agregado.

A transformação estrutural econômica brasileira, que está atrelada ao período de grande industrialização do país, ocorreu entre 1950 e 1980, Figura 2, foi liderado por um Estado Desenvolvimentista que estimulou a macroeconomia expansiva para ampliar o mercado interno "...e baseou-se na formação de capital público na indústria pesada e infraestrutura econômica e tecnológica e na garantia de rendas ao setor industrial mediante proteção ao mercado interno e subsídios às exportações."

(MEDEIROS, 2017, p. 6). Assim, a força desse Estado e sua política industrial era ordenada em empresas estatais e no controle sobre o sistema financeiro.

Figura 2 - Industrialização brasileira entre as décadas de 1950 e 1980.



Fonte: A autora (2022).

A industrialização brasileira teve início na década de 1950 com o governo de Getúlio Vargas que investiu na criação de empresas industriais que foram importantes para a consolidação das indústrias, como a Companhia Siderúrgica Nacional (HARTMANN *et al.*, 2021). Seguido pelo governo de Juscelino Kubitschek que executou o Plano de Metas (1956-1961), o qual buscou principalmente investimento estrangeiro direto, estabelecendo empresas multinacionais no país, atraídos por estratégia de políticas de incentivo e atração de recursos externos (AREND; FONSECA, 2012).

O governo de Juscelino Kubitschek aplicou estratégia de internacionalização do mercado interno nacional de forma a alterar a economia do país com o movimento expansivo do capital internacional. Em pouco tempo se teve a intensificação do processo de industrialização, influenciada por grandes conglomerados internacionais sobre a dinâmica da economia brasileira (AREND; FONSECA, 2012). Com isso consolidou a indústria básica e pesada, como os setores automotivos, naval e material elétrico pesado (HARTMANN *et al.*, 2021).

O regime militar brasileiro (1964-1985) foi importante para a transformação estrutural do país. O desenvolvimento econômico no Brasil acelerou-se no final dos anos 1960, com a diversificação da estrutura industrial. Na década de 1970, o primeiro Plano Nacional de Desenvolvimento, com início em 1972, levou à crescente exportação de produtos manufaturados, produção de bens duráveis e infraestrutura. No segundo Plano Nacional de Desenvolvimento, com início em 1975, o governo buscou substituir as importações ao desenvolver os setores de capital-intensivo e

tecnologia-intensiva, sobretudo as áreas de energia e bens de capital, expandindo a participação da indústria no PIB (HARTMANN *et al.*, 2021; LAMONICA; FEIJÓ, 2011).

Em resumo, com o Plano de Metas, o setor industrial metal mecânico-químico alcançou 43% da participação dos gêneros industriais em 1959, o que proporcionou ao Brasil um emparelhamento tecnológico na década de 1970. Assim, o capital estrangeiro desenvolveu de forma positiva na economia brasileira, e em 1980 a indústria possuía um grau interessante de integração intersetorial e com diversificação da produção (AREND; FONSECA, 2012). Assim sendo, em 1980 o Brasil tinha os complexos químicos e metalomecânico representando 58,8% do produto industrial, valor próximo a economias mais desenvolvidas: Estados Unidos (64,4%), Japão (64,5%) e Alemanha (69,8%) (CASSIOLATO, 2001 apud AREND; FONSECA, 2012).

Contudo o crescimento da economia foi alcançado por empréstimos internacionais, já que o sistema financeiro nacional era incapaz, mesmo com o aparente catching up brasileiro a indústria continuou dependente de capital externo (AREND; FONSECA, 2012). Por conseguinte, segundo Pereira e Dathein (2016), as empresas de capital estrangeiro instaladas expandiram de maneira que o processo de substituição da importação foi ineficiente, pois o protecionismo premiou a ineficiência produtiva pela falta de exposição internacional dos produtos nacionais.

Para Bresser-Pereira, Nassif e Feijó (2016), a partir da década de 1980 o Brasil passou por um processo de semiestagnação, impedindo-o de manter taxas sustentáveis de crescimento e mudanças estruturais para a convergência econômica, catching-up, que levasse o país a renda per capita e padrão de vida de países desenvolvidos. Atrelado a interrupção de avanços tecnológicos, aumentando a dificuldade de acompanhar o mercado internacional (PEREIRA; DATHEIN, 2016).

Assim, foi interrompida a velocidade de crescimento do país, porém manteve-se a mudança da estrutura produtiva da economia promovida pela diversificação da matriz industrial que permitiu a exportação de produtos mais tecnológicos e intensivos em capital (HORTA, 1983 apud LAMONICA; FEIJÓ, 2011). Para Medeiros (2017) as políticas desenvolvimentistas aplicadas no Brasil desde a década de 1950 foram encerradas na década de 1980 e sua racionalidade estratégica foi desmontada, juntamente com a crise da dívida externa dos anos 1980 e a democratização. Bresser-Pereira, Nassif e Feijó (2016) afirmam que fora a crise da dívida externa, inflação crônica que se estendeu entre as décadas de 1980 e metade de 1990, taxas de juros



reais elevadíssimas comparadas com a média internacional e taxas cambiais cíclicas e apreciadas também comprometeram o crescimento econômico nacional.

Para Hartmann *et al.* (2021) diversos foram os fatores atrelados ao insucesso do catching up no Brasil, como a falta de métricas e acompanhamento do sucesso nos avanços das indústrias que o país subsidia, ou seja, não teve um controle Estatal ou estratégias de como alocar os Investimentos Externo Direto. Assim, permitiu-se o controle majoritário das empresas de capital estrangeiro, sem nenhuma estratégia de aprendizado tecnológico nacional e subsidiou as empresas sem um mecanismo de desempenho (PEREIRA; DATHEIN, 2016).

Devido às estratégias aplicadas no Brasil, o país entrou em um processo de desindustrialização prematura. Para Lamonica e Feijó (2011), entre 1981 e 2006, foi um período de ausência do crescimento econômico brasileiro, onde os autores dividem em dois momentos, o primeiro, de 1981 a 1994, com baixo crescimento da economia devido ao baixo investimento na indústria de transformação, inflação alta e desvalorização do câmbio. E, um segundo momento, de 1995 a 2006, onde o crescimento econômico se manteve baixo, porém com estabilização dos preços e valorização da taxa de câmbio.

A partir da década de 1980 os países desenvolvidos tiveram a mudança do cenário das atividades industriais, mudando do setor metal mecânico-químico para o desenvolvimento eletrônico (microeletrônico). Ao passo que o Brasil, além de não investir nesse novo setor, o país também diminuiu seu dinamismo da economia ao intensificar a exportação de recursos naturais e diminuir a participação da indústria de transformação no PIB, chegando a 15,7% em 1998, enquanto em 1985 era de 36%. Retrocedendo seu emparelhamento tecnológico, em um processo conhecido como falling behind (AREND; FONSECA, 2012).

Na década de 1990, as ideias desenvolvimentistas não eram mais aplicadas, o Brasil iniciou processos de liberação, privatização e desnacionalização e novos instrumentos financeiros o que levou a redução do comprometimento com o desenvolvimento apoiado na proteção do mercado interno e com o Estado liderando com os investimentos públicos (MEDEIROS, 2017). O país, através da ascensão neoliberalismo levou a uma abertura irrestrita e na compra de tecnologia para a modernização tecnológica (AMSDEN, 2001 apud MEDEIROS, 2017). Ocorreu um aumento de empresas transnacionais como forma de atrair investimento externo direto para melhorar a estrutura produtiva – incrementando a dependência produtiva,

tecnológica e comercial -, o que resulta na economia ficar dependente das estratégias corporativas dessas empresas, causando a perda de competitividade internacional em mercados mais dinâmicos (PEREIRA; DATHEIN, 2021).

Mesmo com o baixo desenvolvimento da economia, a modernização industrial na década de 1990 permitiu o emparelhamento de alguns setores industriais, porém não teve a preocupação de investir em inovação, o que é necessário para sustentar o aprendizado tecnológico nacional. O abandono de políticas industriais e instituições desenvolvimentistas desde então aumentam cada vez mais a disparidade. Entre os anos de 1995 e 2005 a estrutura produtiva intensificou produtos de menor tecnologia, decorrente do crescimento em 178% de empresas de capital exterior, e o aumento de importação de produtos dos setores mais dinâmicos (mais tecnológicos). Assim o acesso facilitado das empresas transnacionais tem efeito negativo na produção local de produtos de alta tecnologia, confirmando o insucesso da opção de retomada do crescimento econômico adotado pelo país (PEREIRA; DATHEIN, 2021).

O Brasil no início do século XXI, após um período de crescimento extremamente baixo (1998-2003), houve um aumento na participação do setor privado nas empresas estatais, em 2007 o governo iniciou um programa de expansão dos investimentos públicos, levando a expansão da economia, aumento da importação, produção na indústria de transformação, acarretando a maior exportação. Porém, desde 2011 essas abordagens foram descontinuadas, retomando a redução dos gastos públicos em troca de maior espaço para investimentos privados e exportação, o que no longo prazo, como já apresentado, leva a desaceleração do crescimento (MEDEIROS, 2017).

O que existe atualmente para estimular a indústria em alguns setores, como o automotivo, são programas de incentivo do Governo Federal, por exemplo o Rota 2030, com projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em toda cadeia produtiva (montadoras, autopeças e sistemas estratégicos para produção de veículos). As diretrizes do programa englobam, por exemplo, estabelecer requisitos para comercialização de veículos no Brasil, beneficiar tributariamente empresas que realizam investimentos em P&D no país e regime de autopeças não produzidas no Brasil com isenção de impostos de importação (BRASIL, 2020).

### **2.1.3. Industrialização na Coreia do Sul**

Além do Brasil, como vimos anteriormente, a maioria dos países subdesenvolvidos que tentaram a industrialização tardia não conseguiram o progresso esperado no longo prazo. A Coreia do Sul é um dos poucos exemplos de sucesso, que em quatro décadas passou de um país agrário para um industrializado (KIM, 2001). Para Bae e Sellers (2007) o sucesso é decorrente de gestões das instituições e ideologias diferentes das democracias ocidentais. Ao empregar o domínio do Estado na industrialização criou um padrão distinto entre as relações de governo e empresa, onde as agências governamentais e seus funcionários eram influentes nas empresas pelas políticas corporativas e industriais. Ao aplicar políticas e estratégias bem estruturadas, a Coreia do Sul conquistou um desenvolvimento rico e impressionante pela velocidade e mudança estrutural realizada, através de estratégias de proteção, metas e exposição do produto nacional pela exportação (PEREIRA; DATHEIN, 2016).

O crescimento econômico coreano decorreu da substituição das importações por estratégias de exportação, a partir de planos quinquenais sucessivos, iniciados em 1962 com industrialização a partir da manufatura leve, e finalizados em 1982, com o quinto plano, já com a indústria mecânica pesada, e assim, fechar o ciclo de substituição da importação (BRESSER-PEREIRA; JANNOUR; DE PAULA, 2020). No governo do general Park (1963-1979) as estratégias de desenvolvimento foram o planejamento para a atualização tecnológica e diversificação setorial, aplicar os planos com métricas de sucesso e para cada estágio de desenvolvimento o governo avaliou os setores que seriam auxiliados (HARTMANN *et al.* 2021).

O governo coreano executou políticas cambiais ativas e com o estímulo às exportações, iniciando em 1960, criou um sistema de proteção do mercado interno, ao aplicar tarifas sobre a importação, como forma de elevar a complexidade da cadeia produtiva e o nível de valor agregado da exportação do país para conseguir competir no mercado internacional. Nesse modelo de desenvolvimento o Estado fornece condições institucionais para o acúmulo de capital, concessões às indústrias exportadoras, subsídios diretos, taxas de juros menores para empresas de exportação e restrições à importação (BRESSER-PEREIRA; JANNOUR; DE PAULA, 2020).

A Coreia do Sul teve a presença de burocratas estatais altamente qualificados que mobilizaram e alocaram recursos para empresas selecionadas, por meio de bancos nacionais, principalmente as voltadas para a exportação (BANCO MUNDIAL, 1993 apud BAE; SELLERS, 2007). O governo tinha o controle estatal sobre a alocação de crédito, pois estava sobre controle direto ou indireto das instituições bancárias que

financiaram a maior parte do investimento industrial, fornecendo baixos juros para exportação e empresas essenciais (BRESSER-PEREIRA; JANNOUR; DE PAULA, 2020).

Com uma abordagem de incentivo e recompensa, o governo coreano decidia os setores e empresas privadas que recebiam o subsídio, com isso evitou o problema de busca de renda, onde empresas obtêm proteção sem fornecer em troca resultados de avanços tecnológicos e competitividade exigidas, assim um ponto forte do Estado era de escolher os vencedores e eliminar os perdedores na corrida pela industrialização, de acordo com os critérios para as empresas continuarem recebendo os auxílios (HARTMANN *et al.* 2021). Um exemplo, aplicado na indústria automotiva, onde seis montadoras receberam subsídio de forma direta e indireta do governo, porém atualmente apenas a Hyundai, que se mantém exclusivamente coreana, sobreviveu (STUDWELL, 2013 apud HARTMANN *et al.* 2021).

O país criou o Economic Planning Bureau, responsável por desenvolver as políticas econômicas nacionais com planos de desenvolvimento econômicos de cinco anos, os planos quinquenais, para promover a industrialização, ao longo dos anos de 1970 e 1980 (AMSDEN, 1989 apud BAE; SELLERS, 2007). Até a década de 1980 o governo aplicou um intervencionismo maior em relação a substituição da importação, porém, com o domínio tecnológico disponíveis, o governo passou a reforçar o subsídio de empresas que realizavam pesquisa e desenvolvimento (P&D), almejado a inovação tecnológica (PEREIRA; DATHEIN, 2016).

Assim, em uma visão do processo do avanço da indústria coreana, destacam-se três estágios. O primeiro estágio da industrialização coreana, entre as décadas de 1960 e 1970, foi com a imitação de tecnologias exteriores por empresas coreanas com o intuito de adquirir a base de conhecimento para acelerar o aprendizado tecnológico da indústria nacional. Os pilares dessa etapa foram a educação, a transferência de tecnologias estrangeiras, a criação dos chaebols - grandes conglomerados familiares, e a mobilidade de pessoas com grande experiência técnica. A educação foi o recurso mais notório na industrialização coreana, sendo o único país com industrialização tardia que alcançou uma expansão equilibrada em todos os níveis de educação com antecedência para apoiar o seu desenvolvimento econômico (KIM, 2001).

O segundo pilar foi a transferência de tecnologia, as empresas passaram por um longo período de aprendizagem tecnológica, entre as décadas de 1960 e 1980, da assimilação e adaptação de tecnologias de outros países (HARTMANN *et al.* 2021).

No começo o país era dependente de conhecimento explícito e tácito externo, o qual foi absorvido pela indústria nacional a partir de mecanismos informais, como literatura, engenharia reversa e assistência técnica da manufatura de fabricantes originais do equipamento, ou original equipment manufacturer (OEM) e formais como na transferência de plantas prontas ou licenciamento técnico estrangeiro (KIM, 2001). O processo passou da imitação à inovação de tecnologias, permitindo a maturidade da indústria (PEREIRA; DATHEIN, 2016).

A estratégia do governo de utilizar os chaebols na industrialização foi o terceiro pilar. Essas empresas possuíam recursos técnicos e financeiros para a aquisição de tecnologia externa, contratação de profissionais qualificados e capacidade de difundir as tecnologias rapidamente entre suas subsidiárias; de maneira a transferir conhecimentos de um setor industrial para outros, proporcionando uma rápida expansão de pesquisa e desenvolvimento industrial coreana (KIM, 2001). Assim, o governo utilizou os conglomerados para o início da concentração de capital (BRESSER-PEREIRA; JANNOUR; DE PAULA, 2020), além de permitir a substituição de importação de forma simultânea com a promoção da exportação (PEREIRA; DATHEIN, 2016).

Por último, o quarto pilar, a mobilidade de técnicos que adquiriram o conhecimento de novas tecnologias, assim, por meio da contratação de gerentes e técnicos de empresas existentes para “roubar” os conhecimentos foi a base do conhecimento inicial de empresas estatais químicas e de maquinários (KIM, 2001).

Para o sucesso desses pilares apresentados, foi necessário forte participação do governo, a partir de fundos públicos e empresas estatais para a criação da infraestrutura econômica, através de rodovias, portos, distribuição de energia e comunicação (BRESSER-PEREIRA; JANNOUR; DE PAULA, 2020). Foi fundamental o desenvolvimento da infraestrutura do país para comportar a industrialização, a qual iniciou em 1972 com o Comprehensive National Development Plan (Plano Integrado de Desenvolvimento Nacional) para a construção de infraestrutura básica e complexos industriais (BAE; SELLERS, 2007). O governo selecionou as cidades de Seul e Busan como polos de desenvolvimento industrial concedendo fundos e benefícios fiscais (HILL; KIM, 2000 apud BAE; SELLERS, 2007).

O Segundo estágio da industrialização foi a de imitação criativa, a partir da década de 1980, quando o país já tinha tecnologias maduras, o governo e as corporações investiram em conhecimento a partir da transferência de tecnologia

formal; fuga reversa de cérebros na busca de profissionais qualificadas de países desenvolvidos em um grande esforço de repatriar cientistas e engenheiros coreanos que estavam no exterior; o investimento em pesquisa e desenvolvimento corporativo forneceu o poder de barganha na transferência de tecnologias; o investimento em universidades e institutos de pesquisa governamentais para o desenvolvimento de pesquisadores para os diversos setores industriais (KIM, 2001). Assim, a política industrial mudou de foco, as indústrias que desenvolviam produtos a partir da tecnologia disponíveis, passaram a realizar atividades relacionadas à inovação com investimento em pesquisa e desenvolvimento com capital público e privado (PEREIRA; DATHEIN, 2016).

Com o domínio das tecnologias adquiridas de fora, alguns chaebols começaram a busca por inovação, entrando no terceiro estágio da industrialização na década de 1990. Para isso, algumas políticas foram desenvolvidas: o governo transformou algumas universidades em escolas de pós-graduação voltadas a pesquisa para a equiparação das universidades para conseguirem dar suporte a indústria; os centros de pesquisa governamentais foram importantes no desenvolvimento de tecnologias que foram passados para o setor privado; o projeto Highly Advanced National R&D, uma parceria do governo, universidades e indústria para elevar a capacidade tecnológica; o aumento do investimentos em pesquisa e desenvolvimento tanto privado quanto estatal, além da globalização, distribuindo em diversos países centros de pesquisas avançados por fusão ou aquisição – os chaebols iniciaram parcerias de inovações com firmas líderes exteriores. Com a inovação de setores de semicondutores, eletrônicos e automotivos, a busca por engenheiros e cientistas para repatriação continuou sendo o foco (KIM, 2001).

Resumindo, segundo Bresser-Pereira, Jannour e De Paula (2020), no início da década de 1960 a Coreia do Sul era um país atrasado economicamente e pobre em recursos naturais. Iniciou a industrialização com a exportação de produtos com pouco valor agregado, como artigos têxteis, vestuários e produtos que exigiam mão de obra intensiva. Na década de 1970 o país entrou na competição ao lado de países desenvolvidos com a produção da indústria pesada com a siderurgia, química, produtos eletrônicos, maquinários e navios - com foco na competitividade da exportação. Na década de 1980 a Coreia estava no mercado de semicondutores, eletrônicos, automóveis e no final dessa década já possuía indústria autônoma,

exportando produtos de última geração alcançando na década de 1990 o patamar de país desenvolvido (KIM, 2001; HARTMANN *et al.* 2021).

Quando um país em desenvolvimento alcança os países avançados e atinge a fronteira tecnológica, a ênfase principal muda da imitação para a inovação original (KIM, 2001). O sucesso da industrialização tardia sul-coreana foi devido a uma série de políticas econômicas, como a criação de grandes conglomerados; estratégias agressivas de desenvolvimento e formação de mercado doméstico, juntamente com a proteção; utilização do comércio internacional como variável estratégica para internalização de tecnologias de ponta e exportações de alto valor agregado; altos investimentos em educação e tecnologia; e o uso generalizado de políticas industriais estratégicas (AMSDEN, 1989 apud BRESSER-PEREIRA; JANNOUR; DE PAULA, 2020).

Portanto, a Coreia do Sul conseguiu realizar o catching up, e diferentemente do Brasil não entrou no processo de falling behind, ou seja, se afastou em relação ao nível dos países desenvolvidos, pelas estratégias aplicadas pelo governo desde o início da industrialização. O país também está sempre analisando maneiras de manter-se competitivo, assim, a política industrial sul coreana das últimas décadas tem o Ministério da Ciência e Tecnologia nacional com o papel de manter as estratégias de desenvolvimento, que continua baseada em política industrial ativa, enquanto o principal componente do planejamento econômico, e outras demandas sociais, como melhor distribuição de renda (PEREIRA; DATHEIN, 2016).

Similarmente, segundo Bogoviz *et al.* (2019 apud RAJ *et al.*, 2020), em geral os países desenvolvidos, como a Coreia do Sul, formularam estratégias nacionais para a Indústria 4.0, já os países em desenvolvimento, como o Brasil, adotaram as tecnologias em nível corporativo, assim, dependem de iniciativas corporativas individuais em vez de políticas nacionais coordenadas. Além disso, Raj *et al.* (2020) apresentam barreiras relacionadas a implementação da Indústria 4.0 no setor manufatureiro, como: alto investimento para implementação em pessoas, processos e tecnologia; falta de clareza em relação aos benefícios produtivos e econômicos do investimentos das tecnologias para Indústria 4.0; desafios na integração da cadeia de valor; riscos por falhas de segurança em ataques e perda de dados para softwares terceiros; perturbação dos empregos existentes em países com mão de obra barata; falta de normas, regulamentos e formas de certificação; falta de infraestrutura para todas as partes da cadeia de valor; e falta de competências digitais de funcionários.

## 2.2. INDÚSTRIA 4.0 E FÁBRICAS INTELIGENTES

A indústria manufatureira tradicional está cada vez mais desafiada devido ao surpreendente crescimento e avanços nas tecnologias digitais, que permitem a fácil integração de componentes inteligentes, capazes de conectarem entre si na fábrica (NEGRI; FUMAGALLI; MACCHI, 2017), de compartilhar informações com outros objetos, máquinas e, a partir da internet, com computadores e pessoas que não estão fisicamente na empresa. Para isso é necessária uma transformação da manufatura com foco nas máquinas para uma manufatura digital (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Segundo Kim (2001), a capacidade tecnológica possibilita a competitividade em preços e qualidade pela habilidade de utilizar os conhecimentos tecnológicos na produção, engenharia e inovação. Desse modo, as empresas assimilam, adaptam e mudam as tecnologias existentes, bem como criam, além de desenvolver novos produtos e processos em resposta às mudanças do ambiente econômico. O atual cenário da indústria necessita de digitalização e inteligência nos processos de fabricação para atender a demanda, devido à mudança de produção em massa para uma produção customizada aos requisitos do cliente - o que requer maior flexibilidade e qualidade (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018; ZHONG *et al.*, 2017).

Essas mudanças são associadas, segundo Lee, Kao e Yang (2014), pelo rápido avanço e adoção de tecnologias da informação e redes de mídia sociais que influenciam a percepção dos consumidores sobre a inovação dos produtos, qualidade variedade e velocidade de entrega. Para atender essas demandas é necessário que as fábricas tenham a capacidade de se adaptar aos novos paradigmas, para isso, é vital que sejam equipadas com inteligências de consciência, predição, comparação, configuração e manutenção. Por isso, as fábricas são incorporadas com processos de produção inteligentes com tecnologias da Indústria 4.0, a quais transformam a cadeia de valor e os modelos de negócios, levando a manufaturas flexíveis, reconfiguráveis e inteligentes que atendem o mercado dinâmico e global (ZHONG *et al.*, 2017).

Analogamente, Lasi *et al.* (2014) afirmam que a mudança de paradigma enfrentada no setor industrial, que caracteriza a quarta revolução industrial, na produção de bens materiais altamente mecanizados e automatizados requerem uma base em digitalização avançada dentro das fábricas; a combinação de tecnologias conectadas a internet e produtos e maquinários inteligentes. Para os autores, os



novos sistemas de manufatura tendem para um modelo cada vez mais modular e eficiente na medida em que os produtos, ou a demanda de produção, controla o próprio processo de manufatura; permitindo produtos individuais produzidos em uma estrutura econômica de produção em massa.

A Quarta Revolução Industrial ficou comumente conhecida como Indústria 4.0, mas diferentemente do que o nome insinua, as aplicações dessas tecnologias não são restringidas para fábricas, mas também cidades, saúde, casas e objetos. Contudo, outros termos são utilizados para representar o mesmo escopo em outros países, táticas desenvolvidas para aprimorar sua indústria como: manufatura avançada nos Estados Unidos, manufatura do futuro na Inglaterra e fábricas do futuro na Europa (BÜCHI; CUGNO; CASTAGNOLI, 2020). A Coreia do Sul introduziu o Manufacturing Industry Innovation 3.0, o qual promove a integração da manufatura com a tecnologia da informação para auxiliar as fábricas a aumentar a competitividade (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Para Mrugalska e Wyrwicka (2017) a Indústria 4.0 é associada aos paradigmas: produto inteligente que passa de uma parte passiva para ativa na produção na medida em que o produto seja capaz de guardar dados e requisitos; máquina inteligente que se auto-organizam, quando conectadas a uma rede, para a comunicação com outros dispositivos, módulos de produção e produtos. Garantindo, assim, a produção flexível e modular, com monitoramento e verificação de estratégias de produção e autonomia para interferir em processos pela capacidade de tomada de decisão.

Por consequência, a Indústria 4.0 requer mudanças estruturais, econômicas, sociais e políticas da empresa, segundo Lasi *et al.* (2014), decorrentes de novas tecnologias, da descentralização pela necessidade de tomada de decisões mais rápidas e eficientes, devido à escassez de recursos, valor e aspectos ecológicos. Para isso, a indústria precisa aumentar o nível de mecanização e automação, digitalização, rede e miniaturização. Com as informações disponíveis em tempo real, a Indústria 4.0 permite a redução do desperdício devido à reconfiguração das linhas de montagem e o tempo gasto para a reconfiguração das máquinas. Portanto, os sistemas de manufatura e logística são capazes de identificar o fluxo de valor ideal para atender a demanda, definir o melhor momento para a manutenção preditiva e adaptar os produtos e logística de acordo com a demanda (THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

Posada *et al.* (2015) apresentam os aspectos chave da Indústria 4.0: customização em massa de produtos a partir de tecnologias habilitadoras capazes de adaptar a produção para pequenos lotes; cadeia produtiva que consegue realizar mudanças de requisito por adaptação automática e flexível; rastreamento e "consciência" de partes e produtos e a comunicação entre esses com máquinas e outros produtos; melhor interação entre homem e máquina, possibilitando a coexistência de robôs para novas formas de interação e operação nas fábricas; otimização da produção através da comunicação habilitada pela internet das coisas nas Fábricas Inteligentes; e novas formas de serviços e modelos de negócios que estão reformulando a maneira de interação na cadeia de valor.

Outras vantagens, segundo Rojko (2017), ao utilizar conceitos da Indústria 4.0 são: diminuir o tempo de colocar um novo produto no mercado, melhor resposta do cliente, customização em massa sem aumento significativo dos custos de produção, maior flexibilidade, ambiente de trabalho mais amigável e uso mais eficiente de recursos naturais e energia. Büchi, Cugno e Castagnoli (2020) complementam com velocidade de prototipagem, maior capacidade de produção, melhor qualidade dos produtos, redução dos custos de reconfiguração e menos erros e paradas de máquinas. Portanto é capaz de reduzir os custos logísticos e os de gestão da qualidade.

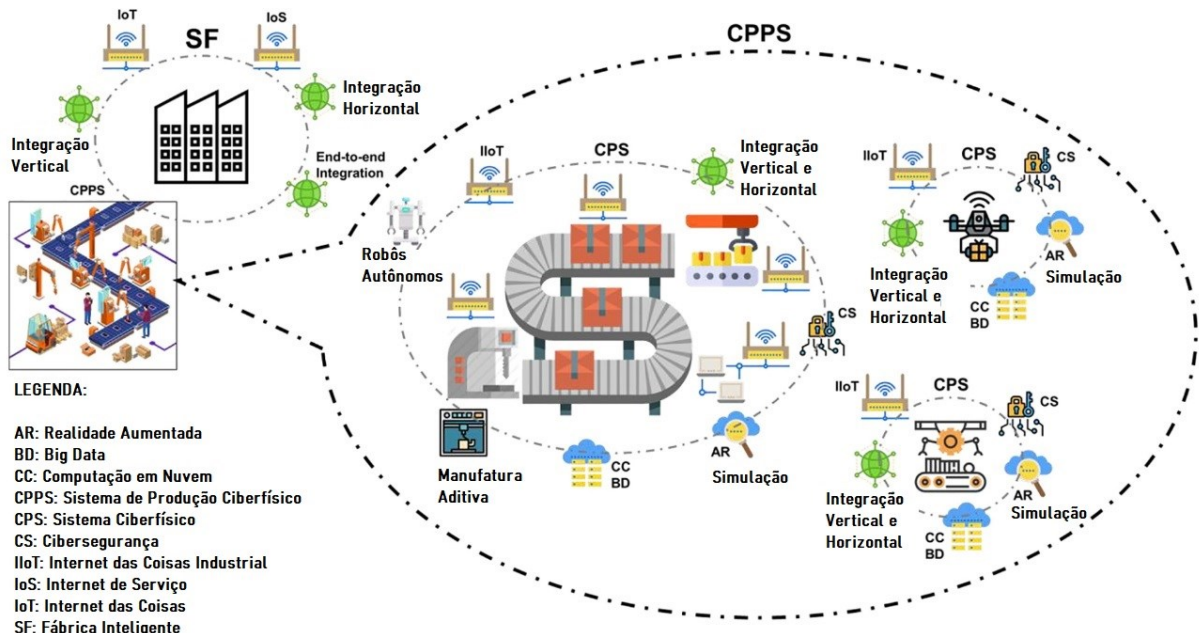
O avanço das tecnologias digitais combinadas com tecnologias facilitadoras essenciais está mudando a maneira de projetar, produzir, comercializar e gerar valor a partir de produtos e serviços (SUNG, 2018). Assim, a Indústria 4.0 possibilita as Smart factory, ou Fábricas Inteligentes, as quais são modulares e estruturadas pela implementação das tecnologias da Indústria 4.0 no chão de fábrica, com sistemas capazes de analisar e armazenar informações coletadas e tomar decisões de forma automatizada na produção com pouca intervenção humana (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018). Isso se torna possível com a introdução de auto otimização, auto cognição e auto personalização na indústria, onde os fabricantes podem se comunicar com computadores em vez de apenas operar máquinas (SUNG, 2018).

Em síntese, a Indústria 4.0 é a base das Fábricas Inteligentes, uma proposta realizada pela National Science Foundation, Estados Unidos, com a Korean National Reserch Foundation relação a manufatura inteligente, foi indicado que em uma perspectiva ampla os escopos de fábrica inteligente são similares ao da Indústria 4.0 ou manufatura inteligente (THOBEN; WIESNER. WUEST, 2017). Para Rojko (2017),

as Fábricas Inteligentes representam o sistema de produção da Indústria 4.0, com destaque para a reconfiguração das linhas, a conversão entre digital e físico, e sistemas aptos a adaptar os componentes de hardware e software para as necessidades do mercado e volume de produção.

As tecnologias facilitadoras da Indústria 4.0 implementadas de forma individual apresentam pequenos impactos comparados pelo conjunto, com isso, ao terem uma estreita conexão entre si (Figura 3), viabilizam as Fábricas Inteligentes (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). Os sistemas ciber-físicos são responsáveis por monitorar os processos reais e representá-los em uma cópia digital para tomada de decisões descentralizadas, a internet das coisas permite a comunicação e interação em tempo real entre esses sistemas e com pessoas (SUNG, 2018). A indústria apresenta sensores conectados à rede que capturam e armazenam informações na nuvem que serão processados posteriormente, necessita-se da segurança cibernética para a interação dos dispositivos conectados à internet para protegê-los (ORTIZ; MARROQUIN; CIFUENTES, 2020).

Figura 3 - Integração das tecnologias da Indústria 4.0 em uma Fábrica Inteligente.



Fonte: Adaptado de Alcácer e Cruz-Machado (2019).

Os elementos da produção, com a Indústria 4.0, permitem um aumento na automação dos sistemas, não apresentam apenas sua representação física, mas também uma virtual armazenada na nuvem, a qual armazena os mais diversos tipos

de informações, como: documentação, modelos tridimensionais, identificadores, status, histórico, dados de testes e medidas (ROJKO, 2017). Além disso, representa um ecossistema de negócios conectados com redes globais entre parceiros da cadeia de valor que conectam seus ativos, recursos, máquinas, insights e infraestrutura com o sistema ciber-físico, assim se comunicam e controlam uns aos outros de maneira descentralizada e por meio do compartilhamento de informações para decisões e ações (NG *et al.*, 2022). Os sistemas possuem controles e conectividade para realizar a coleta e troca de informação em tempo real, assim, é possível localizar, acompanhar, monitorar e otimizar a produção. Para armazenar tantas informações utiliza-se computação em nuvem, a qual necessita uma grande capacidade analítica, big data, para transformar os dados em informações úteis que agregam valor (ROJKO, 2017).

Em uma visão macro, as linhas de produção possuem sistemas de controle industrial e o sistema ciber-físico, ou seja, o controlador de hardware e coleta de dados, e o sistema que integra computação, rede e processos físicos - e assim, a interação entre eles. Na área logística os dispositivos sem fios, como leitores de código de barras e tablets auxiliam o fluxo de movimentação de produtos. No setor corporativo tem-se computadores para gerenciar as informações coletadas e armazenadas a respeito de todo o ciclo de vida dos produtos e máquinas. As áreas externas representam o que está fora do ambiente fabril, tanto locais físicos, como estacionamento, quanto virtuais que armazenam informações, como os servidores de internet e armazenamento de dados (MULLET; SONDI; RAMAT, 2021).

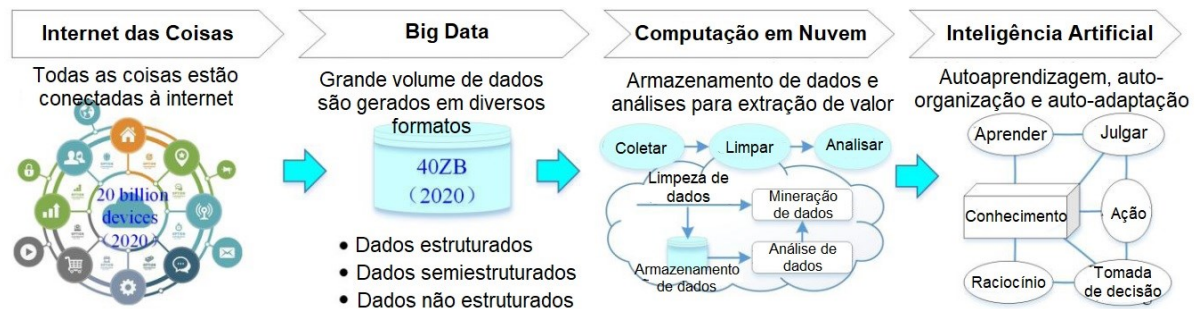
### 2.3. TECNOLOGIAS CHAVE DAS FÁBRICAS INTELIGENTES

Para atualizar as indústrias a manufatura inteligente precisa ser explorada para fornecer alta adaptabilidade, treinamento de força de trabalho com técnicas mais flexíveis e tecnologia da informação digital (HE; BAI, 2021). Para Zhong *et al.* (2017), a fabricação inteligente transforma recursos simples ou sistemas tradicionais de manufatura em objetos ou sistemas inteligentes capazes de sentir, agir e se comportar em um ambiente inteligente; representa um modelo de manufatura baseado em ciência e tecnologia que melhoram o design, produção, gerenciamento e integração do ciclo de um produto, ao utilizar informações avançadas para otimizar a produção.

A manufatura está cada vez mais orientada por dados (Figura 4), a Smart Factory possui uma produção com sistema industrial robusto que conecta materiais,

peças, equipamentos, ferramentas, inventário e logística; essa conectividade permite a transmissão de dados e comunicação entre elementos (JAVAID *et al.*, 2021b). Dessa maneira, as máquinas industriais equipadas com as tecnologias da Indústria 4.0 fazem parte de uma comunidade colaborativa que necessita de ferramentas de previsão antecipada para que os dados sejam processados e transformados em informação para tomadas de decisões inteligentes (LEE; KAO; YANG, 2014).

Figura 4 - Fluxo de dados na Indústria 4.0.



Fonte: Adaptado de Qi e Tao (2018).

A integração dos dados proporciona a fabricação inteligente, a qual é representada por uma profunda integração das tecnologias da informação, de inteligência e de fabricação de equipamentos (Figura 4). Portanto, é baseada em tecnologias avançadas, como: de detecção, de rede, de automação e de inteligência que buscam simular a humana. Dentre as vantagens da fabricação inteligente tem-se: design, fabricação e equipamento de fabricação inteligentes, os quais utilizam detecção ágil, interação homem-computador, tomada de decisão e tecnologia de execução (HE; BAI, 2021).

Segundo Polivka e Dvorakova (2021), não existe uma definição fixa para as tecnologias da Indústria 4.0 devido a Quarta Revolução Industrial estar em estágio de amadurecimento, cada autor estima quais tecnologias terão difusão em massa no futuro e quais representarão um maior impacto. Pereira e Romero (2017) destacam que para obter resultados satisfatórios é preciso integrar internet das coisas, robótica, machine learning, big data e sistemas ciber-físicos – tecnologias da Indústria 4.0 -, pois ao aplicá-las isoladamente pode não ser perceptível relações e importância dessas tecnologias, porém ao usá-las juntas, em um contexto industrial, fornecem valor agregado e novas possibilidades para as Smart Factories.

Para Papulová, Gazová e Šufliarsk (2022), a atual revolução utiliza novos conceitos como conexões de rede de alta velocidade - proporcionada pela fibra óptica -, robótica avançada e produção altamente automatizada. Zhong *et al.* (2017) afirmam que as Fábricas Inteligentes utilizam tecnologias de manufatura atualizadas por ciber-físico, internet das coisas e computação em nuvem; os sistemas de fabricação são capazes de monitorar os processos físicos através de um digital twin do ambiente real e tomar decisões inteligentes pela comparação em tempo real de máquinas, sensores e humanos; e algumas tecnologias apresentam inteligência artificial para aprender com experiências.

De acordo com Polivka e Dvorakova (2021) as tecnologias responsáveis pela construção básica da Indústria 4.0, às quais denominaram os nove pilares são: big data, robôs colaborativos, simulação, integração de sistema, tecnologia da informação, sistemas ciber-físicos, computação em nuvem, manufatura aditiva e realidade aumentada. Os autores adicionaram um décimo pilar, denominado outras tecnologias, as quais dependem da aplicação da indústria selecionada. Já Papulová, Gazová e Šufliarsk (2022) citam tecnologias que chamam de suporte para a Indústria 4.0, como internet das coisas, computação em nuvem, análise de big data, elementos de inteligência artificial, manufatura aditiva, simulação de processos e monitoramento.

Essas tecnologias são responsáveis por abrir o novo horizonte para a digitalização ao permitir procedimentos automatizados e comunicação. Sung (2018) afirma que muitas dessas tecnologias não são recentes, porém, há pouco a disponibilidade, confiabilidade e custo se tornaram atraentes para aplicações industriais e em escala. Ao longo das próximas seções as principais tecnologias da Indústria 4.0, investigada pela autora, serão apresentadas em maiores detalhes.

### **2.3.1. Internet das coisas e internet das coisas industrial**

Internet of things (IoT), ou Internet das Coisas, para Ahuett-Garza e Kurfess (2018), é uma das principais tecnologias da Indústria 4.0, pois, segundo Zhong *et al.* (2017), oferece a conectividade de objetos físicos, sistemas e serviços; ao utilizar sensores, atuadores e outros dispositivos digitais capazes de serem colocados em uma rede e conectados, uma vez que, permitem a comunicação entre objetos e o compartilhamento de dados em tempo real - transmitem informações cruciais para

tomadas de decisões mais assertivas. Tao e Qi (2019) afirmam que a interconexão suportada pela IoT é pré-requisito para as Fábricas Inteligentes, ou seja, para impulsioná-las é indispensável conectar e integrar elementos da produção com o propósito de detectar dados.

Ao conectar sensores e atuadores em objetos físicos grandes volumes de dados são gerados, esses chegam aos computadores para análise por redes com ou sem fio, para isso, utilizam o mesmo protocolo de internet, comumente conhecido como IP, que conecta a internet (CHUI; LÖFFLER; ROBERTS, 2010). A IoT incorpora em dispositivos, as coisas, ou seja, com eletrônica, software, sensores e conectividade, isso é, realiza a comunicação integrada com sensores e computação, e por conseguinte habilita objetos exclusivamente identificáveis (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015), os quais fornecem dados pela internet sem interação humana (KIM; PARK, 2017).

Boyes *et al.* (2018) compilaram ideias de autores para definir a IoT, primeira: grupo de infraestruturas conectadas que possibilita interconectá-las, gerenciá-las, além de, minerar e acessar os dados gerados; segunda: a IoT representa a conectividade com a internet na computação para objetos, dispositivos e sensores, tornando-os inteligentes - usualmente com recursos remotos de coleta, análise e gerenciamento de dados; e terceira: cada objeto incorporado a um sensor comunica automaticamente seu estado com outros objetos e sistemas no ambiente, assim, representa um nó em uma rede virtual. Portanto, os objetos inteligentes continuamente transmitem inúmeros dados sobre o próprio objeto e seus arredores.

Objetos que conseguem “sentir” o ambiente e se comunicar tornam-se ferramentas capazes de entender a complexidade e responder a elas rapidamente (CHUI; LÖFFLER; ROBERTS, 2010). Por isso, de acordo com Lee e Lee (2015), a IoT é considerada uma das tecnologias mais importantes para o futuro pela aplicabilidade em diversas indústrias e, diferente de dispositivos e redes de internet, a IoT fornecem conectividade física com aplicações que aceitam a interação, ou seja, a capacidade de conectar e comunicar informações tanto de dispositivos com dispositivos, quanto dispositivos com humanos.

Em relação às camadas de arquitetura da IoT, quatro são as principais segundo Alcácer e Cruz-Machado (2019):

1. Camada que Percebe: detecta o estado dos objetos com uma identificação única, com integração por meio de atuadores, sensores e identificação por radiofrequência;
2. Camada de Rede: fornece suporte de informações ao transferi-las por rede cabeada ou sem fio, da camada anterior para a próxima, para mapear os objetos automaticamente na rede e conectá-los para compartilhamento e troca de dados;
3. Camada de Serviço: utiliza middleware - software entre o sistema operacional e os aplicativos executados - para suportar serviços e aplicativos; nessa camada a interoperabilidade é garantida;
4. Camada de Interface: facilita a interligação entre a gestão dos objetos e como a informação é apresentada para uma interação clara por quem utiliza o sistema.

A IoT, segundo Reddy *et al.* (2021) é utilizada, de maneira geral, para atender requisitos do consumidor, assim, para incorporar inteligência e conectividade em um sistema industrial para o monitorar a fabricação o termo Industrial Internet of Things (IIoT), ou Internet das Coisas Industrial, é utilizado. A expressão IIoT foi introduzida pela General Electric em 2012 e apresenta maior integração entre o mundo físico e o digital pois combina a big data analytics e a IoT (ROJKO, 2017). Para Javaid *et al.* (2021b), a IIoT representa o próximo nível de tecnologia da IoT nas indústrias, pois é mais robusta que a de, por exemplo, um smartphone; e apresenta sistemas capazes de monitorar, coletar, trocar, analisar e fornecer insights - além de conectar ativos chave para a empresa sobre eventos em toda cadeia de suprimentos. Uma outra definição de IIoT é:

“[...] um sistema que compreende objetos inteligentes em rede (internet), ativos ciber-físicos, tecnologias da informação genéricas associadas e plataformas opcionais em nuvem ou de edge computing, que permitem o acesso em tempo real; de forma inteligente e autônoma o acesso, a coleta, a análise, comunicação e troca de processos, produto ou serviços de informação em um ambiente industrial, de modo a otimizar o valor global da produção. Esse valor pode incluir: melhorar a entrega de produtos ou serviços, aumentar a produtividade, reduzir custos de mão de obra e reduzir o consumo de energia [...]” (BOYES *et al.*, 2018, p. 3, tradução nossa).

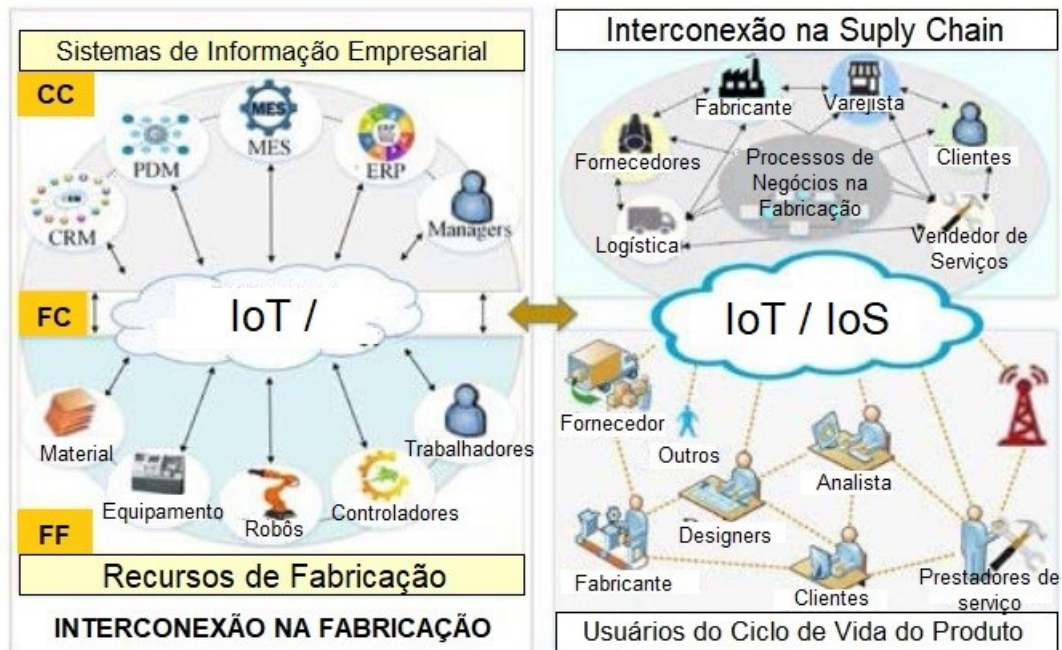
A IIoT torna-se predominante na medida que seu tamanho e preço diminuem e as redes de quinta geração de conectividade sem fio (5G) são implementadas, a



tecnologia fornece acesso remoto, monitora, coleta dados, analisa e troca informações; é imprescindível para transformar sistemas ciber-físicos e processos de produção por meio de big data analytics. Ao conectar pessoas, bens e processos, as Fábricas Inteligentes analisam os para decisões rápidas e precisas (JAVAID *et al.*, 2021b), a velocidade da tomada de decisão é influenciada pela arquitetura e a inteligência relacionadas incorporadas no sistema (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Ou seja, ao conectar diferentes elementos via internet (Figura 5), na interação entre pessoas, sistemas, máquinas e dispositivos, os dados gerados são utilizados para otimizar sistemas, práticas, processos e desenvolver novos processos; um exemplo é o machine to machine: a comunicação direta entre dois dispositivos via rede fixa ou sem fio (PAPULOVÁ; GAZOVÁ; ŠUFLIARSK, 2022). Assim, a IoT permite uma interoperabilidade de informação que vai além da organização, e possibilita um novo modo de relacionamento entre clientes, fabricantes e fornecedores (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018).

Figura 5 - Interconexões da IIoT nas Smart Factories e na cadeia de valor.



Fonte: Adaptado de Tao e Qi (2019).

As interconexões, apresentadas na Figura 5, segundo Tao e Qi (2019), podem ocorrer em três perspectivas diferentes nas fábricas:

1. Interconexão físico-físico (FF): equipamentos conectados em rede por interfaces digitais para aquisição de dados de fabricação, a partir de sensores integrados ou Radio Frequency Identification (RFID), e sistemas embarcados capazes de se comunicar para autodiagnóstico e autocorreção;
2. Interconexão ciber-cibernético (CC): relações entre equipamentos e sistemas de informação empresariais integrados um ciclo completo entre planejamento e informação por troca de dados entre os sistemas;
3. Interconexão físico e cibernético (FC): os equipamentos e sistemas de empresariais se conectam e as informações de materiais, produção, e equipamentos são detectadas em tempo real, esses dados são integrados aos sistemas de informação responsáveis por analisar e gerar tomadas de decisões.

Resumindo, os dispositivos na fábrica são conectados a plataforma de IIoT, essa consegue conectar diversos softwares e sistemas de forma interativa, e quanto mais combinações de fontes de dados e mais robusto os sistemas de análise, maior a rapidez em que as tomadas de decisões são capazes de serem realizadas por softwares de análise, assim que os dados chegam à nuvem, informando automaticamente sensores e dispositivos (JAVAID *et al.*, 2021b).

Para implementar a digitalização na indústria a IoT é um pré-requisito básico, no setor automotivo, por exemplo, nas tecnologias: robôs industriais, dispositivos com controladores lógico programáveis, estações com interações homem-máquina, tecnologias de visualização da supervisão e aquisição de dados (SCADA), soluções logísticas e tecnologias de localização como RFID e sistemas de localização em tempo real - todas conectadas aos sistemas centrais que as controlam. Esses dispositivos conseguem, através da IIoT, trocar dados rapidamente, receber feedback, alarmes ou outros alertas. Nos aparelhos armazenam registros para análises dentro da gestão de serviços, na logística fornece soluções de otimização e redução de custos pela melhoria das rotas (PAPULOVÁ; GAZOVÁ; ŠUFLIARSK, 2022).

Reddy *et al.* (2021) afirmam que na supply chain automotiva os dados coletados pela IoT podem ser capturados nas instalações fabris, nos processos de fabricação, no produto acabado, nas áreas logísticas, e através do cliente final, a partir de padrões de uso. A IIoT é capaz de monitorar o transporte, o abastecimento de

mercadorias, permite a consulta de detalhes sobre produtos nos depósitos, verificar condições e status de armazenamento, transporte e entrega de produtos. A IIoT propicia que as operações sejam monitoradas, melhorando os níveis de eficiência e desempenho (JAVAID *et al.*, 2021b). A Figura 6 apresenta algumas vantagens da IIoT.

Figura 6 - Vantagens da IIoT.



Fonte: A autora (2022).

A utilização de sensores e processadores acessíveis a um baixo custo permitem a implementação rápida da IoT e a geração de big data onipresentes por toda a produção (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018). Pequenos sensores coletam e monitoram dados na empresa e podem ser implantados em conjunto com basicamente qualquer coisa, desde luzes até maquinários (IMMERMAN, 2020a). No chão de fábrica os sensores IIoT são colocados estrategicamente em máquinas e estações de trabalho para analisar gargalos, fornecer dados de suporte e sugestões de manutenção preditiva e definir as tarefas da estação de trabalho eficientemente, além de melhorar os problemas de qualidade e segurança (HIGGINS, 2020).

Na manutenção preditiva e ágil, a IIoT auxilia pelos avisos automáticos dos sensores nas máquinas, a tecnologia auxilia na logística, fluxo de trabalho, visibilidade de estoques, materiais disponíveis e rastreamento de produtos - informando eventuais desvios. Permite também a digitalização dos negócios da indústria, reduzindo erros causados por funcionários, melhora obstáculos na produção, é capaz de avaliar a saúde dos trabalhadores e monitorar comportamentos perigosos. Portanto os dados coletados proporcionam a melhor gestão dos fluxos de materiais, produção e máquinas nas instalações (JAVAID *et al.*, 2021b).

Para Lee e Lee (2015) as cinco tecnologias da IoT responsáveis pela implementação de produtos e serviços bem-sucedidos baseados em IoT são: RFID,

redes de sensores sem fio, middleware, computação em nuvem e softwares de aplicação de IoT. Javaid *et al.* (2021b) citam: 5G, sensores e plataformas IoT, edge computing, inteligência artificial e analytics, robótica, blockchain, manufatura aditiva e realidade virtual e aumentada são responsáveis por criar um ambiente ótimo para a IIoT, e assim, para as Fábricas Inteligentes.

Um dos desafios da IoT é com a segurança, risco e vulnerabilidade através da comunicação de rede dentro desses dispositivos que usam os conceitos da Indústria 4.0 (PAPULOVÁ; GAZOVÁ; ŠUFLIARSK, 2022). Outros incluem padronização pela complexidade dos serviços pelo volume de desenvolvedores e provedores e capacidade de rede (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018).

#### 2.3.1.1. 5G

Como apresentado, a IIoT oferece conectividade aos elementos na fábrica e toda cadeia de produção através redes de internet, para isso um grande volume de dados é transferido. Devido a essa demanda o 5G desempenha um papel fundamental para acelerar a transformação digital da manufatura, pois suas características técnicas surgiram com base nos requisitos da indústria de uma rede mais robusta (PUGLIA; POURABDOLLAHIAN; GHISALBERTI, 2020).

Nas Fábricas Inteligentes com conexões machine to machine, as tecnologias móveis como de 3G e 4G não são capazes de lidar com as crescentes necessidades das tecnologias da Indústria 4.0, com demandas de confiabilidade, alta taxa de transferência de dados e baixa latência dos CPPS. Para suprir essas demandas o 5G está sendo implementado nos países e oferece soluções para fabricantes que desejam utilizar tecnologias de ponta e manter sua competitividade e lucratividade (TEMESVÁRIA; MAROSA; KÁDÁR, 2019).

A 5G oferece alta disponibilidade, baixa probabilidade de erro de dados, alta confiabilidade, curto tempo de resposta - com comunicação praticamente em tempo real -, segurança de rede extremamente forte, alta densidade de conexão e largura de banda. O 5G melhora o controle em tempo real durante os processos de fabricação e sustenta a conectividade para promover a IIoT e os CPPS (TEMESVÁRIA; MAROSA; KÁDÁR, 2019).

A rede 5G oferece espectro mais amplo para o controle remoto, assim é fundamental para remover os problemas de conexão sem fio à passagem por paredes

e vidros, dessa maneira proporciona conectividade mais difusa no local de produção. Além disso, o 5G melhora a capacidade de posicionamento e rastreamento de ativos, com uma precisão de 1 centímetro, ao comparar com a precisão de 20 centímetros do 4G (PUGLIA; POURABDOLLAHIAN; GHISALBERTI, 2020).

Ao utilizar redes privadas de 5G em ambientes industriais o potencial das Fábricas Inteligentes pode ser explorado ao apresentar conectividade sem fio reservada para uma região especificada, as quais podem ter estações base dimensionadas de acordo com os requisitos de capacidade e cobertura - crucial para alcançar uma disponibilidade muito alta para operações industriais. Além disso as redes privadas possuem capacidade exclusiva de disponibilidade sem contenção de usuários da rede, como é o caso de um sistema público, outros diferenciais são a possibilidade de priorização do tráfego e garantia da confidencialidade dos dados (AIJAZ, 2020).

Em setembro de 2020 a Mercedes-Benz inaugurou sua Fábrica em Sindelfinger, na Alemanha, com rede 5G privada e tecnologias da Indústria 4.0 que permitem os sistemas de produção e máquinas sejam autônomos, a rede fornece a segurança da rede privada e taxas de dados de 1 gigabit por segundo e latência, ou seja, quase em tempo real. Com isso é possível fácil vinculação de dados, rastreamento de objetos na linha de produção, flexibilidade e precisão da produção (SIMMONS, 2021).

### **2.3.2. Sistemas ciber-físicos e sistemas de produção ciber-físicos**

Os Cyber-Physical Systems (CPS), ou sistemas ciber-físicos, representam a união do físico com o universo digital a nível de produto e produção, os quais integram computação, comunicação, capacidade de armazenamento, (LASI *et al.* 2014; CHENG *et al.*, 2016) e controle (Figura 7), resultando em processos físicos com automações mais eficientes (ROSENBERG *et al.*, 2015). Assim, os CPS adicionam recursos aos sistemas físicos, ao utilizar computação e comunicação embutidas, e as interage com processos físicos criando uma rede de objetos e sistemas que se comunicam pela internet e um ambiente virtual criado por simulação de objetos com comportamentos do mundo real (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015; OZTEMEL; GURSEV, 2020). Os CPS permitem ciclos de coleta e análise de dados do mundo

físico, seguido pelo fornecimento de feedback dos resultados para sociedade (KIM; PARK, 2017).

Figura 7 - Modelo de Sistemas de Produção Ciber-Físicos nas Fábricas Inteligentes.



Fonte: Adaptado de Tao e Qi (2019).

Os CPS realizam a interação em tempo real de componentes físicos e digitais, os quais podem ser centralizados ou distribuídos, e permitem uma combinação de funcionalidades de detecção, controle, computação e rede capazes de influenciar os resultados através de processos físicos (BOYES, 2017 apud BOYES *et al.*, 2018). Analogamente, para Lee, Bagheri e Kao (2015), as duas principais características funcionais dos CPS são a conectividade avançada que garante a aquisição de dados em tempo real do mundo físico com a capacidade de responder a qualquer feedback de informação do mundo virtual; e o ambiente cibernético com gerenciamento inteligente de dados, análise e capacidade computacional.

Os CPS não precisam estar conectado à internet (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015), porém a aplicação com a internet cabeada ou sem fio conectam os CPS a um nível superior (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). A IoT interliga objetos com a internet sem a intervenção humana, tem-se uma visão centrada do mundo físico ao coletar, acumular e analisar os dados digitalmente; já os CPS fornecem integração,

processamento e análise dos dados e informações do mundo real e do cibernético a partir de conexão e feedback dos dados e análises do físico (KIM; PARK, 2017). Segundo Zhong *et al.* (2017) os CPS entradas e saídas físicas, junto com um sistema cibernético, assim, para Büchi, Cugno e Castagnoli (2020), as conexões permitem recursos mais inovadores em cadeias produtivas, tanto vertical quanto horizontal, favorecendo a interoperabilidade na produção pela facilidade de interligar sistemas e trocar conhecimentos e habilidades (CHENG *et al.*, 2016).

Os CPS permitem operações em tempo real, confiável, segura, estável e eficiente (CHENG *et al.*, 2016); as tecnologias de gerenciamento de dados e comunicação reduzem os custos, melhoram a infraestrutura e fornecem serviços inovadores e de alta qualidade (KIM; PARK, 2017). As aplicações do CPS variam desde em pequenos dispositivos, como marcapasso, até em larga escala, como uma rede de energia elétrica. Na fabricação, por meio de Sistemas de Produção Ciber-Físicos (CPPS), proporciona maior automação e controle dos processos (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015).

Para Oztemel e Gursev (2020), os CPPS típicos desempenham as funções de: monitorar, configurar e implementar processo e desempenho em tempo real, acompanhar desempenho, integrar diferentes disciplinas e domínios, avaliar o próprio comportamento e tomar decisão, a partir da interconexão, com aplicabilidade em diferentes domínios para gerar sistemas de grande escala. Assim, como afirmam Alcácer e Cruz-Machado (2019), os CPPS abrangem máquinas inteligentes que fazem parte do planejamento e realizam tarefas únicas por elementos inteligentes que controlam a necessidade de peças e modificam as estratégias de fabricação.

Os CPPS analisam de forma quantitativa os diversos fenômenos do alvo de controle do mundo real, para então deduzir objetivamente conteúdos aprendidos por “experiência e intuição”. Para isso, sensores são conectados aos objetos, como máquinas, pessoas ou veículos, assim, agiliza-se o recebimento e compartilhamento de informações; os dados coletados pelos sensores são transmitidos por big data na nuvem com ferramentas de IoT (KIM; PARK, 2017). Os sistemas buscam explorar as relações de autonomia, cooperação, otimização e capacidade de resposta (MONOSTORI, 2014).

Os CPPS são complexos ao melhorar a eficiência adquirem maior valor agregado por meio de uma estreita cooperação e articulação entre vários campos. Para isso é importante desenvolver e integrar várias tecnologias como atuadores,

segurança, inteligência artificial e elementos para coleta e análise de dados simultaneamente, além de sensores (KIM; PARK, 2017). Os CPPS possuem elementos autônomos e cooperativos e subsistemas que conectarem uns com os outros, em e através de todos os níveis de produção, desde máquinas até redes de produção e logística. Por conseguinte, permitem a comunicação entre humanos, máquinas e produtos, ao possuir elementos capazes de adquirir, processar, autocontrolar e determinar tarefas e interação com humanos através de interfaces (MONOSTORI, 2014).

Para Monostori (2014), às expectativas em relação ao CPS e CPPS englobam: robustez em todos os níveis; auto-organização, manutenção e reparo, segurança, diagnósticos remotos, controle em tempo real, navegação autônoma, transparência, previsibilidade e eficiência. À medida que mais sistemas e produtos industriais são equipados com softwares embarcados, mais se consegue trabalhar com tecnologias preditivas atrelada a algoritmos inteligentes que gerenciam e otimizam autonomamente as necessidades de serviço do produto (LEE; KAO; YANG, 2014). Assim, surgem estratégias de fabricação mais eficientes e flexíveis (ROSENBERG *et al.*, 2015).

Os CPPS ao integrar os objetos físicos com os sistemas de informação da empresa, como Sistema de Execução de Manufatura (MES) e Planejamento de Recursos Empresariais (ERP) melhoram a flexibilidade e agilidade da produção. Os dados coletados do CPPS podem ser obtidos diretamente dos sensores, controladores ou sistemas de manufatura empresarial (ERP e MES), conseqüentemente uma rede de máquinas com coleta de informações massivas deve ser analisada para ter visões global da produção e específica de cada máquina para auto comparação, status e desempenho (LEE; BAGHERI; KAO, 2015).

No espaço cibernético, ou computacional, o formato das informações deve ser definido adequadamente para que as informações coletadas do espaço físico serem registradas e gerenciadas. O ambiente cibernético também é responsável por armazenar informações, como exemplo, sobre a degradação e avaliar a saúde das máquinas e retroalimentar essas informações para o espaço físico para que se possa tomar as medidas adequadas (LEE; KAO; YANG, 2014). Assim, os CPPS em geral têm a autonomia de determinar e alterar o estado de um atuador ou chamar a atenção de operadores ao detectar alguma divergência no ambiente (BOYES *et al.*, 2018).



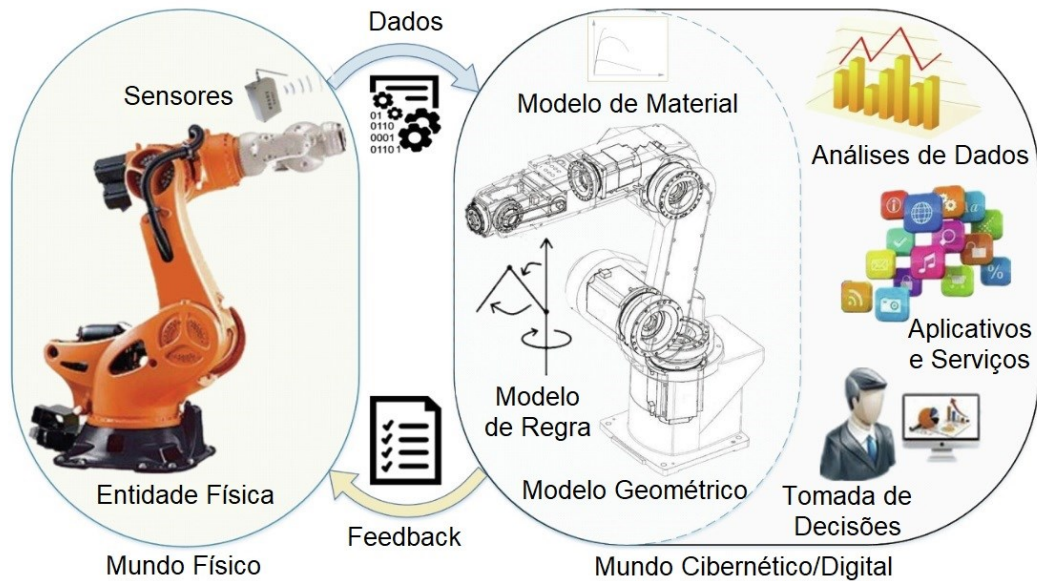
Em resumo, no processo de fabricação, o mundo cibernético monitora as atividades, com visibilidade em tempo real, do mundo físico, o que facilita o acesso à informação, prevê o ciclo de vida dos equipamentos e ferramentas (manutenção preventiva) e fornece recomendações de manutenção ativa. Os planos de produção e cronogramas de produção reais são comparados no mundo cibernético, e os agendamentos inteligentes são realizados com base em conhecimentos e regras para a produção. E ao integrar e sincronizar a fabricação e serviços de informação é possível um feedback interativo entre os mundos (TAO; QI, 2019).

Os maiores desafios do CPS são: a gestão da complexidade, a interoperabilidade, o desenvolvimento de plataformas técnicas adequadas, ao conectar o mundo físico com a internet, surge a questão da segurança e suas regulamentações (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015).

### **2.3.3. Digital twin**

O CPS retira do sistema físico dados estatísticos, modelagem computacional e informações em tempo real para modelar respostas em vários cenários para tomada de decisão. O Digital Twin (DT), ou gêmeo digital (Figura 8), é um CPS capaz de modelar, monitorar e prever o desempenho de uma máquina; isso é possível a partir de informações da fábrica, sensores e modelos virtuais do equipamento, onde integra e analisa os dados. O DT rastreia dinamicamente e monitora o status e o progresso do ambiente físico em tempo real com base no modelo virtual, ao produzir modelos com a maior similaridade do real permite a otimização das máquinas e dos processos, maximizando a indústria (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018).

Figura 8 - Modelo de um Digital Twin.



Fonte: Adaptado de Tao *et al.* (2019).

Para Negri, Fumagalli e Macchi (2017), o DT é um dos principais conceitos associados à Indústria 4.0, pela representação virtual, ao longo do ciclo de vida, de sistemas. Assim, o DT é um modelo virtual de processo, produto ou serviço capaz de emparelhar o mundo virtual com o físico, e diante disso acessar dados de análise e monitorar sistemas e consequentemente criar soluções de qualidade e precisas mais rápidas e eficientes (KOZŁOWSKI; WIŚNIEWSKI, 2022). O DT auxilia na resolução de problemas com maior inovação e desempenho (SONI *et al.*, 2019).

A parte virtual e informatizada de um sistema físico é o DT, a IoT é responsável pelo link entre o mundo virtual e a cópia virtual que permite aos CPS se comunicarem e cooperarem - tanto entre si como com humanos. Dessa maneira, o DT é capaz não apenas de mapear fielmente os objetos físicos, mas também otimizá-los, com base em modelos, por conseguinte, apresenta bidirecionalidade dos ajustes das informações automaticamente. A combinação entre a manufatura inteligente e o DT permite mais eficiência e conveniência pelo acesso ao estado dos sistemas de fabricação inteligente em tempo real e prevenção de falhas (HE; BAI, 2021; NEGRI; FUMAGALLI; MACCHI, 2017).

O DT trabalha com informações chave de uma empresa ao representar um objeto real, portanto deve reproduzir fielmente as informações e ser capaz de proteger e identificar a privacidade (EL SADDIK, 2018). Os componentes do DT consistem em

dados modelos, algoritmos, regras e conhecimentos; onde uma parte dos dados são do mundo físico, como status, propriedades e qualidade sobre os recursos de fabricação, já os algoritmos de processamento de dados, otimização inteligente são utilizados para análise e mineração de dados para criação de conhecimento e regras. As informações importantes são armazenadas no mundo cibernético para uso dos usuários e para simular os recursos e processos de fabricação no ambiente virtual (TAO; QI, 2019).

O DT pode ser utilizado em diversas frentes: design do produto, manufatura, monitoramento, otimização, manutenção e serviço de produto (HE; BAI, 2021; SONI *et al.*, 2019). A fábrica virtual simula e avalia as diferentes estratégias e planejamentos de fabricação e na execução da fabricação real monitora e ajusta, em tempo real, o processo de fabricação, os quais atualizam com base nos dados do mundo físico para obter precisão, estabilidade, alta eficiência e qualidade do produto (QI; TAO, 2018). A comunicação entre os gêmeos é dada pela velocidade da conexão com a internet.

A simulação virtual de um DT constrói modelos sólidos aplicado no processamento e montagem do produto para obter um controle preciso da produção. Na simulação do processo de produção a produtividade e eficiência são analisadas abrangentemente por meio de simulação da produção; as linhas de produção digital para coordenar e automatizar a produção; e o monitoramento do status do equipamento permite, de forma visual, identificar simultaneamente equipamentos anormais (HE; BAI, 2021).

Sensores e atuadores são instalados na parte real do DT, onde os dados de status, condição de trabalho ou posição são coletados. Ao incorporar inteligência artificial ao aprendizado de máquina para tomada de decisões rápidas e inteligentes é habilitado em nome de seu gêmeo real. A representação do DT pode correr em formatos distintos, de acordo com a necessidade e aplicação, como: avatar tridimensional, holograma e imagem, uma outra maneira, sem representação tangível, é por componente de software (EL SADDIK, 2018; SONI *et al.*, 2019).

As aprendizagens e oportunidades descobertas no ambiente virtual que podem ser replicadas no mundo físico (SONI *et al.*, 2019), por exemplo, os testes de novos recursos ocorrem de maneira rápida, as tomadas de decisão podem planejar a produção ininterrupta com perdas financeiras mínimas através do modelo digital (KOZŁOWSKI; WIŚNIEWSKI, 2022). Assim o DT possibilita a interconectividade entre

processos, transparência de informações, assistência técnica para decisões descentralizadas; essas geram economia financeira e em tempo.

O DT não se restringe a uma peça, as fábricas podem ser representadas no espaço digital simulando processos, máquinas, fluxos e trabalhadores (KOZŁOWSKI; WIŚNIEWSKI, 2022). Os sensores de IIoT permitem “ver” em um espaço virtual o chão de fábrica de uma empresa, a localização de cada ativo, seu tempo de atividade e necessidade de manutenção; permitindo analisar o que está por dentro das máquinas em instantes, o que para muitos casos é muito complexo e perigoso no mundo físico (IMMERMAN, 2020a). As empresas podem também utilizar o DT para auxiliar no aumento de produtividade ao minimizar tempo de inatividade ou melhorar a capacidade, melhorar o fluxo de trabalho e desenvolver novos produtos (IBM, 2022).

O Digital Twin suporta a avaliação prognóstica em fase de projeto, através de perspectiva estática, e uma atualização contínua da representação virtual do objeto por uma sincronização com os dados, o qual reflete o status atual do sistema e realiza otimizações em tempo real, tomada de decisão e manutenção preditiva de acordo com as condições detectadas (NEGRI; FUMAGALLI; MACCHI, 2017).

O DT na indústria automotiva é aplicado na reprodução do veículo ou da fábrica no ambiente virtual; dos comportamentos físicos, ou seja, softwares, eletrônica e mecanismos; pode armazenar dados de desempenho e sensores, alterações de configuração, histórico de serviço e informações de garantia. Animações tridimensionais, por exemplo, mostram detalhes claros aos stakeholders para validação de um novo projeto sem a necessidade de protótipos. Algumas OEM, por exemplo, já têm a fábrica no ambiente virtual que pode ser acessada por tela ou óculos de realidade virtual, e assim cria e sustenta um ambiente controlado na parte logística, máquinas, funcionários e cadeia de valor; como é o caso da BMW em Regensburg, que reduziu em 25% o tempo de planejamento de operações com a implementação do DT (KOZŁOWSKI; WIŚNIEWSKI, 2022).

O DT pode ser utilizado junto com o machine learning para gerenciar robôs na simulação de movimentos complexos e aprender novas formas de trabalhar, prever as tarefas de manutenção, formas de otimizar gargalos, treinar funcionários de maneira segura a distância antes de apresentá-los às máquinas (ou até mesmo antes da fábrica ficar pronta), testar sugestões de mudanças operacionais antes de investir na implementação e testar situações perigosas como extrapolar os limites de peso e rotação da máquina para coleta de dados de análises (IMMERMAN, 2020a;

KOZŁOWSKI; WIŚNIEWSKI, 2022). Diante das vantagens do DT, inúmeros fornecedores de IoT fornecem algum tipo de capacidade de DT, nas mais diversas maturidades e visões, pela melhor compreensão dos conceitos e otimização do funcionamento e desempenho dos ativos (SONI *et al.*, 2019).

A previsão com testes de produtos, determinação de necessidades de manutenção e melhorias de linha, até planejamento de rotatividade podem ser realizados em ambiente virtual, um exemplo são os diferentes tipos de chassis que podem ser testados em diversas condições climáticas, essas soluções podem ser testadas imediatamente pelos clientes, possibilita-se então feedback antes mesmo de a solução ser lançada no mercado (KOZŁOWSKI; WIŚNIEWSKI, 2022).

Uma dificuldade do Digital Twin é a implementação em uma fábrica inteira, pela complexidade da modelagem em multiescala (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018), pois o DT fornece as OEMs um clone de software virtual da máquina física, o qual é gerado a partir das plantas reais da fábrica, o que requer investimentos significativos de máquina designers e engenheiros de software.

#### **2.3.4. Computação em nuvem e manufatura em nuvem**

Todo o sistema de armazenamento de aplicativos, programas e dados em um servidor são denominados Cloud Computing (CC), ou computação em nuvem, o termo nuvem se refere a aplicativos e serviços remotos, o qual permite entrega de sistemas e atualizações muito mais rápida que sistemas autônomos, o que facilita as operações (OZTEMEL; GURSEV, 2020). A nuvem oferece armazenamento quase ilimitado por uma fração do custo e maior segurança, ao utilizar um provedor respeitável, pois ao terceirizar para uma empresa com core business sendo a nuvem, tem-se equipamentos mais robustos, com cópias de dados em mais de um local físico, os hardwares utilizados são, em geral, mais potentes, o que permite análises mais profundas e uso de machine learning mais complexos (IMMERMAN, 2018).

Para Zhong *et al.* (2017), a tecnologia em nuvem permite a transferência de um banco de dados para um ambiente compartilhado operado pelo provedor, o qual possui os servidores, e está disponível para os usuários com acesso à internet. Do mesmo modo, para Tao e Qi (2019) a CC tem o acesso a recursos de computação sob demanda por meio da rede, assim, aplicativos, dados e assistência de tecnologia da informação (TI) podem ser fornecidos aos usuários rapidamente; e o pagamento é

conforme o uso. Similarmente, Lee e Lee (2015), consideram que a computação em nuvem representa um modelo de acesso sob demanda de recursos configuráveis e compartilhados - computadores, servidores, redes e softwares.

As principais características da CC são: interoperabilidade e independência de plataforma de serviços, que habilitam diversos elementos na fabricação a se tornarem plug-and-play, os quais podem ser acessados e utilizados por outros participantes, como stakeholders, clientes, fornecedores e parceiros. A gama de dados que a nuvem facilita o acesso englobam elementos relacionados aos negócios como: financeiro, segurança e logístico; elementos relacionados ao produto que são oferecidos ao cliente durante o uso e manutenção; e elementos de serviços de informação (TAO; QI, 2019).

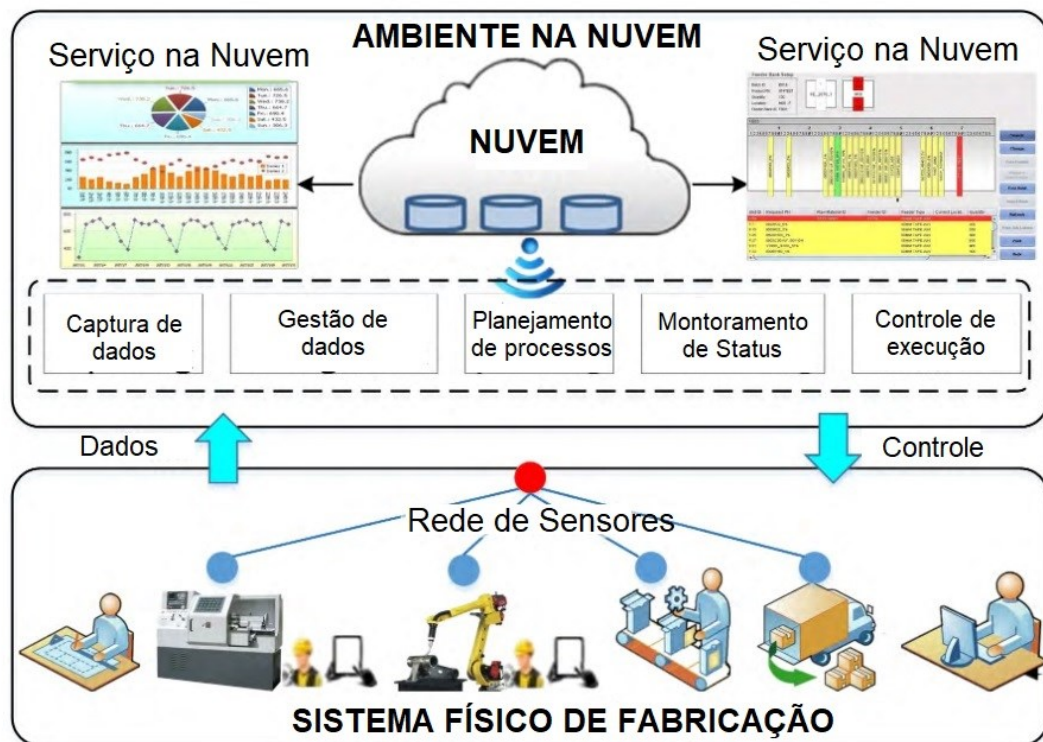
Os tipos de acessos à nuvem variam entre privado; público - localizado em um data center e gerenciado por fornecedores e disponíveis para o público; híbrido combina as duas anteriores, assim as informações confidenciais ficam em uma área privada, e a comunitária que é compartilhada por organizações por uma partilha específica de interesses e preocupações. Para a indústria manter a segurança e sigilo das informações, os serviços públicos e compartilhados não são ideais (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

Como uma solução IoT requer em geral três componentes: objetos conectados ao IoT que geram dados de sensores, insights extraídos desses dados coletados e a ação que será realizada que agrega valor. Com a computação em nuvem, os componentes de insights e ações deixam de estar dentro das fábricas, para estar em hardware de maior potência em outro local, acessados geralmente pela internet, mas podem ser via satélite ou outro método de transmissão. Portanto, pode-se enviar os dados para armazenamento ou análise para que possa agir com base nos insights derivados deles posteriormente (IMMERMAN, 2018).

A manufatura em nuvem utiliza a CC no contexto da indústria, oferece um conjunto compartilhado de recursos, como software, instalações e recursos de fabricação, além de armazenar dados e máquinas virtuais - os quais permitem uma manufatura adaptável, segura e sob demanda (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015). Para Zhong *et al.* (2017), a manufatura em nuvem conta com tecnologias de IoT, computação em nuvem, virtualização e tecnologias orientadas a serviços, abrangendo todo o ciclo de vida do produto, onde a produção de recursos e capacidades podem ser gerenciados de forma inteligente.

A aplicação da nuvem na manufatura, como os softwares de projeto, por computador e fabricação assistida por computador, são exemplos da implementação da computação em nuvem (Figura 9). A partir da utilização de Software como Serviço os clientes acessam por uma interface na web os programas; e a Plataforma como Serviço, onde os usuários conseguem desenvolver e executar aplicativos. Ao utilizar a Infraestrutura como Serviço a manufatura em nuvem permite a utilização de servidores, redes e armazenamentos virtuais, além de executar softwares (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

Figura 9 - Arquitetura de um sistema de manufatura em nuvem.



Fonte: Adaptado de Qi e Tao (2019).

Em suma, o grande número de dados gerados no processo de fabricação, relacionados a status em tempo real, parâmetros de processo, andamento do processamento, registros de manutenção, dados de: operação dos produtos, demanda, comportamento e dos usuários. Esses dados, os recursos e capacidade de fabricação são virtualizados e as informações relevantes são armazenados em diferentes serviços de fabricação que podem ser acessados remotamente sob demanda - os usuários podem, através da interconexão e comunicação, gerenciar e usar recursos, como monitorar o desempenho e status de operação (TAO; QI, 2019).

A nuvem oferece muitos benefícios aos fabricantes, como armazenar grandes quantidades de dados e realizar tarefas computacionalmente intensivas. Um exemplo é a modelagem de risco com aprendizagem de máquina realizadas na nuvem com efeito de reduzir os custos indiretos de máquinas de alta potência; a customização de produtos feitas sob demanda através das necessidades do cliente é suportada pela computação em nuvem. A fabricação em nuvem refere-se a softwares e fabricação distribuída em mais de uma localidade (IMMERMAN, 2020a).

A CC permite reduzir custos diretos e indiretos, de infraestrutura de TI, ao pagar apenas o plano de assinatura, e assim, apenas o consumo dos recursos computacionais utilizados e acesso em qualquer lugar com conexão à internet; assim essa tecnologia auxilia muito pequena e médias empresas que não possuem capital de investimento elevado e falta de experiência técnica e suporte (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). A redução de custos e eliminação da complexidade da infraestrutura amplia a área de trabalho, protege os dados e o fornecimento de acesso às informações a qualquer instante, desde que com acesso à internet (OZTEMEL; GURSEV, 2020). Portanto, ao utilizar a CC para reduzir custos operacionais, análises para melhoria do tempo, qualidade e produtividade e aprimorar a sincronização entre os sistemas de manufatura e negócios.

As OEMs necessitam de equipamentos otimizados ou com hardwares de IIoT capazes de coletar os dados do chão de fábrica, a nuvem industrial armazena os dados de todos esses equipamentos habilitados para IoT, assim agrega esses conjuntos de big data. Algumas vantagens incluem: flexibilidade no armazenamento e computação para coleta e análise de dados e operações; acesso remoto; segurança de dados; backup e recuperação de informação; atualizações automáticas de novos recursos; e suporte ao cliente. Os benefícios para a indústria incluem: centralizar dados entre máquinas e instalações para análises de longo prazo, rastrear o histórico de produção, obter visibilidade das operações remotamente e criar algoritmos de detecção de falhas nas máquinas antes que elas aconteçam (IMMERMAN, 2018).

### **2.3.5. Big data e analytics**

A crescente utilização da IoT, as tecnologias de detecção, computação em nuvem e estruturas de sistemas ciber-físicos geram um grande volume de informação que alimentam cada vez mais a Big Data (BD) (LEE; KAO; YANG, 2014). A BD é um



dos pilares da manufatura inteligente para o processamento de informações ao ser responsável por armazenar dados estruturados, semiestruturados e não estruturados gerados no ciclo de vida de um produto, como dados de: equipamentos, máquinas, produção, cadeia de produção, produto, materiais, sistemas de informação de fabricação, demanda dos clientes, design e serviços (TAO; QI, 2019; ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

A big data busca encontrar a relação de correlação e conhecimento por meio de recursos e padrões de comportamento de mineração de dados de uma variedade de fontes de informação, o massivo volume requer ferramentas avançadas, algoritmos e plataformas para processar os dados (QI; TAO, 2018). Com base nas informações coletadas é possível transformá-las em: insights, decisões de fabricação e automação de processos. Dispositivos e máquinas de IoT geram enormes quantidades de dados, através de sensores e atuadores, transmitidos para ferramentas de inteligência e análise para tomada de decisões (LEE; LEE, 2015). Por conseguinte, a BD permite uma fabricação inteligente capaz de reduzir custos e resolver rapidamente problemas, melhorar a eficiência de produção e a qualidade do produto e adaptar a produção de acordo com dados reais e padrões de comportamento do usuário (TAO; QI, 2019).

Lee, Kao e Yang (2014) afirmam que o processamento de dados em informações úteis é a chave da inovação no escopo da Indústria 4.0, algumas empresas apresentam dificuldade para gerenciar a BD para melhorar a produtividade devido à falta de ferramentas analíticas inteligentes. Ou seja, para usufruir das vantagens da BD é necessário ser capaz além de conectar um grande volume de informações primárias, também ter a infraestrutura para armazená-las e mais importante interpretá-las (POLIVKA; DVORAKOVA, 2021). Como resultado, os dados não possuem valor para uma empresa se não forem organizados, decifrados e analisados (REDDY *et al.*, 2021).

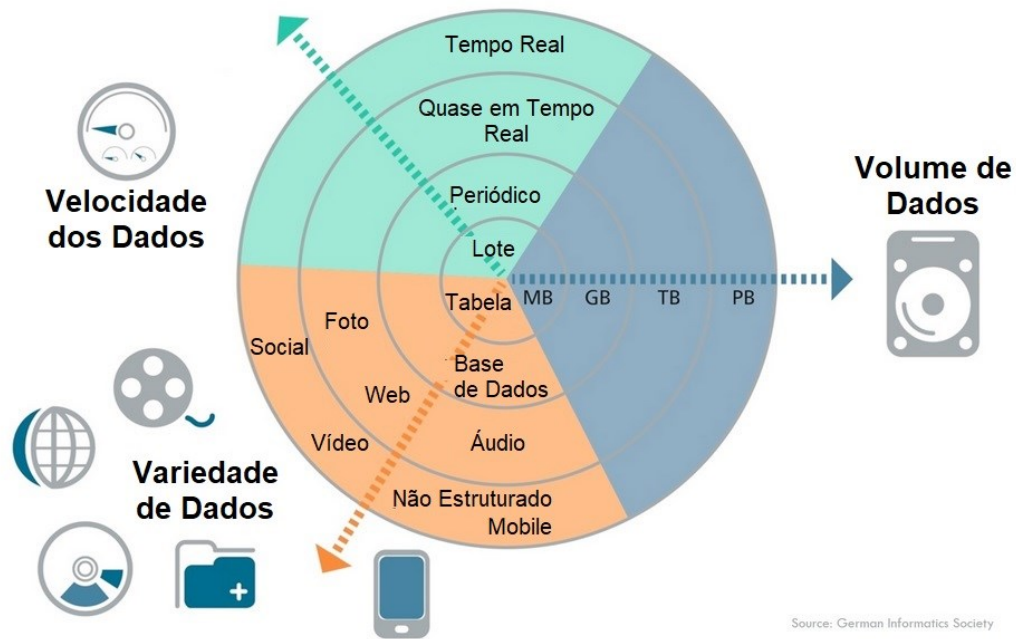
As oportunidades de valor são alcançadas com a conexão de mais dispositivos físicos à internet, e com o uso de novas tecnologias para coleta de mais dados e maior capacidade de análise, as quais agregam valor do uso da BD (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). Ao construir aplicativos de big data, as empresas devem ter claras quais as suas estratégias de negócios e de TI para projetar a estrutura da ferramenta que forneça os insights desejados e que agreguem valor pelas diferentes áreas da empresa com o suporte das áreas de TI, negócios e algoritmos.

Com os dados coletados é necessário a etapa de processá-los para obter as informações que agregam valor para empresa, para Tao e Qi (2019), consiste em quatro etapas: aquisição, pré-processamento, análise e mineração - com recurso de visualização dos resultados. A aquisição corresponde à coleta de dados, pela IoT, em tempo real, no processo de produção e operação dos produtos, os dados gerados são integrados e armazenados para futuro processamento, e podem ser estruturados, semiestruturados ou não estruturados (TAO; QI, 2019).

Dados estruturados são dados altamente organizados, com estrutura formal, e podem ser armazenados, processados e recuperados facilmente por algoritmos simples de mecanismos de pesquisa, um exemplo são listas com informações de funcionários. Dados não estruturados não possuem um modelo de dados predefinido, ou seja, estão em diversos formatos (texto e imagem), são gerados pelas mais diversas fontes (máquinas e humanos); esses representam mais de 80% dos dados de uma empresa. Por fim, os dados semiestruturados, que são uma mistura de dados estruturados e não estruturados, representam cerca de 5% a 10% de todos os dados (SHAH, 2020).

As informações chegam para a BD de várias fontes em uma velocidade, volume e variedade enormes (Figura 10), e para extrair valor significativo, é necessário um poder de processamento ideal, recursos de análise e habilidades de gerenciamento de informações. Dados de sistemas ERP são combinados com informações de várias unidades do negócio e dos membros da cadeia de suprimento; os sensores, RFIDs, leitores de código de barras e robôs aumentam os pontos de geração de dados (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Figura 10 - Origem dos dados de big data.



Fonte: Adaptado de Better (2022).

Além das dimensões apresentadas na Figura 10, Alcácer e Cruz-Machado (2019) compilaram ideias de diversos autores para definir as dimensões da BD:

- a) Volume: representa a gigante quantidade de dados armazenados, com tamanhos que chegam a petabytes;
- b) Variedade: são as diferentes fontes e formatos de dados;
- c) Velocidade: relaciona-se com a rápida produção, geração, análise e entrega de dados;
- d) Veracidade: é a falta de confiabilidade de algumas fontes de dados, as quais requerem análises;
- e) Visão: somente processos propositais devem enviar dados, representa a probabilidade do processo de gerar dados;
- f) Volatilidade: aborda o tempo do ciclo de vida das informações e a necessidade de repor os dados desatualizados;
- g) Verificação: é a conformidade das informações geradas
- h) Validação: garante a transparência das premissas e conexões;
- i) Variabilidade: mede a taxa de fluxo de dados pela sua variação;
- j) Valor: define até onde a BD gera insights e benefícios econômicos.

Os dados obtidos nos processos físicos são coletados, em maioria, por sensores e detectores para aquisição de dados de modo automatizado, os quais, normalmente são monitorados mediante a um sistema ERP que controla esses processos. A integração do sistema ocorre pela interconexão de sistema de informação e na troca de dados entre si, essa transferência pode ocorrer dentro da empresa, integração vertical, ou pela cadeia de suprimentos e clientes, integração horizontal (POLIVKA; DVORAKOVA, 2021). Por conseguinte, a BD sustenta grande parte das outras tecnologias da Indústria 4.0, pois quanto mais dados forem transformados em insights para orientar a tomada de decisão, cuidado com os ativos, reduzir custos e limita os riscos de tempo de inatividade; conseqüentemente maior o nível de eficácia (IMMERMAN, 2020a).

Diversas são as fontes de obtenção dos dados, ou seja, diversos tipos de informações necessitam de pós processamento para realizar operações como análise, limpeza, eliminação de redundância e redução dos dados, assim, dados brutos duplicados, ruídos, dados incompletos ou faltantes são eliminados. Com um conjunto de dados já limpos e pequenos, em relação à fase de aquisição, as etapas de análise e mineração de dados são as responsáveis por gerar o valor implícito dos dados. Os métodos mais comuns nessas etapas incluem: classificação e agrupamento, extração de recursos, agregação de dimensões, criação e validação de modelos e reconhecimento de padrões (TAO; QI, 2019).

A indústria precisa dar sentido a gigante quantidade de conhecimento e dados de experiência, ao utilizar Analytics as informações são mescladas de diferentes fontes e formatos e aproveitadas para mitigar e gerenciar riscos. Por consequência o sistema em nuvem é uma boa ferramenta de solução para lidar com a BD, pois muitos computadores não conseguem trabalhar com uma quantidade tão elevada de dados, mas, com os dados na nuvem é mais fácil realizar as análises. Assim, através de análises avançadas, métodos e ferramentas, dados offline e em tempo real são analisados e minerados, para, por exemplo, aprendizado de máquina e modelos de previsão; para maior adaptabilidade e flexibilidade da indústria - auxiliando a atender um mercado com foco cada vez maior na customização (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

A apresentação dos resultados das análises de BD ocorre, normalmente, por gráficos, briefings, painel de instrumentos e realidade virtual, através de computadores e terminais móveis. A BD auxilia no melhor desempenho da produção pela correlação de dados globais; permite agendamentos dinâmicos e inteligentes; a análise em

tempo real dos dados propicia a detecção de mudanças na qualidade no monitoramento; ao analisar as operações consegue-se prever e diagnosticar equipamentos, reduzindo os custos de manutenção e reparo; e auxilia na logística inteligente (TAO; QI, 2019). O BD também identifica mudanças no comportamento do cliente e condições do mercado - aumentando a satisfação do cliente e fornece valor agregado (LEE; LEE, 2015).

Um exemplo de aplicação é um sensor industrial de IoT no chão de fábrica conectado a todas as máquinas, responsável por registrar e analisar as informações no local do sensor e na nuvem. As informações são coletadas e alimentam o algoritmo de machine learning, o qual gera resultado de cronograma de manutenção estimando de quando a máquina precisará de revisão e estipula um horário que afete ao menos a produção; isso é conhecido como manutenção preditiva (IMMERMAN, 2020a).

Segundo Hastings (2021), um veículo de passeio tem em média 30 mil peças, assim falhas na cadeia de suprimento podem gerar atrasos na fabricação, ao utilizar a BD analisa-se a cadeia de suprimentos e prevê problemas com abastecimento das mais diversas fontes, como climática e geopolítica, assim a indústria consegue planejar com antecedência eventuais interrupções de forma a minimizar perdas. A autora também apresenta a vantagem da BD na otimização dos recalls, que são inevitáveis pela complexidade dos veículos, auxilia na identificação da raiz do problema, e assim, isolar as peças defeituosas de um lote e reduzir o número de veículos chamados para recall de modo a diminuir as responsabilidades financeiras e danos à marca.

### **2.3.6. Inteligência artificial**

A Artificial Intelligence (AI), ou inteligência artificial, na indústria abrange conceitos de aprendizado que requerem o reconhecimento de padrões para dados não lineares, análise de dados não estruturados, robustez para tarefas repetitivas, velocidade de computação rápida e alta interpretabilidade (KIM *et al.*, 2022). A AI Industrial representa uma tecnologia central que impulsiona a busca de maiores autonomia em sistemas industriais, mas no patamar atual é utilizada para aumentar o desempenho humano em vez de substituí-los (PERES *et al.*, 2020).

O crescente número de BD devido às tecnologias como IoT requer técnicas de recuperação e análises de informações como a AI (KIM *et al.*, 2022) Para extrair

informações do ambiente, pode-se utilizar processamento de imagens, por visão de máquina, para os sistemas de manufatura adquirem a localização de equipamentos e materiais móveis, assim, consegue reconhecer objetos, rastrear movimento e monitorar condições durante toda a produção. Já o processamento de linguagem neural permite que as máquinas compreendam o significado da linguagem humana para reconhecer comandos sem a necessidade do teclado (MA *et al.*, 2021).

Para Peres *et al.* (2020) a AI industrial requer cinco dimensões específicas:

- a) Infraestrutura: requer alto nível de segurança e a interconectividade para confiabilidade através de hardware e software com destaque nas capacidades de processamento em tempo real;
- b) Dados: são de alto volume, variedade e velocidade, provenientes de várias unidades, produtos e regimes;
- c) Algoritmos: integração do conhecimento físico, e digital, assim, possuem complexidade de gerenciamento, implantação e governança;
- d) Tomada de decisão: com baixa tolerância ao erro, capacidade de tratamento da incerteza e otimização em larga escala;
- e) Objetivos: criação de valor concreto por meio de uma combinação de fatores como redução de refugo, qualidade da produção e desempenho aprimorado do operador.

A AI estuda as maneiras em que as máquinas podem processar informações e tomar decisões sem envolvimento humano, com escolhas racionais e precisas (KRASNOKUTSKY, 2022). A AI refere-se a dispositivos que utilizam algoritmos para processar dados e chegar a conclusões que não foram programadas para a máquina, assim os equipamentos conseguem aprender e tomar decisões cada vez mais assertivas (IMMERMAN, 2020a). Veículos autônomos é a aplicação voltada ao público de AI, no setor automotivo, porém as tecnologias da AI como visão computacional e machine learning são importantes em toda a cadeia de valor da indústria para otimizar a produção e feedbacks para modelagem preditiva.

A automação representa a automatização de tarefas para softwares e não hardware (KRASNOKUTSKY, 2022). Ou seja, enquanto a automação envolve tecnologias que seguem um conjunto de passos predeterminados, com máquinas programadas para executar a mesma tarefa repetidamente na linha de montagem. Ao equipar máquinas com AI, é possível reagir a cenários em mudança, prever eventos

e adaptar-se pela análise dos dados coletados e compartilhados (HASTINGS, 2021). Ou seja, utiliza dados gerados nas fábricas conectadas para otimizar as máquinas, reprogramar fluxos de trabalho e identificar melhorias.

A manutenção preditiva e previsão de demanda utilizam dos recursos de AI e machine learning, representam dispositivos inteligentes capazes de sinalizar falhas antecipadamente, e assim, evitar interrupções não planejadas. A AI utiliza uma matriz de dados robusta de sensores e outras fontes de informações, como imagens coletadas por câmeras, para melhor antecipar situações voláteis, complexas e dinâmicas com precisão, assim a produção e os custos podem ser otimizados (PAPULOVÁ; GAZOVÁ; ŠUFLIARSK, 2022; IMMERMANN, 2020a).

A AI na manufatura tem um foco na coleta de dados à medida que os dispositivos IoT ganham volume no chão de fábrica e permitem que plataformas de AI, cada vez mais, melhorem as tarefas de fabricação. Ao combinar AI com a robótica industrial, as máquinas podem automatizar tarefas como manuseio de materiais, montagem e inspeção. Com a evolução dos aplicativos de AI, as fábricas tendem à completa automatização, projetos e produtos feitos cada vez com menos supervisão humana (KRASNOKUTSKY, 2022).

Para classificar dados de sensores de máquinas e rapidamente detectar discrepâncias nas informações a AI é utilizada, busca-se informações relevantes de benchmark online, custo de transporte e mão de obra. Na manufatura o controle de qualidade utiliza a inteligência artificial na inspeção de produtos, utiliza hardware como câmeras e sensores de IoT para que os softwares de IA inspecionem e detectem defeitos. O sistema de AI pode então tomar decisões sobre o que fazer com produtos defeituosos automaticamente (KRASNOKUTSKY, 2022).

Immerman (2020a) afirma que a AI é um recurso capaz de prever mudanças de mercado para os fabricantes. Para Hastings (2021), a AI consegue identificar defeitos 90% mais efetivos que humanos, no chão de fábrica automotivo, robôs com AI constroem carros personalizados e transportam materiais de forma autônoma - evitando objetos e pessoas em movimento, além de aprendizagem contínua de adaptação.

Na indústria a AI fornece maior eficiência, custos mais baixos, qualidade aprimorada, tempo de inatividade reduzido, tomadas de decisões acionáveis mais rápidas e precisas que a capacidade humana. Na manutenção preditiva a AI auxilia na previsão e ações para corrigir com base em histórico, na qualidade preditiva é

possível prever e reduzir falhas, redução de sucata ao minimizar o refugo e maximizar a qualidade do produto, aumentar o rendimento e produção ao identificar quando algo sai das especificações e corrigir, previsão de demanda de estoque com rever a demanda e a movimentação de peças críticas. Nas áreas de anomalias e identificar outliers a AI fornece grande suporte (RAPP, 2022).

### **2.3.7. Machine Learning**

As tecnologias de IA e aprendizado de máquina costumam ser utilizadas de forma intercambiável, porém são duas coisas diferentes. O aprendizado de máquina reúne dados de diferentes fontes e auxilia no entendimento de como os dados se comportam, por que e quais dados se correlacionam com outros dados. Assim, ajuda a resolver um problema específico, obtendo evidências históricas nos dados para informar as probabilidades entre várias escolhas e qual escolha funcionou melhor no passado. Já a IA age de acordo com uma recomendação fornecida pelo aprendizado de máquina, ou seja, IA é a capacidade de responder a um evento, antes dele acontecer com base no histórico apresentado pelo machine learning (RAPP, 2022).

O machine learning (ML), ou aprendizado de máquina, é uma abordagem de inteligência artificial em que algoritmos aprendem com a assimilação de numerosos dados, inicialmente, para treinar a tomada de decisões para reconhecer padrões em dados coletados do mundo real, quando instalados nas fábricas (KRASNOKUTSKY, 2022). Com o ML é possível monitorar processos para a detecção de padrões e classificação de sistemas, assim, a tecnologia é capaz de identificar a saúde, detectar falhas, realizar previsões de vida útil e condições de trabalho dos sistemas (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018).

Apesar do grande volume de dados armazenados no BD, apenas guardar a informação não traz nenhum benefício para empresa, por isso, é de fundamental importância as ferramentas de ML, as quais representam um conjunto de técnicas computacionais que são responsáveis por extrair informações úteis e tomar decisões apropriadas a partir do BD, o qual contém tanto dados estruturados, quanto não estruturados que são obtidos em diversos setores da cadeia do produto (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018).

No setor automotivo, o ML auxilia na redução de interrupções da linha de produção, ao analisar dados, com cronogramas otimizados para a manutenção



preditiva, o ML é capaz de antecipar a escassez e melhor otimiza de como lidar com a falta de componentes da melhor forma diante da atual falta de componentes no mercado mundial (AUTOMATION, 2022).

### **2.3.8. Sensores e identificação por rádio frequência**

Para Lasi *et al.* (2014), as Fábricas Inteligentes tendem a ser totalmente equipadas com sensores, atuadores e sistemas autônomos, pois ao usar tecnologias digitais aplica-se várias novas tecnologias em todos os níveis organizacionais. Sensor é um dispositivo usado para monitorar processo e condição para gerenciá-los e as operações estabelecidas não seriam viáveis sem sensores, pois são os responsáveis por detectar o estímulo de entrada, que possui qualquer quantidade, propriedade ou condição do ambiente físico (pressão, força, fluxo, luz, calor, movimento ou outros fenômenos), e responder a um sinal digital mensurável, geralmente na forma elétrica de um sinal (tensão, corrente, capacitância, resistência e frequência). Essas informações são convertidas em um display ou transmitidas eletronicamente pela rede para distribuição da informação (JAVAID *et al.*, 2021a).

O ciclo dos dados na utilização dos sensores envolve coleta de dados físicos e o hardware e software eletrônicos os salvam e analisam (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019); dessa maneira, os sensores, atuadores e sistemas de controle numérico representam um sistema interativo baseado em CPS, que possuem também as funções de pensamento, memória e execução precisa (TAO; QI, 2019).

Sensores nas indústrias são utilizados para diferentes aplicações, são responsáveis por conectar dispositivos e sistemas e permitir que as máquinas se comuniquem para rastrear sistemas e equipamentos em cada instalação. Com a IoT, sensores comuns tornaram sensores inteligentes, de modo que os dados medidos são calculados localmente em um módulo de sensor de maneira complexa. A convergência de sensores sem fio com redes e plataformas adicionais faz uma extensa rede de sensores pode se comunicar através da IoT (JAVAID *et al.*, 2021a).

Sensores e IoT são possíveis na produção, cadeia logística e produto final; capturam parâmetros como temperatura, umidade, movimento, localização e autenticação de peças. Com base no monitoramento em tempo real, as montadoras, por exemplo, podem identificar eventos prejudiciais e planejar correções o mais rápido possível (REDDY *et al.*, 2021). Assim, a manutenção é uma vantagem significativa ao

permitir detectar e registrar de forma confiável e remota o feedback do mundo real: movimento, mudanças de temperatura e sinais elétricos (JAVAID *et al.*, 2021a).

Os sensores inteligentes recebem informações do ambiente físico e através dos recursos de computação integrados, ao detectar uma entrada executa funções pré-estabelecidas, processa os dados e os transmite. Os sensores inteligentes têm memória e arquitetura limitadas para remover ruídos e anomalias de seus resultados e podem realizar auto ensaios e auto calibração (JAVAID *et al.*, 2021a).

Uma das aplicações mais conhecidas de sensores são para rastrear etiquetas por Radio Frequency Identification (RFID), ou Identificação por Radiofrequência, colocadas em produtos para acompanhar seu deslocamento na cadeia de suprimentos, e assim melhor gerenciar o estoque e reduzir o capital de giro e os custos logísticos (CHUI; LÖFFLER; ROBERTS, 2010). As etiquetas e leitores de RFID são posicionados em locais estratégicos como no chão de fábrica, nas linhas de montagens e nos depósitos, tornando os objetos inteligentes. Ao utilizar a RFID melhora-se a tomada de decisão de produção e a eficácia e eficiência, pois o sistema consegue, em tempo real, coletar dados dos fluxos físicos e informações associadas e imediatamente informar sobre problemas na manufatura (ZHONG *et al.*, 2017).

A RFID obtém dados por ondas de rádio, a partir de uma etiqueta e um leitor para a identificação automática, nas etiquetas os dados são armazenados na forma de código eletrônico do produto e um sistema global de identificação de itens. Três são os tipos utilizados: etiqueta RFID passiva, a qual depende da energia de radiofrequência transferida do leitor para a etiqueta para alimentá-la, sendo a mais barata entre as três; etiqueta RFID ativa, essa tem seu próprio suprimento de bateria e pode iniciar a comunicação com um leitor, podem conter sensores externos para monitorar temperatura, pressão e outras condições - comumente usadas na fabricação, laboratórios e sensoriamento remoto; e a etiqueta RFID semi passiva, essa utiliza baterias para alimentar o microchip enquanto se comunica, extraindo energia do leitor (LEE; LEE, 2015).

Nas fábricas automotivas, com o RFID, o status da produção e do estoque são mapeados para a rede de informações registrados no banco de dados e transmitidos para o sistema de informações, como o ERP; com a customização dos produtos a RFID permite obter transparência em todo o processo de produção: ao colocar etiquetas com requisitos detalhados para o carro ao longo da montagem e o leitor na posição apropriada em cada ponto de trabalho, garante-se que o carro

conclua a tarefa de montagem sem erros na estação de montagem (CREPAK, 2022). As etiquetas de RFID são legíveis e graváveis, assim as informações podem ser mantidas atualizadas durante a produção para organizar as máquinas e configurar a rota de produção, por exemplo (WANG *et al.*, 2016).

### **2.3.9. Robôs e robótica**

A importância da robótica na Indústria 4.0 é devido aos robôs conseguirem realizar tarefas difíceis e grandes, em condições perigosas e desfavoráveis, além de realizar operações rotineiras (OZTEMEL; GURSEV, 2020). Para He e Bai (2021), a automação e a inteligência da manufatura são fundamentais para a aplicação de robôs industriais, os quais são utilizados em todos os aspectos da manufatura. Segundo Alcácer e Cruz-Machado (2019), cada vez mais a produção requer robôs com tecnologia de automação reconfigurável para atender as personalizações, para isso, habilidades em computação, comunicação, controle, autonomia e sociabilidade são alcançados ao combinar microprocessadores e inteligência artificial com produtos, serviços e máquinas; tornando-os mais inteligentes.

A automação de processamento robótico está relacionada com a automatização de tarefas para software, não para hardware. Aplica-se princípios de robôs de linha de montagem a aplicativos de software, como extração de dados, preenchimento de formulários, migração e processamento de arquivos. Muitas dessas tarefas podem não ser evidentes na facilitação da fabricação, mas desempenham um papel significativo no gerenciamento de estoque e tarefas de negócios; sendo mais importante caso o produto produzido exija instalações de software em cada unidade (KRASNOKUTSKY, 2022). Além disso, He e Bai (2021) afirmam que a partir do ensino e treinamento conseguem melhorar a eficiência e a precisão das tarefas, tornando os robôs mais competitivos ao reduzir os erros.

Para Rosenberg *et al.* (2015), no setor automotivo os robôs industriais estão sendo reaproveitados e adaptados para a Indústria 4.0. Em termos de automação da indústria, os robôs têm um destaque, quando realizam operações autônomas, podem ser programados; são também considerados mecanismos de segurança (PAPULOVÁ; GAZOVÁ; ŠUFLIARSK, 2022). Assim, segundo He e Bai (2021), ao serem instaladas programações mais convenientes, as interações com humanos ficam mais amigáveis.

Para Weiss, Wortmeier e Kubicek (2021), há uma diferença entre robôs em cooperação e em colaboração, os que cooperam trabalham em sub-regiões distintas dos humanos, apenas possuem o resultado em comum iguais. Os robôs colaborativos realizam tarefas junto com os humanos, possuindo tarefas compartilhadas.

Os robôs que realizam interação e colaboração são abordados em uma subdivisão da robótica denominada robótica social, pois os robôs são desenvolvidos para funcionar em ambientes que estão em constante mudança, e suas funções devem ser realizadas a partir de interações e respostas a eventos em tempo real. Para isso, são equipados com diversos sensores para coleta de dados dos ambientes e sensores específicos para realização das tarefas. Pelo dinamismo do ambiente os robôs continuamente revisam o progresso atingido e reavaliam suas estratégias para atingir suas funções (ROSENBERG *et al.*, 2015).

#### 2.3.9.1. Robôs Colaborativos

Cobots, ou robôs colaborativos, são um dos modelos de robôs sociais desenvolvido para trabalhar com humanos em colaboração e no mesmo espaço físico. São implementados na indústria para realizar as funções de: classificar, organizar, embalar e montar materiais e produtos. Os Cobots possuem sensores capazes de perceber os trabalhadores e outras máquinas nas suas proximidades, e então conseguem uma interação segura com o operador humano; possui também mecanismos de segurança na sua programação que impedem o robô de colidir, mesmo com alto grau de flexibilidade (ROSENBERG *et al.*, 2015).

Robôs para operarem de forma semi ou totalmente autônoma requerem aprender dinâmicas complexas e de alta dimensão, como processar sinais de imagem e GPS, reconhecer objetos de interesse ao seu redor e aprender política de controle em um ambiente dinâmico como obstáculos para seu movimento (KIM *et al.*, 2022).

Máquinas autossuficientes caracterizam os robôs autônomos, podem gerenciar suas tarefas sem a necessidade de operadores humanos - com exceção para a manutenção -, ou seja, gerenciam as tarefas repetitivas, mesmo que complexas, com rapidez, precisão e de forma inteligente. Esses robôs podem ser utilizados na soldagem, montagem e paletização, evitando lesões humanas. Os robôs que seguram e movem itens pesados em uma linha de produção, ajudam na

separação de pedidos nos depósitos rapidamente e na produção contínua por não precisarem de pausas (IMMERMAN, 2020a).

#### 2.3.9.2. Veículos autoguiados

Automated Guided Vehicle (AGV), ou veículo autoguiado, é utilizado nas fábricas para o roteamento e expedição de materiais flexíveis. Os AGVs percorrem uma rota predefinida para realizar tarefas determinadas sem o envolvimento de um operador, porém como diversos desses veículos operam simultaneamente em um mesmo sistema, aumentando a complexibilidade da programação da frota.

Com o uso de robôs móveis, um transporte eficiente e dinâmico de mercadorias pode ser alcançado com frotas aptas a adaptarem às circunstâncias e mudança, precisa ser robusta e escalável para qualquer demanda de transporte. Os AGVs precisam ser inteligentes, reunindo informações úteis para tomada de decisões inteligentes de forma muito dinâmica. Algumas tarefas centrais dos AGVs são: alocação de tarefas e distribuir para o AVG mais próximos da posição do objeto ordenado, seguida por encontrar o caminho mais curto para chegar ao destino e a localização dentro da fábrica e planejamento de movimento programado para evitar colisões com elementos estáticos e dinâmicos (RYCK; VERSTEYHE; DEBROUWERE, 2020).

Os AGVs são amplamente utilizados na produção automotiva para alimentar as linhas com materiais e mover os produtos pelas etapas de fabricação, e são programados para entregar os componentes nos momentos corretos, otimizando a produção (GOODWIN, 2022).

#### **2.3.10. Manufatura aditiva**

Outra tecnologia da Indústria 4.0 é a manufatura aditiva, a qual consiste no fluxo de transformar a matéria prima em peças finais diretamente de dados digitais, como é o caso da impressão 3D, da peça a ser fabricada. As máquinas utilizadas para manufatura fabricam o objeto em estruturas e suportes que evitam a necessidade de ferramentas especiais, como gabaritos, matrizes e ferramentas de corte, porém, uma etapa pós-fabricação pode ser necessária para remoção de excesso de material (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018). Assim sendo, a impressão 3D permite uma

rápida prototipagem, e possibilita também reduzir o tempo entre idealização e produto pela conexão do design com a produção a partir de modelos 3D (ROJKO, 2017).

Em resumo a manufatura aditiva consiste em criar produtos, camada por camada, adicionando novo material em vez de subtraí-lo - como é o caso das manufaturas convencionais (IMMERMAN, 2020a). Assim, proporciona-se a fabricação de peças direto de um modelo de desenho assistido por computador (CAD), dessa maneira a customização é feita sem a necessidade de novas ferramentas e custo de fabricação, portanto a fabricação sob demanda é escalável; as geometrias complexas e peças ocas, por exemplo, são mais facilmente realizáveis e diminui o desperdício de material (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

A manufatura aditiva viabiliza flexibilidade ao suportar o desenvolvimento de novos produtos em estágios iniciais na produção de peças finais. Esse modelo de manufatura é bem estabelecido em aplicações com alto nível de personalização e produção de baixo volume, como odontologia e ortopedia (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018). Porém, segundo Rojko (2017), para setores industriais, há alguns empecilhos para aplicar em produtos, como a qualidade inferior ao comparar com processos convencionais da indústria e, além disso, para alguns tipos de materiais esse modelo de manufatura ainda não pode ser explorado. No setor automotivo, por exemplo, a qualidade e confiabilidade dos componentes impressos 3D ainda causam receio devido a qualidade e confiabilidade, como resistência dos materiais, volume de impressão e velocidade de manufatura ainda são obstáculos (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018).

### **2.3.11. Realidade aumentada**

Na manufatura, a utilização de sistemas de Augmented Reality (AR), ou realidade aumentada, auxilia a visualização, dentro do processo de fabricação de uma gama de informações que podem ou não serem vistas diretamente no ambiente de fabricação real. Para isso, a AR realiza a sobreposição de informações virtuais geradas por computador no espaço de trabalho real; utiliza-se de interfaces como computadores, dispositivos vestíveis, e visores ópticos (LIU *et al.*, 2017; OZTEMEL; GURSEV, 2020). A realidade processada digitalmente com a de objetos artificiais adicionados de forma digital podem ser representados em 2D ou 3D (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

A AR permite que os humanos acessem o mundo digital por meio de uma camada de informações posicionadas, sem substituir o mundo real - no topo do mundo físico (MASOOD; EDDER, 2019). Assim, a AR é diferente da realidade virtual, o qual é um ambiente tridimensional artificial criado com a ajuda de um sistema de computador e tecnologia de sensores. Portanto, diferente da AR que funciona em cenários reais ampliando informações por meio de elementos virtuais, a realidade virtual proporciona aos usuários interação apenas com elementos virtuais (ROLDÁN *et al.*, 2019).

A interface de usuário AR permite a comunicação bidirecional, pois a informação pode partir do sistema para o usuário, mas também por um feedback do usuário (MASOOD; EDDER, 2019). Ao utilizar AR nos processos de fabricação novas possibilidades de interação homem-máquina são habilitadas. Três são os principais tópicos na utilização de AR na manufatura: montagem e manutenção assistidas por AR, monitoramento de processo habilitado para AR e simulação de usinagem baseada em AR. Na montagem e manutenção a AR auxilia com informações virtuais de componentes, instruções de montagem e informações de diagnósticos, assim, especialistas remotos podem colaborar com os operadores para melhorar o fluxo de trabalho e ao sobrepor contextualmente instruções de manutenção textuais e gráficas no cenário de manutenção (LIU *et al.*, 2017).

A AR pode ser utilizada no treinamento de funcionários, os quais aprendem a manusear máquinas em um ambiente seguro e virtualizado antes de iniciar no chão de fábrica. Os operadores dependem de informações em tempo real, a AR pode ser usada para exibir intuitivamente essas informações no local (MASOOD; EDDER, 2019). Outra função da AR é na manutenção, mostrando dicas de ferramentas, manuais e outras informações dentro do campo de vista do funcionário; além de permitir que técnicos sejam capazes de visualizar dentro das máquinas antes de abri-las, portanto sabem o local que necessita reparos antes mesmo de iniciá-los (IMMERMAN, 2020a).

### **2.3.12. Simulação**

A manufatura virtual representa o uso de computadores para modelar, simular e otimizar operações e objetos em uma fábrica, as principais tecnologias utilizadas são CAD, simulação 3D, modelagem de software, realidade virtual, prototipagem

rápida e redes de alta velocidade. Operações, manutenção, treinamento, controle de qualidade, gerenciamento de segurança, design e logística são cenários de uso potenciais para essa abordagem (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

A simulação computacional é uma ferramenta indispensável para a manufatura digital, pois imita a operação de um sistema ou processo real, assim consegue lidar com a complexidade dos sistemas e permite experimentos para validação de projetos, alterar produtos, processos e sistemas. Na manufatura o planejamento e programação das operações, controle, manutenção e tomada de decisões são executadas através de simulações pois otimiza decisões em ambientes dinâmicos e incertos (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

### **2.3.13. Integração de sistemas**

Os fluxos de tecnologia são cruciais para a Indústria 4.0, e a conexão de tecnologias digitais e operações e tecnologias de fabricação permitem a integração vertical de sistemas intraorganizacionais e integração horizontal de sistemas Inter organizacionais via IoT, os dados em nuvem e serviços de computação e soluções de ponta a ponta nas redes de valor (NG *et al.*, 2022). Assim o compartilhamento de dados em tempo real é proporcionado por essas duas integrações (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

A digitalização da cadeia de valor horizontal permite integrar e otimizar o fluxo de informações e mercadoria do cliente a partir da empresa para o fornecedor, ou vice-versa, ou seja, uma aproximação entre empresas. Ao utilizar a integração horizontal deve-se ter um controle proativo dos departamentos da empresa, como compras, manufatura e logística; e incluir os parceiros externos para atender os requisitos do cliente (GEISSBAUER *et al.*, 2014). Assim, a integração horizontal é a base para uma colaboração próxima de alto nível entre empresas, responsável por enriquecer o ciclo de vida do produto, ao criar novos modelos de valor agregado (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). É uma colaboração inter corporações que agrega valor a toda cadeia para um ecossistema com compartilhamento de informações, finanças e material, pois uma empresa deve cooperar e competir com outras relacionadas ao seu mercado (WANG *et al.*, 2016).

A digitalização vertical, por outro lado, é a garantia do fluxo consistente de informações e dados, desde vendas, desenvolvimento, até manufatura e logística



dentro de uma única empresa. A integração vertical permite a flexibilidade e qualidade, prevenção de falhas, redução de custos na fabricação e melhorar as habilidades analíticas (GEISSBAUER *et al.*, 2014). Essa integração aumenta a comunicação e troca de informações entre diferentes níveis de hierarquia da empresa, na forma digitalizada esses dados estão disponíveis em tempo real, com foco em arquiteturas distribuídas e colaborativas (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). Assim, possibilita sistemas de manufatura flexíveis e reconfiguráveis através de sistemas físicos e informacionais como sensores, atuadores, gerenciamento de produção, manufatura e gestão corporativa (WANG *et al.*, 2016).

A integração horizontal e vertical do sistema é caracterizada pela conectividade e a visibilidade. Assim, dentro de uma organização ou fora dela com parceiros do setor. Máquinas e empresas estão constantemente se comunicando e compartilhando dados, proporcionando análises mais profundas, maior transparência e maior eficiência. Uma empresa com várias instalações de produção, a integração horizontal auxilia no compartilhamento contínuo de problemas de dados, como níveis de estoque e atrasos. Já a integração vertical na fabricação pode incluir o fim de setores isolados para que toda a organização funcione como uma unidade; desde pesquisa e desenvolvimento a compras, fabricação e vendas (IMMERMAN, 2020a).

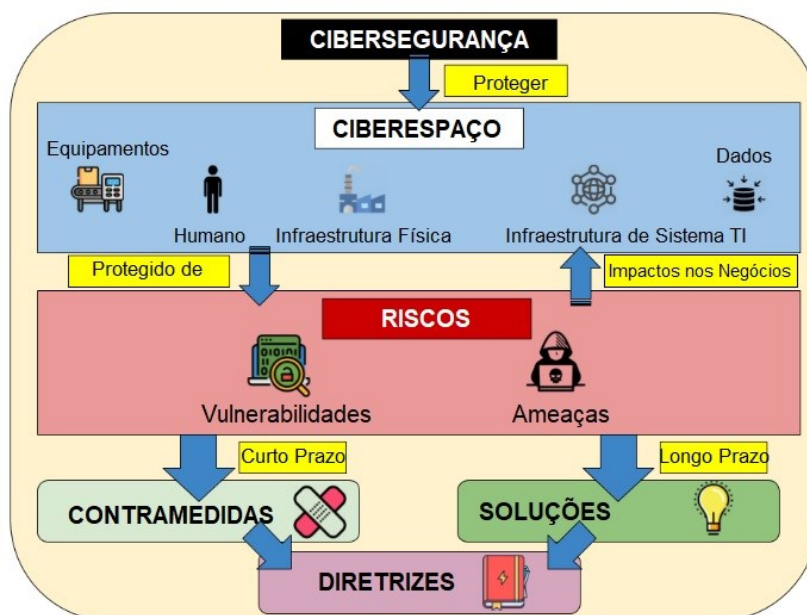
#### **2.3.14. Segurança**

A IoT, ambientes virtuais, acessos remotos, dados em nuvens são alguns exemplos de ambientes com abrem caminho para o comprometimento das informações (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). A Indústria 4.0 depende de sistemas e tecnologias de informação, em decorrência disso a segurança cibernética, cybersecurity, deve ser uma prioridade, pois as empresas lidam com informações confidenciais, dados de clientes para desenvolver produtos inteligentes e criar valor, o que necessita de acesso seguro, tecnologias confiáveis e proteção de dados. Porém, com a complexidade das questões relacionadas, muitas vezes há uma confusão sobre as ações necessárias (MULLET; SONDI; RAMAT, 2021).

O ciberespaço representa o perímetro global coberto pela cybersecurity, dentro dele todos os atores que possuem alguma interação com o sistema são encontrados, como: equipamentos, seres humanos, infraestruturas físicas e de TI, e os dados gerados por esses atores (Figura 11). Como o ciberespaço não se restringe

ao mundo virtual, ele deve ser protegido dos riscos de vulnerabilidade intrínsecas ou ataques cibernéticos, pois ao não ser capaz de proteger seus atores, as consequências podem ocorrer em ambos os mundos. Para proteção dos riscos, a cybersecurity apresenta dois tipos de proteção: contramedidas que são dedicadas ao uso imediato e de curto prazo e soluções de prevenção e proteção de longo prazo - a partir delas é possível estabelecer diretrizes para uma solução de segurança cibernética eficiente (MULLET; SONDI; RAMAT, 2021).

Figura 11 - Cibersegurança em uma fábrica.



Fonte: Adaptado de Mullet, Sondi e Ramat (2021).

Os ataques cibernéticos podem ter origem interna ou externa na companhia e os impactos envolvem: atrasar o lançamento de um produto, causar a modificação na produção de produtos, quebrar a confiança do cliente ou aumentar os custos de garantia (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). Por consequência, a gestão de cybersecurity engloba áreas de: tecnologia, recursos humanos e funcionários devido a negligência de funcionários, comportamento malicioso ou falha de processos; parceiros diretos, clientes e stakeholders externos (MULLET; SONDI; RAMAT, 2021).

Na Indústria 4.0 os sistemas, em relação a cibersegurança, estão suscetíveis a: vulnerabilidade nos procedimentos de segurança ou nos controles internos, são pontos fracos classificados em três categorias de vulnerabilidade: no acesso remoto, de software e de rede local ou sem fio; ameaças: acessos de dados não autorizado,

destruição divulgação ou modificação de informações, como softwares maliciosos, ataques diretos a acessos externos ou indiretos por um provedor de serviço; e riscos são impactos potenciais de uma ameaça e a possibilidade de ocorrência, são divididos em disponibilidade que incapacita o sistema de realizar suas tarefas habituais; de integridade que alteram os protocolos de comunicação industrial ou o tráfego de rede; de confidencialidade, onde dados são roubados por espionagem cibernética; e de autenticação: aproveita-se de falhas de design ou vulnerabilidades de softwares para aumentar privilégios e obter acesso a recursos protegidos (MULLET; SONDI; RAMAT, 2021).

A tecnologia de cybersecurity é qualquer coisa que proteja seus sistemas digitais de ataque internos e externos, pois com sistemas digitalizados e inteligentes as fábricas ficam expostas a ameaças como a de propriedade intelectual roubada, equipamentos de fabricação comandados para prejudicar a qualidade dos produtos, ransomware e roubo de identidade (IMMERMAN, 2020a). Por isso, nos sistemas são necessários controle de acesso de acordo com as informações trocadas, pela sensibilidade dos dados compartilhados em um ambiente de trabalho, monitoramento para notificação aos usuários caso haja violação de segurança ou ataque ao sistema, e acesso à rede, como reforçar a segurança (MULLET; SONDI; RAMAT, 2021).

De fato, a segurança das informações e dos dados é importante para o sucesso da indústria, fornecer as informações disponíveis apenas para as pessoas autorizadas e a manufatura inteligente deve, preferencialmente, ser composta de sistemas que detectam automaticamente ameaças e malware (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). A cybersecurity envolve tecnologias como blockchain ou inteligência artificial e podem proteger novas tecnologias, como os dispositivos IIoT (IMMERMAN, 2020a).

#### 2.3.14.1. Blockchain

Ao utilizar as tecnologias de blockchain com a IoT garante-se a aquisição de dados verificados, o armazenamento de dados à prova de adulteração, a invariabilidade de registros compartilhados, análise de dados e comunicação de informações em tempo real. Os benefícios do blockchain englobam: aquisição precisa de informações, remoção de intermediações desnecessárias, construção de um

ambiente confiável, transações mais rápidas e seguras com fornecedores e gerenciamento de dados críticos ao longo da vida útil do produto (REDDY *et al.*, 2021).

Na manutenção preventiva a transparência entre OEM e fornecedores das máquinas e ferramentas auxilia nas negociações, já que os dados estão armazenados no Blockchain (REDDY *et al.*, 2021).

### **2.3.15. Edge computing**

As demandas das operações de produção em tempo real significam que algumas análises de dados devem ser feitas em sua origem, para minimizar o tempo de latência entre geração e a resposta necessária (IBM, 2022). A utilização de Edge Computing permite maior poder de armazenamento e processamento de diversos dispositivos IoT, distribuindo recursos de computação e diminuindo a carga de trabalho na nuvem (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018).

Para a indústria, o edge computing processa e analisa dados perto de uma máquina que precisa de ações rápidas de resposta sobre os dados gerados de maneira sensível ao tempo. Ou seja, para tomadas de decisões que necessitam extrema rapidez o edge computing remove o tempo dos dados se deslocarem até a nuvem serem processados e voltarem para o edge computing, pois o processo é suscetível a atrasos devido ao tamanho dos dados e a banda de comunicação, assim, o edge computing pode processar os dados diretamente no “edge” - borda - da máquina, para responder com maior rapidez e eficácia (IMMERMAN, 2020b). O uso do Edge Computing significa que os dados permanecem próximos de sua origem, reduzindo os riscos de segurança (IBM, 2022).

Enquanto a computação em nuvem agrega dados em um local centralizado que não precisa ser acionado em tempo hábil, edge computing processa e age em dados sensíveis ao tempo. Em uma infraestrutura IIoT completa, os fabricantes podem usar o edge computing para coleta de dados em tempo real, análise preditiva e tomada de decisão autônoma, e a nuvem para análise de dados agregados, benchmarking e análise de tendências (IMMERMAN, 2018).

Portanto, no edge computing dados de máquina de alta frequência são analisados por seus dispositivos para obter insights em tempo real, com respostas imediatas, como desligar uma máquina com um risco de segurança detectado - com velocidade e precisão. Já a computação em nuvem lida com os fluxos completos de

dados muito robustos para o edge computing trabalhar, permitindo armazenamento, análise e insights mais profundos que podem ser repassados para o sistema de fabricação, que podem passar pelo edge computing para gerar respostas (IMMERMAN, 2018).

## 2.4. IMPLEMENTAÇÃO DAS FÁBRICAS INTELIGENTES

O sucesso do processo de transformação da fabricação requer a implementação de diversas tecnologias para se tornar uma Fábrica Inteligente, essas devem ser implementadas de forma escalável, preferencialmente partindo de onde os maiores benefícios possam ser obtidos. Assim, uma transformação digital bem-sucedida está relacionada com a capacidade de uma empresa em aplicar as mudanças necessárias para a digitalização, porém, antes de investir é imprescindível entender o estado atual e as necessidades da companhia perante as tecnologias, para então, elaborar um roteiro de implementação da Indústria 4.0 (DE CAROLIS *et al.*, 2017).

Um estudo de Sjödin *et al.* (2018) aponta que com uma fábrica inteligente busca-se um sistema de manufatura conectado e flexível com um fluxo contínuo de dados de operações e sistemas de produção conectados para aprender e se adaptar as demandas. Porém a maioria das empresas não sabem as capacidades necessárias para apoiar uma implementação de fábrica inteligente bem-sucedida e não tem o conhecimento sobre os principais desafios, para isso, os autores realizaram uma pesquisa para identificá-los, e posteriormente os dividiram em três categorias: desafios de pessoas pela falta de visão comum e compreensão da implementação da Fábrica Inteligente, necessidade do desenvolvimento de capacidades e o sentimento de ameaça percebida às competências para as novas tecnologias; o desafios de tecnologia está relacionado a dificuldade de avaliar os benefícios, criando incerteza sobre a necessidade das tecnologias, capacitação e o custo da implementação; e desafios de processo associado as dificuldades em mudar rotinas tradicionais e processos de trabalho para efetivar a transformação digital.

Diante desses desafios Sjödin *et al.* (2018) elaboraram três princípios para a implementação bem estruturada das Fábricas Inteligentes: cultivar pessoas digitais, ou seja, desenvolver os funcionários com habilidades digitais e recrutar e capacitar pessoas com competências digitais, e assim, permitir que os funcionários lidem com

o rápido avanço tecnológico e a inércia organizacional. Introduzir processos ágeis para alavancar o desenvolvimento tecnológico, de maneira a criar um ciclo de avaliação para a melhoria contínua dos processos de produção diante das demandas em constante mudança, ao incorporar elementos ágeis tem-se a flexibilidade para redirecionar o esforço à medida que surgem novas tecnologias e oportunidades. Configurar a tecnologia modular para gerenciar a complexidade dos sistemas digitais, ao dividir as soluções das tecnologias em módulos e entregar cada um passo a passo, minimiza-se a sobrecarga ao construir as bases e a infraestrutura de uma arquitetura e reduz o bloqueio a tecnologias específicas.

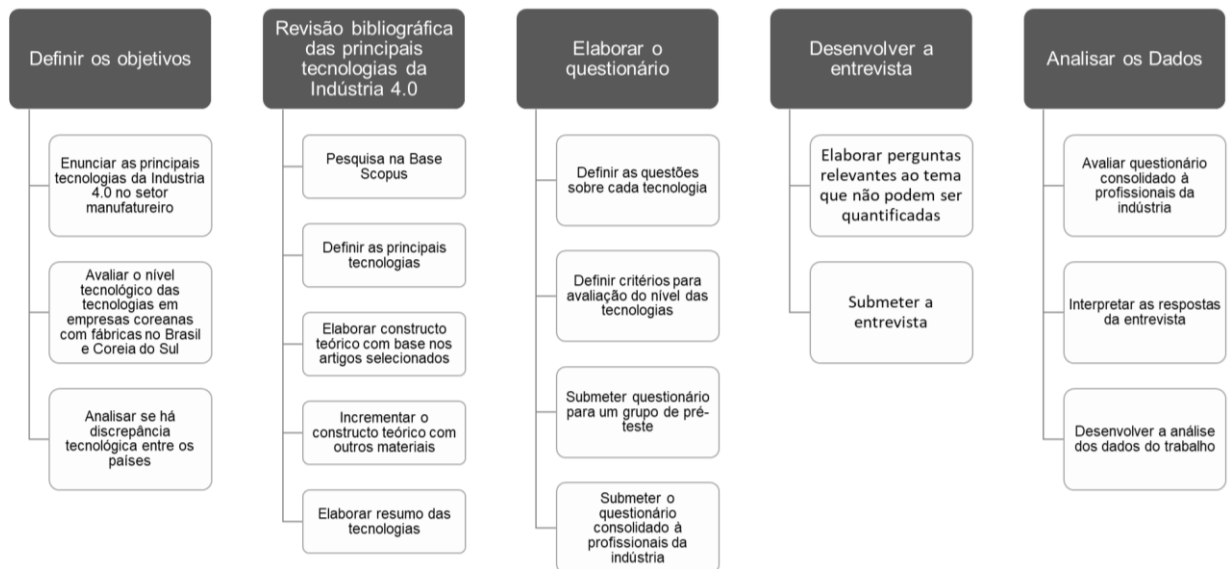
Sufian *et al.* (2019) elaboraram um roteiro de seis estágios para a implementação da transformação em uma Fábrica Inteligente em um processo gradual e com base em recursos digitais iniciais. Inicialmente deve-se construir uma estratégia para orientar o que a empresa deseja alcançar com objetivos alinhados com o modelo de negócios e priorizar as áreas com maior retorno sobre o investimento. O segundo estágio envolve a conectividade, é necessário construir capacidade e rede de infraestrutura de TI para expandir o volume de dados gerados e comunicados; desenvolver um gateway IIoT ao combinar hardware, software e tecnologias de comunicação e rede para, em conjunto, permitir a comunicação entre entidades físicas e plataformas digitais; implementar uma arquitetura de referência para a conectividade IIoT em aplicações industriais para facilitar a interoperabilidade; e uma estratégia de cibersegurança para lidar com as ameaças e manter a integridade dos dados. Com a infraestrutura de TI, a arquitetura de conectividade IIoT e as estratégias de Cibersegurança definidas, os dados podem ser coletados das entidades físicas no chão de fábrica para serem monitorados em tempo real.

O terceiro estágio de implementação de Sufian *et al.* (2019) é a integração de sistemas com ERP e outras plataformas como o MES. O quarto estágio envolve análises de dados em tempo real, o que requer uma grande quantidade de dados, os quais são associados ao Big Data e a análise dessas informações para criar valor a fabricação e permite a resolução de problemas. O quinto estágio está relacionado com a inteligência artificial para aprimorar as máquinas e pessoas com capacidades digitais, como a manutenção preditiva, incrementar o Digital Twin, implementação de tarefas autônomas, a partir de regras e métodos. E por fim a escalabilidade do uso das tecnologias, incrementando os passos anteriores, inserindo novas tecnologias e expandindo a integração, como a cadeia de suprimentos.

### 3. METODOLOGIA

O objetivo do presente trabalho é enunciar as principais tecnologias da Indústria 4.0 no contexto de Fábricas Inteligentes, no setor manufatureiro, com destaque no setor automotivo, e analisar o nível tecnológico dessas tecnologias em empresas coreanas e suas fábricas instaladas no Brasil e na Coreia do Sul, o fluxo desenvolvido na pesquisa é apresentado na Figura 12. Para isso, realizou-se em três estágios a construção da metodologia:

Figura 12 - Fluxo do trabalho.



Fonte: A autora (2022).

1. Revisão bibliográfica: elaborada para enunciar as principais tecnologias da Indústria 4.0 relacionadas a Smart Factory, seção 2.3, no formato exploratório;
2. Questionário: desenvolvido no modelo survey exploratória, predominantemente qualitativa e descritiva para avaliar o nível tecnológico de cada uma das tecnologias apresentadas no Revisão Bibliográfica;
3. Entrevista: preparada para entender a percepção de gestores sobre os principais desafios da Indústria 4.0, avaliar as Smart Factories no Brasil

e na Coreia do Sul para o comportamento e possíveis diferenças entre os países.

Inicialmente uma pesquisa bibliográfica sobre Indústria 4.0 nas Smart Factories, a qual representa o primeiro passo para saber em que estado se encontra o tema da pesquisa, quais trabalhos já foram realizados e quais são os conceitos e tecnologias principais sobre o assunto. Com isso, estabelece-se um modelo teórico de referência, da mesma forma que auxiliará na determinação das variáveis e elaboração do questionário e entrevista.

O caráter exploratório do trabalho deve-se a suas investigações de pesquisa empírica com o objetivo de formular um problema e aumentar a familiaridade da autora e clarificar conceitos da Indústria 4.0. Empregam-se geralmente procedimentos sistemáticos para a obtenção de observações empíricas ou para as análises de dados. A coleta de dados é comum a partir de entrevistas ou na busca por elaborar um instrumento, como uma escala de opinião, cogitado em um estudo descritivo, a partir de um estudo exploratório, para encontrar os elemento e população para obter os resultados desejados (TRIVIÑOS, 2008; MARCONI; LAKATOS, 2013).

A natureza quantitativa-descritiva representa a análise das características de fatos com métodos formais, próximos a projetos experimentais, a coleta sistemática de dados sobre populações, como técnicas como entrevistas e questionários, os quais são artifícios quantitativos. Assim, os estudos de verificação de hipótese são quantitativo-descritivos que contêm hipóteses explícitas que devem ser verificadas. Os aspectos qualitativos são coletados por opiniões, por exemplo, e empregam escalas que permitem a quantificação das respostas; com aspectos descritivos para fornecer certo grau de validade científica com o fundamento concreto necessário (TRIVIÑOS, 2008; MARCONI; LAKATOS, 2013).

O presente trabalho baseia-se nos conceitos da Indústria 4.0 para analisar características, componentes, dimensões e níveis tecnológicos. Assim delimita-se ao estudo do setor industrial e especificamente as indústrias coreanas que apresentam fábricas no Brasil que já estão inseridas neste contexto. Faz-se importante frisar que o trabalho não pretende esgotar o tema, mas desenvolver um modelo para avaliar o nível tecnológico e compreender as diferenças entre os países.



### 3.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica exploratória recolhe informações sobre os tópicos abordados com dados atuais e relevantes, os quais fornecem suporte à investigação da autora. Para identificar as tecnologias apresentadas na Seção 2.3, uma revisão bibliográfica exploratória foi realizada a partir, majoritariamente, da base de dados científica Scopus para identificar os conceitos e tecnologias da Indústria 4.0. A pesquisa do tema ocorreu em quatro etapas:

1. Pesquisar o conceito e tecnologias abordadas na Indústria 4.0 no setor manufatureiro - Smart Factory,) pesquisou-se em título, resumo e palavras-chave limitado a acesso gratuito a chave ((*"manufacturing"* OR *"technologies"*) AND (*"industry 4.0"* OR *"industrie 4.0"* OR *"smart factory"* OR *"fourth industrial revolution"* OR *"smart manufacturing"*)). A busca retornou quase oito mil documentos que foram ordenados em número de citações, os 300 primeiros leu-se o resumo e introdução e os mais relevantes, por interpretação da autora, foram escolhidos para o referencial teórico. Do total da busca 36 (0,5%) artigos foram utilizados no trabalho;
2. Para investigar as tecnologias e ressaltar a indústria automotiva utilizou (*"automaker"* OR *"automotive"* OR *"auto industry"*) AND (*"industry 4.0"* OR *"smart factory"* OR *"fourth industrial revolution"* OR *"smart manufacturing"*). Pesquisou-se em título, resumo e palavras-chave limitado a acesso gratuito a chave, a busca retornou 342 documentos, dos quais 3 foram utilizados;
3. Para melhor definir as tecnologias levantadas na Seção 2.3, e complementar o conhecimento adquirido das tecnologias da Indústria 4.0 coletadas na primeira etapa, buscou-se, individualmente na base, no título, as possíveis nomenclaturas para o recurso buscado, como exemplo a IoT (*"internet of things"* OR *"IoT"* OR *"IloT"* OR *"industrial internet of things"*), juntamente com a chave de título, resumo e palavras-chave: ((*"manufacturing"* OR *"shop?floor"*) AND (*"industry 4.0"* OR *"industrie 4.0"* OR *"smart factory"* OR *"fourth industrial revolution"* OR *"smart manufacturing"*)), limitado a acesso gratuito. Diante dos resultados foi-se ordenado primeiro por número de citações,

- os 50 primeiros títulos foram lidos e os pertinentes selecionados. Uma segunda análise para entender novas perspectivas das tecnologias foi ordenada dos mais novos para os mais antigos, novamente os 50 primeiros tiveram os títulos lidos e os relevantes ao trabalho escolhidos;
4. Com os principais conceitos e as principais tecnologias para o setor definidos, para exemplificações das tecnologias na indústria automotiva, pesquisou-se o nome da tecnologia e automotivo em sites referência de dados estatísticos utilizados nos artigos abordados no texto, como Deloitte, McKinsey & Company e Capgemini.

Os termos *industry 4.0*, *industrie 4.0*, *smart factory*, *fourth industrial revolution* e *smart manufacturing* representam, em essência, a mesma coisa, porém para coletar artigos com autores de diferentes países, optou-se por ampliar os termos abordados, por exemplo, autores sul-coreanos utilizam mais *fourth industrial revolution*, pois segundo Sung (2018), é um termo mais atraente, familiar e chama mais atenção dos líderes da indústria e do público do que Indústria 4.0 – o qual é mais difundido na Europa e no Brasil.

Alguns autores utilizados neste trabalho foram encontrados a partir da leitura dos artigos, encontrados nas etapas de pesquisa no base Scopus, que a citação ou referência fez-se destaque a autora, quem buscou o caminho para os artigos citados, como o caso de: Lee e Lee (2015), Wang; Törngren e Onori (2015), Cheng *et al.* (2016), Ahuett-Garza e Kurfess (2018), Tao e Qi (2019), Ortiz, Marroquin e Cifuentes (2020) e Oztemel e Gursev, (2020).

Com a leitura dos artigos selecionados para o trabalho após a primeira e segunda etapas, para atingir os objetivos da Smart Factory as principais tecnologias da Indústria 4.0 foram listadas. O Quadro 3 foi elaborado com base o artigo de Pacchini *et al.* (2019), os quais utilizaram a classificação ABC para compilar as tecnologias habilitadoras das Fábricas Inteligentes e apresenta quais autores as citaram em seus textos.

Quadro 3 - Levantamento das tecnologias mais citadas.

AUTOR	TECNOLOGIAS																					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
Ahuett-Garza e Kurfess (2018)	X	X		X	X			X					X				X					
Alcácer e Cruz-Machado (2019)	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X		X								
Bai <i>et al.</i> (2020)	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X			X	X							
Büchi, Cugno e Castagnoli (2020)	X	X	X		X		X			X		X										
Chen <i>et al.</i> (2018)	X	X	X	X																		
Cheng <i>et al.</i> (2016)	X	X	X		X	X				X						X						X
He e Bai (2021)	X		X	X									X									
Javaid <i>et al.</i> (2021b)	X				X	X	X	X	X							X	X		X	X		
Kim e Park (2017)	X			X																		
Ng <i>et al.</i> (2022)	X	X	X	X	X	X							X		X							
Ortiz, Marroquin e Cifuentes (2020)	X	X	X		X	X	X			X				X					X			
Oztemel e Gursev (2020)	X	X	X	X			X	X	X													
Pacchini <i>et al.</i> (2019)	X	X	X	X	X	X	X														X	
Papulová, Gazová e Šufliarsk (2022)	X	X	X		X	X					X											
Pereira e Romero (2017)	X	X	X	X			X	X									X					
Polivka e Dvorakova (2021)		X	X	X	X		X				X	X		X								X
Prisecaru (2016)				X		X		X	X													
Qi e Tao (2018)	X	X	X	X		X			X				X									
Reddy <i>et al.</i> (2021)	X	X			X			X	X						X					X		
Rojko (2017)	X	X	X	X																		
Thoben, Wiesner e Wuest (2017)	X												X									
Vaidya, Ambad e Bhosle (2018)	X	X	X	X	X		X				X	X									X	
Wang <i>et al.</i> (2016)	X	X	X	X		X			X			X										
Xu, David e Kim (2018)	X				X	X		X		X												
Zhong <i>et al.</i> (2017)	X		X	X		X			X				X									
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

(A) IoT/IIoT; (B) BD e Analytics; (C) Computação em nuvem; (D) CPS/CPSS; (E) Manufatura aditiva; (F) AI; (G) AR; (H) Robótica; (I) Sensores; (J) Cibersegurança; (K) Simulação; (L) Integração de sistemas; (M) DT; (N) Robôs colaborativos; (O) Blockchain; (P) Realidade Virtual; (Q) Machine learning; (R) 5G; (S) Edge Computing; (T) Robôs autônomos; (U) Robôs Industriais; (V) TI.

Fonte: A autora (2022).

A partir do Quadro 3 observa-se que não existe uma definição fixa para quais são as tecnologias da Indústria 4.0 devido a Quarta Revolução Industrial estar em estágio de amadurecimento (POLIVKA; DVORAKOVA, 2021), portanto fica critério do autor abordar em relação ao estudo que está elaborando. Assim, optou-se por abordar todas as tecnologias, algumas dando mais destaque do que outras pela relevância da tecnologia, outras estão inseridas dentro de outro tópico decorrente da similaridade, como robótica, robôs colaborativos, robôs autônomos e robôs industriais. A partir da elaboração desse quadro, iniciou-se a terceira etapa da pesquisa, que consistiu em aprofundar as tecnologias listadas e por fim agregar informações do setor automotivo com a última etapa.

Após finalizar as pesquisas, para o presente trabalho, algumas tecnologias não estão separadas conforme o Quadro 3. Por exemplo, robótica, robôs

colaborativos, robôs autônomos e robôs industriais apresentam algumas características diferentes, mas fazem parte de um mesmo escopo, então foram agrupadas em uma seção denominada robôs e robótica. O Apêndice A foi elaborado a partir das tecnologias apresentadas na seção 2.3, o qual mostra o resumo das tecnologias descritas no trabalho e foram utilizadas para elaboração do questionário.

### 3.2. QUESTIONÁRIO

Com base no conjunto de tecnologias habilitadoras evidenciadas para o referencial teórico cabe analisar como a indústria é afetada diante a cada uma. Para isso, nesta seção, foram estabelecidos critérios quantitativos com o objetivo de avaliar o nível de maturidade, conforme um questionário, com perguntas de cada tecnologia no setor manufatureiro de empresas instaladas no Brasil e na Coreia do Sul.

Questionário é uma maneira de coleta de dados que permite englobar um maior número de pessoas e área geográfica, constituído por perguntas ordenadas e respondidas sem a presença do entrevistador. A elaboração requer cuidado na seleção das questões em relação a importância, condições para obtenção de informações e estar de acordo com os objetivos da pesquisa (MARCONI; LAKATOS, 2013).

O primeiro passo para estabelecer uma abordagem para avaliar o nível tecnológico do setor manufatureiro referente às tecnologias da Indústria 4.0 envolve a identificação das tecnologias que a capacitam (PACCHINI *et al.*, 2019). Para identificá-las, a revisão bibliográfica foi realizada (seção 3.1) e a descrição das tecnologias apresentadas na seção 2.3. Posteriormente, para avaliar o nível tecnológico das tecnologias da Smart Factory, foi elaborado um questionário para traduzir conceitos complexos da Indústria 4.0 para uma avaliação prática de suas utilizações. Realizou-se um levantamento do tipo survey, a qual caracteriza a investigação de um problema a fim de extrair conclusões sobre uma amostra.

Os survey exploratória tem como objetivo contribuir para o conhecimento de uma área particular através da coleta de informações em estágios iniciais de uma pesquisa, obtendo-se uma visão inicial e geral sobre o tema (CAUCHICK-MIGUEL *et al.*, 2018). Pela coleta dos dados é possível extrair conclusões sobre o fenômeno investigado. No caso deste trabalho, sobre o ambiente que os indivíduos fazem parte, ou seja, das fábricas coreanas pela visão de pessoas inseridas nesse contexto.

Nas pesquisas de como elaborar a avaliação do nível das tecnologias das fábricas para o questionário identificou-se os modelos de maturidade: ferramentas com uma estrutura conceitual composta por partes que definem a maturidade de uma determinada área de estudo (SANTOS; MARTINHO, 2020). São utilizados para medir, comparar, descrever ou determinar um roteiro ou um caminho estruturado com elementos para melhoria qualitativa dos processos; pois comparam o nível de uma organização em relação ao processo analisado, logo, esses modelos são altamente utilizados por empresas para avaliar as tecnologias da Indústria 4.0 para identificar pontos fortes e fracos (FACCHINI; DIGIESI; PINTO, 2022).

Os modelos abordam diferentes áreas estruturais da empresa, como: produtos, instalações, processos, gestão, mão de obra, cultura organizacional e recursos tecnológicos; as dimensões, que são descritas por capacidades de transformação, para então avaliar o grau da implementação em cada dimensão - assim, não abordam apenas aspectos tecnológicos, mas os organizacionais também (SANTOS; MARTINHO, 2020). Diante disso, para manter-se nos objetivos do presente trabalho o modelo de maturidade abrange um escopo maior do que o delimitado, porém as questões que abordam a área das tecnologias são estruturadas de maneira a avaliar o nível tecnológico – essas são pertinentes ao trabalho.

Venturelli (2020) afirma que a maturidade é atrelada a uma metodologia, onde é possível quantificar e qualificar o status atual de uma tecnologia, gestão e conhecimentos, de forma a mostrar a aderência de uso. Portanto, foi realizada uma pesquisa na *Base Digital Brasileira de Teses e Dissertações* com as palavras-chave: *Indústria 4.0* e *maturidade* para encontrar referências para elaborar o questionário a partir dos modelos de maturidade. Esse é utilizado para coletar dados com conceitos e critérios claros e assertivos para avaliação com uma faixa de medição e como medir. Os autores referenciados no texto são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Autores e as tecnologias abordada das dissertações de maturidade.

AUTOR	TECNOLOGIAS															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Basseto (2019)				X	X	X		X		X	X	X	X	X		
Oliveira Júnior (2018)	X	X		X				X	X				X	X		
Santos e Martinho (2020)	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X		
Schneider (2018)	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X		
Storolli (2020)	X	X		X	X			X	X	X	X			X		
<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

(A) IoT/IIoT; (B) CPS/CPSS; (C) DT; (D) Computação em nuvem; (E) BD e Analytics; (F) AI; (G) Machine learning; (H) Sensores e RFID; (I) Robôs e robótica; (J) Manufatura Aditiva; (K) AR; (L) Simulação; (M) Integração de sistemas; (N) Segurança; (O) 5G; (P) Edge Computing

Fonte: A autora (2022).

A partir da pesquisa, escolheu-se as dissertações de Oliveira Júnior (2018), Schneider (2018), Basseto (2019), Santos e Martinho (2020) e Storolli (2020) como base para elaboração das perguntas do questionário. Como os autores abordam o nível de maturidade, os quais abrangem pilares como liderança, produtos, cultura e governança da Indústria 4.0, porém o único avaliado no presente trabalho é o de tecnologias, deste pilar as questões abordadas por esses autores estão, em geral, de acordo com as tecnologias apresentadas na seção 2.3, apenas o 5G e o edge computing não foram exibidos por nenhum dos autores, Quadro 4.

Diante dos questionários elaborados pelos autores apresentados a autora compilou as perguntas e as agrupou em questões relacionadas a mesma tecnologia, para então, baseada no levantamento realizado, desenvolver uma de acordo com o tema do trabalho. O Quadro 5, por exemplo, apresenta algumas perguntas apresentadas pelos autores sobre os CPSS.

Quadro 5 - Perguntas das referências em relação aos CPSS.

AUTOR	PERGUNTAS RELACIONADAS AO CPSS
Santos e Martinho (2020)	A empresa possui os principais processos de negócios digitalizados com sistemas integrados de informação e comunicação?
Storolli (2020)	Sua empresa utiliza o CPS, através do uso de ferramenta ou sistema do tipo Product Data Management, ou similar, permitindo o armazenamento e controle de arquivos, estruturação e visualização do produto e suas partes, gerenciamento dos dados de projeto do produto em CAD/CAE/CAM, e fornecendo dados para o fluxo de informações em Tempo Real e integrado em toda a organização?
Oliveira Júnior (2018)	Até que ponto o processo produtivo é digitalizado (por exemplo, RFID para identificação, sensores, conexão IoT, produtos inteligentes, etc.)?
Oliveira Júnior (2018)	Quão avançada é a digitalização dos equipamentos de produção de sua empresa (sensores, conexão IoT, monitoramento digital, controle, otimização e automação)?

Fonte: A autora (2022).

A partir das perguntas do Quadro 5 a autora elaborou uma das perguntas relacionadas aos CPPS: “Qual o nível de digitalização dos equipamentos e processos produtivos de sua empresa?” Para avaliar os níveis, perguntas de múltipla escolha, com 7 opções de resposta cada, são apresentados.

Para as opções de múltipla escolha, foram utilizadas perguntas de avaliação, as quais emitem um julgamento de acordo com uma escala ou vários graus de intensidade para um mesmo item (MARCONI; LAKATOS, 2013). Assim, os níveis apresentados foram elaborados de acordo com os autores: Oliveira Júnior (2018), Schneider (2018) e Basseto (2019). Para a quantidade de opções de respostas foi definida a escala Likert de 7 pontos, Quadro 6.

Quadro 6 - Níveis das questões de múltipla escolha.

<b>NÍVEL</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>
<b>X</b>	Não sei responder
<b>0</b>	Inexistente
<b>1</b>	Inicial: baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos
<b>2</b>	Gerenciado: início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas
<b>3</b>	Estabelecido: operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos
<b>4</b>	Previsível: integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados
<b>5</b>	Otimizado: totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos

Fonte: Adaptado de Oliveira Júnior (2018); Schneider (2018); Basseto (2019).

No quadro Quadro 6, a pontuação X (X) corresponde a não saber responder, foi introduzida pela autora para reduzir a possibilidade de respostas discrepantes com a realidade. A pontuação zero (Nível 0) representa a inexistência da tecnologia, já a opção um (Nível 1) é a mínima definida para uma situação inicial de implementação da tecnologia abordada. Os níveis à medida que vão aumentando apresentam maior maturidade da tecnologia até a pontuação máxima de cinco (Nível 5), onde considera-se que a tecnologia está totalmente aderente a Indústria 4.0 na Smart Factory.

O Quadro 6 apresenta o modelo de avaliação mais generalizado, para questões que não necessitam de maiores definições para compreensão dos níveis. Para as perguntas das quais o modelo apresentado pode deixar dúvidas ao respondente foi elaborado, de acordo com os mesmos autores do Quadro 6, diante as especificidades de cada tecnologia.

### 3.2.1. Estrutura do questionário

O questionário foi dividido em sete seções, a primeira apresenta as orientações do questionário, a segunda pede os dados do respondente para avaliar o grau de familiaridade e conhecimento sobre a Indústria 4.0. A terceira seção aborda perguntas sobre a empresa para classificá-la em setor industrial, posição da cadeia de valor e tamanho. A quarta seção apresenta uma introdução sobre os níveis das tecnologias e como estão divididas as questões e como funciona as opções de múltipla escolha, nessa seção também questiona sobre *qual a localização da fábrica em que responderá o questionário?*

Ao assinalar as opções Brasil ou Coreia do Sul o questionário segue para seção 5, onde cada pergunta demanda uma resposta; caso o respondente escolha responder sobre ambas, o questionário redireciona para seção 6 onde deve assinalar duas opções sobre a mesma questão, uma abordando o Brasil e a outra a Coreia do Sul - desde que tenha domínio sobre o nível tecnológico nos dois países. Portanto a quinta e a sexta seções apresentam perguntas de múltipla escolha para a avaliação do nível de cada tecnologia apresentada, ambas as seções abordam as mesmas perguntas, porém o formato das opções que o respondente terá acesso. Por final, a sétima seção questiona, de forma não obrigatórias, sobre a opinião do respondente sobre a Indústria 4.0.

As seções sobre as tecnologias são o enfoque do questionário, ao perguntar os níveis de cada uma das tecnologias apresentadas na fundamentação teórica, Seção 2.3. No total são 16 grupos de tecnologias e suas respectivas definições e 21 perguntas, nas quais, em alguns grupos, há mais de uma indagação. O Quadro 7 apresenta uma questão como exemplo.



Quadro 7 - Exemplo de uma questão de um grupo no questionário.

Nº	TÓPICO	QUESTÃO																					
1	Título da (s) tecnologia(s)	Digital Twin																					
2	Definição da(s) tecnologia(s)	O Digital Twin (DT) é a <b>reprodução digital em tempo real de entidades físicas</b> , com existência simultânea no ambiente virtual e físico, mapeia os objetos fielmente, além de poder otimizá-los com base em modelos <sup>10</sup> . O DT auxilia na manutenção preditiva, planejamento e controle da produção e no suporte a decisões.																					
3	Pergunta	Qual o nível que o Digital Twin possui nas instalações de fabricação e nos equipamentos que reproduzem virtualmente o mundo físico? Para reagir dinamicamente as mudanças na demanda.																					
4	Níveis	<p><b>X.</b> Não sei responder</p> <p><b>Nível 0.</b> Inexistente</p> <p><b>Nível 1.</b> O DT fornece modelo virtual com coleta de dados em tempo real sem o controle da parte física, apenas apresenta modelos 2D e 3D de alguns elementos da fábrica</p> <p><b>Nível 2.</b> O DT monitora condições atuais com modelos digitais e análise em tempo real, com decisões autônomas realizadas apenas para algumas funcionalidades do DT</p> <p><b>Nível 3.</b> Ativos e dados compartilhados em um formato padronizado; diagnóstico remoto são realizados, porém com autonomia limitada a determinadas condições</p> <p><b>Nível 4.</b> A representação virtual decide e controla diversos elementos físicos remotamente por integração e interação bidirecional de dados</p> <p><b>Nível 5.</b> Suporte inteligente à tomada de decisões por conta própria, convergência do virtual para física de equipamentos, linhas de produção com operação e manutenção autônomas e bidirecionais</p>																					
5	Múltipla escolha	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">X</th> <th style="text-align: center;">1</th> <th style="text-align: center;">2</th> <th style="text-align: center;">3</th> <th style="text-align: center;">4</th> <th style="text-align: center;">5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Brasil</td> <td style="text-align: center;">( )</td> <td style="text-align: center;">( )</td> <td style="text-align: center;">( )</td> <td style="text-align: center;">( )</td> <td style="text-align: center;">( )</td> <td style="text-align: center;">( )</td> </tr> <tr> <td>Coreia do Sul</td> <td style="text-align: center;">( )</td> <td style="text-align: center;">( )</td> <td style="text-align: center;">( )</td> <td style="text-align: center;">( )</td> <td style="text-align: center;">( )</td> <td style="text-align: center;">( )</td> </tr> </tbody> </table>		X	1	2	3	4	5	Brasil	( )	( )	( )	( )	( )	( )	Coreia do Sul	( )	( )	( )	( )	( )	( )
	X	1	2	3	4	5																	
Brasil	( )	( )	( )	( )	( )	( )																	
Coreia do Sul	( )	( )	( )	( )	( )	( )																	

Fonte: A autora (2022).

No Quadro 7 foram destacados 5 elementos: o primeiro é o título da tecnologia (1) que abordada uma tecnologia ou mais, como é o caso do grupo robôs que questiona sobre robôs autônomos, cobots e AGVs. A definição da tecnologia (2) apresenta resumidamente o grupo para o respondente ter clareza no escopo da tecnologia abordada; foi elaborado a partir do referencial teórico, com as referências apresentadas no questionário apresentadas por meio de um link ao finalizá-lo.

Em (3) tem-se a questão que o respondente terá que avaliar. Nos níveis (4) a estrutura de seta opções não muda e sempre com a mesma crescente, o que varia é a definição do nível de acordo com cada tecnologia para auxiliar na escolha. Por final (5), o campo disponível para ser respondido, como o Quadro 7 representa a questão sobre os dois países, duas respostas são requisitadas, cada linha representando um. Caso o grupo apresente mais de uma pergunta os tópicos 3-5 iriam aparecer para nova pergunta com outro questionamento (3) e definição da dos níveis (4); o tópico

(5) aparece igual ao apresentado questionando sobre ambos os países e os sete níveis. Por fim, caso a questão fosse da seção 5, onde apenas um país é abordado, os tópicos 4 e 5 se unem, pois apenas a opção de assinalar e ao lado a definição do nível aparecem.

### **3.2.2. Pré-teste e divulgação**

Para averiguar a validade o questionário proposto, um pré-teste foi realizado, o qual consiste em selecionar uma pequena parte da população para validar a subjetividade, formulação, linguagem, equívocos de definições e viabilidade, para então, reformular o questionário antes de sua aplicação final (MARCONI; LAKATOS, 2013). O pré-teste foi submetido à avaliação de um pequeno grupo amostral dentro da universidade e de alguns profissionais da indústria, com a finalidade de teste piloto e sua consolidação, o qual foi realizado com pessoas de estreito relacionamento acadêmico e pessoal.

Posteriormente as sugestões e recomendações foram analisadas e incorporadas, como a redução do número de questões e das definições de cada conceito abordado, para deixar um questionário mais enxuto. O questionário, ao ser muito longo, causa fadiga e desinteresse (MARCONI; LAKATOS, 2013).

Com a versão final do questionário validado para a divulgação, Apêndice B, foi compartilhado com funcionários com conhecimento em Indústria 4.0 de empresas coreanas instaladas no Brasil para avaliação do nível tecnológico de cada tecnologia. O questionário foi divulgado entre os dias 14 e 31 de outubro de 2022 com 25 profissionais - diretores e funcionários com experiência em Indústria 4.0 - de empresas do setor automotivo, eletrônico e semicondutores. O questionário foi realizado através de meio eletrônico, com convite por e-mail e preenchimento via internet pela ferramenta Google-Formulário.

### **3.3. ENTREVISTA**

A entrevista é um procedimento utilizado na investigação para a coleta de dados de um problema com oportunidade de obter dados relevantes que não estão em fontes como periódicos (MARCONI; LAKATOS, 2013). Ao aplicar uma entrevista semiestruturada, a qual parte de questionamentos que interessam à pesquisa,

apoiados em teorias e hipóteses, e são acompanhadas de um amplo campo de interrogativas, fruto de novas ideias que surgem à medida que se recebem as respostas do informante. Portanto o respondente mantém o seu pensamento e suas experiências dentro do foco principal colocado pelo investigador (TRIVIÑOS, 2008).

Para incrementar o trabalho, estruturou-se um questionário para complementar questões sobre o tema Indústria 4.0 em Smart Factories no Brasil e na Coreia do Sul, as quais não podem ser quantificadas por níveis. 10 questões foram desenvolvidas, a primeira pergunta sobre o currículo do entrevistado para saber a sua trajetória e conhecimento da indústria. Da segunda até a nona são questões para investigar exemplificações das tecnologias, qual a percepção sobre as mais relevantes, quais as maiores dificuldades na implementação da Indústria 4.0, investigar se há discrepância entre os dois países em tecnologias e, caso haja, um país mais tecnológico que o outro, quais lições ele pode ensinar ao outro desenvolver as Smart Factories. A última questão é aberta para a autora investigar algum tema que o entrevistado possa abordar que ela ache pertinente questionar.

## 4. ANÁLISE DE DADOS

Nesta seção os dados coletados e as respostas do questionário e da entrevista apresentados ao longo deste trabalho são apresentados e analisados e para complementar, devido a pouca aderência, acrescenta-se informações sobre o nível das tecnologias através de informações governamentais do Brasil e da Coreia do Sul para impulsionar as tecnologias e dados recentes que sustentam as respostas obtidas. Ao final da seção é realizada uma análise da Smart Factory em ambos os países.

### 4.1. APRESENTAÇÃO DOS DADOS

A aplicação do questionário, desenvolvido na seção 3.2, e sua totalidade no Apêndice B, foi divulgada para diretores de grandes empresas sul-coreanas dos setores eletrônico, microeletrônico e automotivo que apresentam fábricas no Brasil. O contato foi através do Presidente da Câmara do Comércio e Indústria Brasil Korea (CCIBK), Sr. Pablo Palhano. Uma outra abordagem adotada, na tentativa de conseguir mais respostas, foi procurar profissionais da área da Indústria 4.0 online, via LinkedIn.

Porém nenhuma das abordagens retornaram sucesso, um fator que o Sr. Pablo relatou à autora é que por questões culturais, os sul-coreanos não tem o costume de divulgar informações sobre a empresa, por isso, seria muito difícil conseguir respostas de profissionais na Coreia do Sul. Portanto, um pressuposto da autora é que os diretores que o Presidente contactou não responderam foi devido a essa característica estar intrínseco a cultura das empresas abordadas.

Diante dessa conjuntura uma nova estratégia foi desenvolvida de aplicar o questionário com o Sr. Pablo Palhano, que tem contato com a Coreia do Sul à 35 anos, dos quais, atuando a quase 20 na Câmara, e em 2022 assumiu a presidência atuando no Brasil e na Coreia do Sul, no escritório em Seul. A missão da CCIK envolve “Desenvolver a competitividade das empresas brasileiras, promovendo a internacionalização dos seus negócios e a atração de investimentos Sul Coreanos no Brasil. Promover a implantação de tecnologias inteligentes no Brasil. [...]” (CÂMARA DO COMÉRCIO E INDÚSTRIA BRASIL KOREA, 2021). Portanto, assume-se o pressuposto que o Presidente da CCIBK, pela sua proximidade com a indústria

brasileira e sul coreana, é apto para responder o questionário e a entrevista e agregar com informações para a análise deste trabalho.

O questionário for preenchido no dia 5 de novembro de 2022 pelo Sr. Pablo. A Tabela 1 apresenta a resposta das perguntas do questionário com a avaliação do nível tecnológico de cada tecnologia de acordo com o Presidente da CCIBK.

Tabela 1 - Respostas do questionário.

<b>TECNOLOGIA</b>	<b>QUESTÃO</b>	<b>BRASIL</b>	<b>COREIA DO SUL</b>
Internet das Coisas Industrial	Q.1	4	5
Internet das Coisas Industrial	Q.2	4	5
Internet das Coisas Industrial	Q.3	3	2
Sistemas de Produção Ciber-Físicos	Q.4	4	5
Sistemas de Produção Ciber-Físicos	Q.5	4	5
Digital Twin	Q.6	4	5
Computação em Nuvem	Q.7	4	5
Big Data e Analytics	Q.8	4	5
Inteligência Artificial	Q.9	2	5
Machine Learning	Q.10	3	5
Sensores e RFID	Q.11	4	5
Sensores e RFID	Q.12	3	5
Robôs	Q.13	4	4
Robôs	Q.14	4	5
Robôs	Q.15	3	5
Manufatura Aditiva	Q.16	2	3
Realidade Aumentada	Q.17	3	5
Simulação	Q.18	3	4
Integração de Sistemas	Q.19	4	5
Segurança	Q.20	2	4
Edge Computing	Q.21	2	5

Fonte: A autora (2022).

A Tabela 1 exhibe as 21 questões de múltipla escolha que abordam as tecnologias, ou seja, apenas as perguntas da seção 6 do questionário. Como o Sr. Pablo Palhano apresenta domínio sobre as fábricas instaladas no Brasil e na Coreia do Sul, ele respondeu sobre ambas, as respostas são exibidas nas colunas com os nomes dos países. A Tabela 2 une todas as questões que se referem ao mesmo grupo, ou tecnologia, e os níveis são a média simples entre os valores de cada pergunta.

Tabela 2 - Grupo de tecnologias e o nível tecnológico.

<b>GRUPO DE TECNOLOGIAS</b>	<b>Nº DE PERGUNTAS</b>	<b>BRASIL</b>	<b>COREIA DO SUL</b>
Internet das Coisas Industrial (IIoT)	3	3,67	4,00
Sistemas de Produção Ciber-Físicos (CPPS)	2	4,00	5,00
Digital Twin (DT)	1	4,00	5,00
Computação em Nuvem (CC)	1	4,00	5,00
Big Data e Analytics (BD)	1	4,00	5,00
Inteligência Artificial (AI)	1	2,00	5,00
Machine Learning (ML)	1	3,00	5,00
Sensores e RFID	2	3,50	5,00
Robôs	3	3,67	4,67
Manufatura Aditiva (AM)	1	2,00	3,00
Realidade Aumentada (AR)	1	3,00	5,00
Simulação	1	3,00	4,00
Integração de Sistemas	1	4,00	5,00
Segurança	1	2,00	4,00
Edge Computing	1	2,00	5,00
<b>TOTAL</b>	<b>21</b>	<b>3,19</b>	<b>4,64</b>

Fonte: A autora (2022).

Ressalta-se aqui que a avaliação realizada restringe ao tema do nível das tecnologias em um contexto Brasil e Coreia do Sul, no qual a avaliação engloba uma perspectiva do Presidente da CCIK. Assim, os níveis tecnológicos exibidos na Tabela 2 não apresentam um panorama geral da indústria brasileira nem da sul-coreana, mas sim um nicho específico no qual o Sr. Pablo está inserido.

Devido a pouca aderência ao questionário uma entrevista foi elaborada, Apêndice C, e aplicada com o Sr. Pablo com o intuito de agregar mais informações sobre a indústria com base nos conhecimentos do Presidente. A entrevista foi iniciada no dia 30 de outubro de 2022, via reunião eletrônica, porém devido a agenda do Sr. Pablo as questões foram enviadas por email e retornadas preenchidas no dia 6 de novembro de 2022.

#### 4.2. ANÁLISE DOS GRUPOS DE TECNOLOGIAS

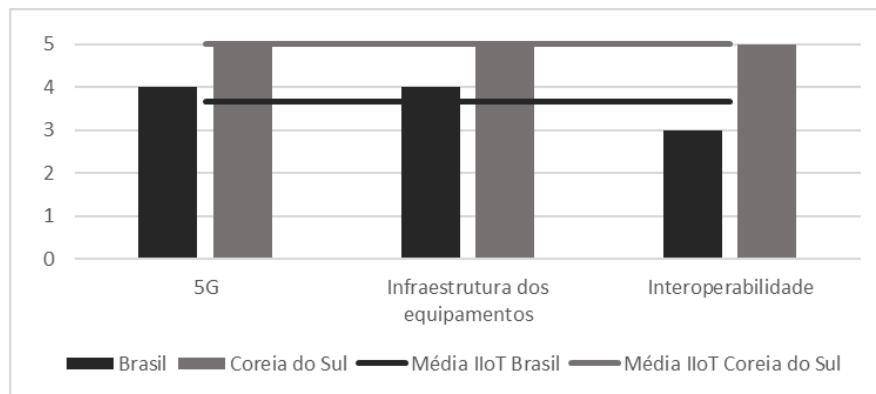
Nesta seção cada uma das tecnologias abordadas no questionário tem o nível tecnológico apresentado para o Brasil e a Coreia do Sul de acordo com as respostas do questionário e complementadas com dados da entrevista e informações encontrados em relação as tecnologias e dados de estratégias governamentais dos países. Ressalta-se que as informações que sustentam as avaliações realizadas

sobre o Brasil são de acordo com dados encontrados sobre o nível da indústria geral, que se encontra inferior as considerações feita pelo Sr. Pablo, pois ao analisar empresas vinculadas com a CCIBK, em sua maioria, apresentam nível tecnológico superior à média brasileira, mesmo assim, consegue-se aferir se as tendências apresentadas pelo Sr. Pablo, ao contrastar os dois países, estão de acordo com o que as informações pesquisadas apontam.

#### 4.2.1. Internet industrial das coisas

A Figura 13 apresenta uma comparação do Brasil e da Coreia do Sul em relação a IloT, em relação a resposta do questionário, três foram as perguntas realizada sobre esse tema: para explorar o nível das redes de conexão sem fio com conexão 5G; o quão preparado estão os equipamentos para adquirir e processar dados, a partir de sistemas embarcados que permitem a comunicação entre si e outros sistemas; e por fim uma pergunta sobre o quão as fábricas de cada país conseguem que os sistemas garantam uma troca de informação de qualidade e eficaz.

Figura 13 - Nível tecnológico da IloT.



Fonte: A autora (2022).

A Figura 13 aponta que o país sul-coreano está com o nível das redes 5G totalmente aderente à Smart Factory em um patamar otimizado que busca continuamente a melhoria dos processos. Segundo o Deloitte (2021) o país é líder global no 5G ao apresentar infraestrutura já instalada e disponibilidade ampla que já excede 95% de acesso à tecnologia, decorrente da presença do governo em investimentos, gestão, políticas e coordenação, os quais envolveram também

universidades e o setor privado. O governo direciona o desenvolvimento do 5G em indústrias como segurança da informação, computação de ponta, robôs e realidade virtual, em cinco setores, os quais um deles envolve as Fábricas Inteligentes (DELOITTE, 2021).

Em relação a infraestrutura dos equipamentos com sistemas embarcados, os quais são responsáveis pelo processamento dos dados, e a comunicação com outros sistemas. Avaliou-se a Coreia do Sul no nível mais elevado, no qual as plataformas da fábrica são integradas e utilizam de técnica unificada com ativos inteligentes, os processos são controlados dinamicamente pelo ecossistema e integrados remotamente, as trocas de informação ocorrem em tempo real, a tomada de decisão é autônoma, e a autocorreção e execução de ações acontecem pela contínua troca de informação entre objetos conectados a IIoT. Segundo Gil (2021), o país sul-coreano ocupa o primeiro lugar em infraestrutura digital.

Sobre o nível dos sistemas de informação, comunicação e operacionais integrados capazes de atender aos requisitos de interoperabilidade a Coreia do Sul está em um nível otimizado, ou seja, está totalmente aderente à Indústria 4.0 com foco contínuo na melhoria de processos, em que os sistemas e organizações trocam informações de maneira eficaz e eficiente. Portanto ao analisar as três questões relacionadas a IIoT (Figura 13), em geral, as empresas sul-coreanas em contato com o Presidente da CCIBK apresentam um nível otimizado de IIoT, onde há conectividade entre os equipamentos da fábrica e os softwares, com troca de dados intensa entre os sistemas e máquinas, o que permite tomadas de decisão de forma autônoma.

No Brasil, o nível avaliado para a conexão 5G foi de previsível, ou seja, já estão integradas a cadeia produtiva, porém, não foi encontrada nenhuma evidência que comprove a classificação do Sr. Pablo. As pesquisas evidenciam que existem poucas redes privadas 5G implementadas - redes separadas da pública que garantem resposta instantânea e segurança das máquinas, robôs e informações -, uma das primeiras implantadas foi na fábrica da Nestlé em Caçapava, inaugurada em setembro de 2022 (ESTADÃO, 2022). Além disso, segundo o Ministério das Comunicações, no início de outubro de 2022 a rede pública de 5G chegou a todas as capitais do Brasil, o que representa 24% da população brasileira e o próximo passo da implementação é até janeiro de 2023 instalar a rede 5G em cidades com mais de 500 mil habitantes (BRASIL, 2022a).



Em relação a infraestrutura dos equipamentos das fábricas sul-coreanas no Brasil, encontra-se em um nível previsível, ou seja, é possível realizar análises sofisticadas e operacionalização consistente por meio de padrões de melhores práticas em rede de comunicação única entre equipamentos e sistemas computacionais da empresa. Os sistemas de informação, comunicação e operacionais estão no nível estabelecido, assim, ainda não são integrados de maneira a fornecer uma interoperabilidade eficiente entre todos os sistemas.

Assim sendo, no Brasil, as fábricas sul-coreanas estão, em relação à média da IIoT em um patamar estabelecido (Figura 13), onde os equipamentos utilizam a rede para troca de informações importantes, mas não totalmente integrado. Segundo a Global Data o país tem um mercado crescente de IoT que cresce anualmente a uma taxa próxima de 20%, porém ainda o ecossistema da tecnologia é 20 vezes menor que o norte americano, por exemplo (PINTO, 2020). O que restringe as empresas multinacionais a trazerem toda a sua estrutura de IoT para o Brasil, já que há restrições para utilizá-las.

As principais barreiras enfrentadas pelo país no desenvolvimento da IIoT envolvem a qualificação da mão de obra, a propagação da transformação digital dentro das empresas, o avanço das redes de telecomunicações e infraestrutura que atendam às necessidades da indústria e a modernização de aspectos legais que viabilizem financeiramente o desenvolvimento da tecnologia (PINTO, 2020). Similarmente Paulo José Spaccaquerche, presidente da Associação Brasileira de Internet das Coisas, afirma que alguns desafios envolvem o legislativo, o custo dos componentes eletrônicos devido ao preço elevado do dólar que freou o desenvolvimento de soluções IoT e a insuficiente mão de obra capacitada (FUTURECOM DIGITAL, 2020).

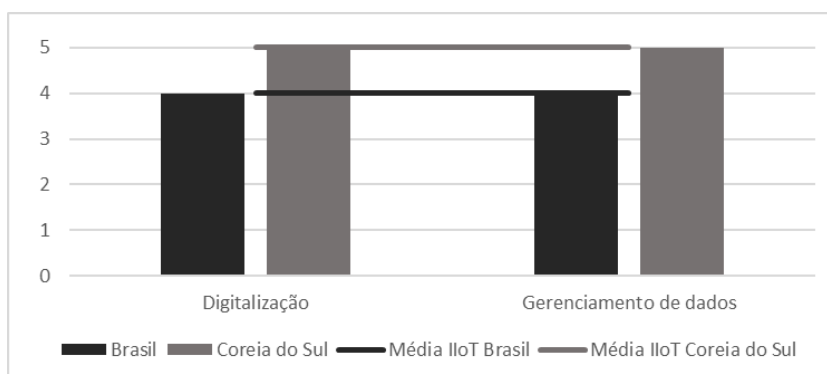
Em 2019, para auxiliar no desenvolvimento da IoT, o Plano Nacional de Internet das Coisas foi elaborado para implementar e desenvolver a IoT com base na livre concorrência e circulação de dados e diretrizes de segurança da informação e de proteção de dados. Os objetivos incluem: promover ganhos de eficiência nos serviços com implementação de soluções de IoT; capacitação profissional na economia digital; incrementar a produtividade e fomentar a competitividade das empresas brasileiras desenvolvedoras de IoT; e buscar parcerias com os setores público e privado para a implementação da IoT (BRASIL, 2019).

Não foi encontrada nenhuma referência sobre o estado atual do Plano Nacional de IoT, além da implementação da 5G pública apresentada, que está diretamente ligada ao ganho de eficiência da IoT. O que foi encontrado é uma maneira de monitorar o progresso da IoT através do Observatório Nacional da Indústria, apresentado pela Confederação Nacional das Indústrias (CNI) em outubro de 2022, uma base de dados que reúne as principais informações sobre o mercado de trabalho e educação, por exemplo; com as funcionalidades de acompanhar, monitorar e avaliar programas e ações voltados para a indústria brasileira como subsidiar as indústrias com análises de dados para tomada de decisões estratégicas (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2022a). O plano para o Observatório é ser o maior hub de dados da indústria nacional com visão sistêmica, de longo prazo, para identificar as transformações por meio de estruturas inteligentes, algoritmos e indicadores; para o fortalecimento da indústria (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2022c).

#### 4.2.2. Sistemas de produção ciber-físicos

A Figura 14 apresenta a comparação do Brasil e da Coreia do Sul em relação as CPPS de acordo com duas perguntas sobre esse tema: o nível de digitalização dos equipamentos e processos produtivos e o nível de utilização dos CPS por ferramentas ou sistemas de gerenciamento de dados.

Figura 14 - Nível tecnológico dos CPPS.



Fonte: A autora (2022).

A Coreia do Sul, de acordo com a Figura 14, apresenta um nível otimizado dos CPPS, onde a digitalização dos equipamentos apresenta CPS integrados, a partir da troca de informação com equipamentos, pessoas e objetos, conseguem se

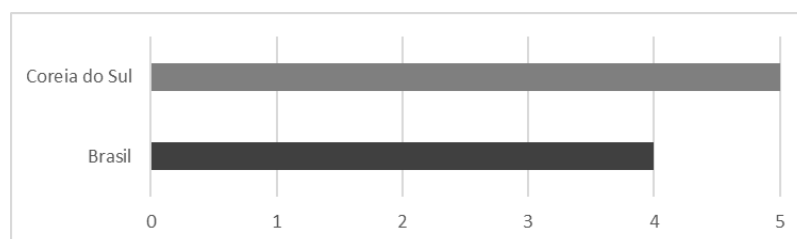
autocorrigir, melhorar o desempenho e a capacidade de resolução de problemas de sem a interferência humana. Em relação ao uso do CPS através de ferramentas e sistemas de gerenciamento de dados do produto a indústria está no nível otimizado em que é possível armazenar e controlar arquivos e visualizar objetos, gerenciar os dados, por exemplo em CAD, e fornecer informações em tempo real integrando a organização. Segundo a Business Research Insights (2022), em 2021 o país sul-coreano foi um dos líderes em investimento dos CPS nos avanços do desenvolvimento da indústria.

O Brasil apresenta um nível previsível dos CPPS, assim em relação a digitalização os CPPS estão integrados com outros sistemas da empresa em uma rede colaborativa, com troca de informações em tempo real, são capazes de se adaptarem para contextos específicos e emitem alertas de possíveis falhas. Na utilização do CPS por ferramentas e sistemas de gerenciamento de dados o nível é previsível, os dados são armazenados e controlados e gerenciados com trocas em tempo real. Assim, o CPPS é capaz de integrar os sistemas da empresa em uma rede colaborativa, porém não possui a capacidade de resolução de problemas sem a interferência humana. Pressupõe-se que essa falta de capacidade é devido à falta de maturidade de tecnologias habilitadoras, com o AI e machine learning no país.

### 4.2.3. Digital Twin

A questão sobre o Digital Twin investiga quão preparada está a indústria com equipamentos que reproduzem virtualmente o mundo físico e a estrutura para reagir dinamicamente as mudanças na demanda (Figura 15).

Figura 15 - Nível tecnológico do Digital Twin.



Fonte: A autora (2022).

O Digital Twin na Coreia do Sul, como apresenta a Figura 15, encontra-se em um nível otimizado onde o DT fornece suporte inteligente à tomada de decisões por conta própria, há uma convergência do mundo virtual para o físico de equipamentos, linhas de produção com operação e manutenção autônomas e bidirecionais. No Brasil o DT está no nível previsível, assim a representação virtual decide e controla diversos elementos físicos remotamente por integração e interação bidirecional de dados.

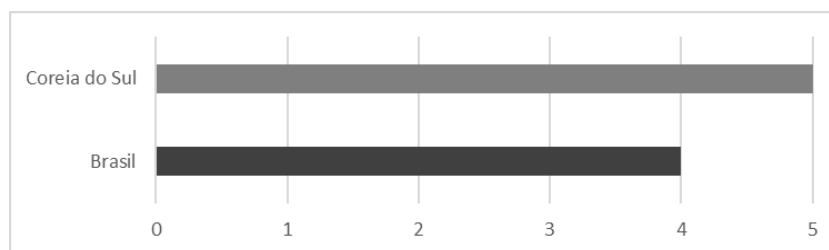
Para o sucesso do DT a IoT é um pilar essencial ao ser responsável por enviar os dados dos objetos reais para atualizar e alterar a cópia virtual, se necessário, com informações em tempo real, a AI fornece capacidade cognitiva para processar e tratar os dados e o DT depende de dados históricos reais constantes e atualizados (KLINK, 2022). Diante desses fatores, para a aplicação do DT com maior sucesso uma planta industrial requer conectar com essas tecnologias de IoT, AI e BD, portando pelo país sul-coreano estar mais avançado nessas tecnologias, o nível mais avançado de DT é mais viável que no Brasil.

O governo da Coreia do Sul possui estratégias para 2022 revitalizar a indústria e o mercado do Digital Twin, com investimento de cerca de 170 milhões de dólares em quatro tarefas: criar uma base para o crescimento da indústria, criar mercados líderes de larga escala ao aplicar em grandes setores industriais, fortalecer a competitividade das tecnologias ao investir em P&D de DT e melhorar o sistema para promover o DT nacional (PARK, 2021). Em relação ao Brasil não foi encontrada nenhuma estratégia do governo especificamente para DT, fator que reforça o motivo das fábricas apresentarem um nível tecnológico do país inferior ao sul-coreano.

#### **4.2.4. Computação em nuvem**

A pergunta sobre a computação em nuvem (CC) busca saber o nível da tecnologia no armazenamento de arquivos, ambientes virtuais e processamento de dados (Figura 16).

Figura 16 - Nível tecnológico da Computação em Nuvem.



Fonte: A autora (2022).

A Coreia do Sul apresenta um nível otimizado de CC onde as informações são coletadas e armazenadas com agilidade na nuvem, é interoperável, desenvolvida e otimizada proativamente por meio de medidores e uso de dados e os softwares utilizam como padrão a execução na nuvem com decisões tomadas de forma autônoma (Figura 16). Segundo Summerton (2021), a CC é uma das principais indústrias do país dentro da economia digital.

O alto nível da CC sul-coreana é decorrente de, por exemplo, estratégias bem elaboradas, além de ser um dos primeiros países a estabelecer um plano para indústria de computação em nuvem em 2015. O mercado de computação em nuvem em 2021 do país foi estimado em US\$ 2,8 bilhões, 20% maior em relação ao ano anterior e para 2022 estima-se que o mercado atinja US \$ 3,1 bilhões. Diante disso, provedores de serviços em nuvem aumentam cada vez mais os investimentos no país sul-coreano (ESTADOS UNIDOS, 2022).

Outros fatores que fortalecem o crescimento do mercado são, segundo um relatório do grupo IMARC sobre o mercado da computação em nuvem da Coreia do Sul, um aumento na atualização dos data centers com soluções de CC baseadas em baixos custos de configuração de infraestrutura, a resposta positiva do mercado em relação à crescente conectividade da rede 5G e os principais participantes do mercado estão investindo em P&D para soluções em nuvem. O relatório prevê que o mercado da CC continue crescendo e atinja US\$ 6,0 bilhões até 2027 (IMARC GROUP, 2022).

O Brasil apresenta o nível previsível (Figura 16), onde os aplicativos em nuvem usados na organização apresentam métricas apropriadas com processos de desenvolvimento e gestão de softwares na nuvem, porém podem sofrer certa falta de sincronização em tempo real. De acordo com Deak (2022), alguns fatores estão facilitando a expansão da computação em nuvem no Brasil, como a busca por maior transformação digital com a pandemia COVID-19, políticas públicas para atrair data

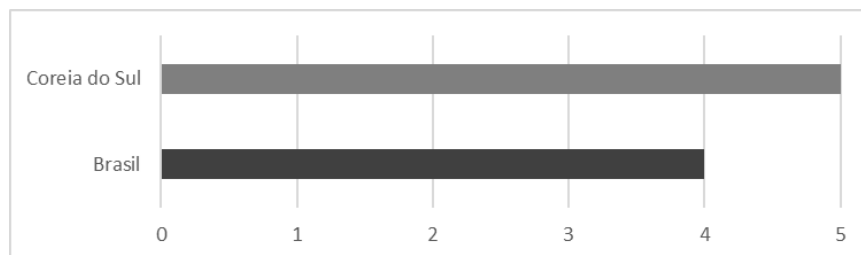
centers, a chegada do 5G atrai investimentos em dados pelo aumento do tráfego de IoT, AI, ML e BD.

Porém, alguns desafios que estão atrelados as fábricas no Brasil estarem em um nível inferior na CC em relação a Coreia do Sul são a falta de mão de obra qualificada, falta de maturidade digital que levam a implementação lenta e ineficiente e podem levar a problemas de segurança devido a migrações à nuvem mal realizadas (SUPERO, 2021). O alto custo para construção e operação de data center, a carga tributária e insegurança jurídica e regulatória do setor (DEAK, 2022).

#### 4.2.5. Big data e analytics

Ao investigar sobre o uso dos recursos da Big Data, busca-se o nível em que as empresas conseguem minerar e processar o grande volume de dados para auxiliar a fabricação em tempo real (Figura 17).

Figura 17 - Nível tecnológico da Big Data.



Fonte: A autora (2022).

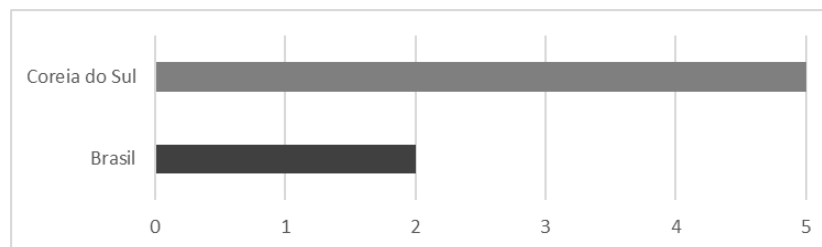
A captação de dados é integrada a sensores, AI e ML, os quais são aplicados no núcleo operacional para análise e tomada de decisão a partir dos dados em tempo real, essa é a definição do nível otimizado que representa a Coreia do Sul na tecnologia da BD (Figura 17). As iniciativas governamentais do país para o setor de dados iniciaram em 2018 para impulsionar a inovação com a iniciativa Transição para a Economia de Dados para elaborar estruturas regulamentadoras e políticas para auxiliar as indústrias relevantes de dados, em 2020 o Digital New Deal, plano mestre o governo sul-coreano para abordar, dentre os diversos temas da Indústria 4.0, aumentar o uso e acesso de dados coletados, divulgadas e utilizados (JANG; WOO; HWANG, 2021).

No Brasil o nível é previsível e apresenta os dados como ativo estratégico e o analytics é uma ferramenta competitiva de valor central com limitado uso de inteligência artificial e machine learning para agregar valor (Figura 17). As análises e grande quantidade de dados podem ocorrer sem sincronização por não estar conectado em tempo real. Alguns desafios das fábricas instaladas no Brasil em relação a BD são a regulamentação que apresenta restrições e eleva o valor da tecnologia e a falta de capacitação dos trabalhadores para suprir as demandas (RODRIGUES, 2019), as quais são crescentes devido a chegada da rede 5G.

#### 4.2.6. Inteligência artificial

Em relação a inteligência artificial, buscou-se saber o quanto a tecnologia é capaz de auxiliar nas tomadas de decisões autônomas no chão de fábrica da indústria. As respostas são apresentadas na Figura 18.

Figura 18 - Nível tecnológico da Inteligência Artificial.



Fonte: A autora (2022).

Na Coreia do Sul o nível é otimizado, ou seja, a AI consegue auxiliar outras tecnologias da Indústria 4.0 na tomada de decisão autônoma (Figura 18). O governo sul-coreano prioriza a AI como um dos pilares para se tornar um dos países líderes na tecnologia, diante disso investe em formação de mão de obra, em pesquisa e no setor manufatureiro, um exemplo é o Instituto de Pesquisa de Inteligência Artificial que inaugurou em 2016 e recebe investimentos de empresas privadas para o desenvolvimento da tecnologia (JOHN, 2022).

Em 2020 o governo sul-coreano lançou o Digital New Deal que engloba no escopo a transformação digital por estratégias para indústria em P&D nos campos de pesquisa e educação para suprir a lacuna de engenheiros qualificados para as áreas de AI e machine learning. Segundo Filgueiras (2022), a Coreia do Sul está entre os

países líderes da tecnologia pela diversidade em portfólio e políticas bem desenhadas para o desenvolvimento tecnológico. Para impulsionar a AI, para 2022 foi previsto um financiamento de quase US\$ 3 bilhões através de um plano orçamentário para projetos relacionados à tecnologia de inteligência artificial. Outro fato que impulsiona a tecnologia são empresas como Samsung Electronics, Naver (maior mecanismo de busca online do país) e as maiores operadoras de telefonia móvel em parceria com companhias como LG e Hyundai que fornecem investimentos privados elevados em AI (ESTADOS UNIDOS, 2022).

No Brasil, em relação as tecnologias de AI no chão de fábrica, o nível é gerenciado (Figura 18), assim ainda está no começo das transformações para a Indústria 4.0, apresentando algumas aplicações pontuais. Para alavancar a AI no país, em 2021 foi lançada a Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial, com o objetivo de potencializar o desenvolvimento e o uso da tecnologia com investimentos em P&D, capacitar profissionais e promover a cooperação entre setores públicos e privados a partir de pilares como legislação e regulamentação, governança, qualificação e força de trabalho, aplicações no setor manufatureiro e investimentos em P&D (BRASIL, 2021). Porém, segundo Filgueiras (2022), o país apresenta estratégias mal desenhadas, que essa estratégia apresentada não possuem orientações claras à indústria e mercados, sem apresentar maneiras dos objetivos serem alcançados; além da falta de estruturas colaborativas para aproximar desenvolvedores da indústria.

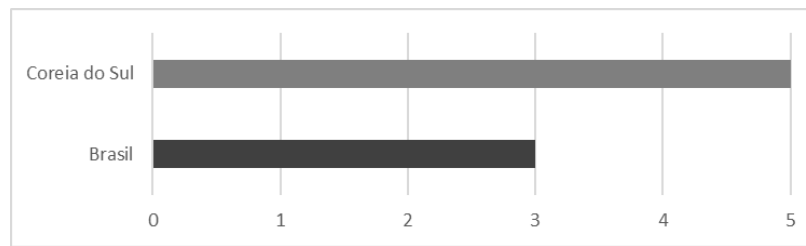
O Sr. Pablo afirma que a AI é uma das tecnologias que as empresas sul-coreanas mais investem em atualização no Brasil, porém encontram desafios como a falta de mão de obra qualificada, falta de infraestrutura de TI, regulamentação e fuga de talentos (PACETE, 2022). Um dos motivos dessa fuga, que está relacionada não apenas para profissionais de AI, mas em geral de tecnologias da informação, com o aumento de trabalho home-office devido a pandemia da COVID-19, está associada a profissionais terem liberdade de trabalharem de onde quiserem, assim, procuram empresas que paguem em moedas mais valorizadas que o real (CONVERGÊNCIA DIGITAL, 2021).

#### **4.2.7. Machine learning**

A questão sobre Machine Learning avalia o nível de processos produtivos que são auxiliados por essa tecnologia para a tomada de decisões (Figura 19).



Figura 19 - Nível tecnológico do Machine Learning.



Fonte: A autora (2022).

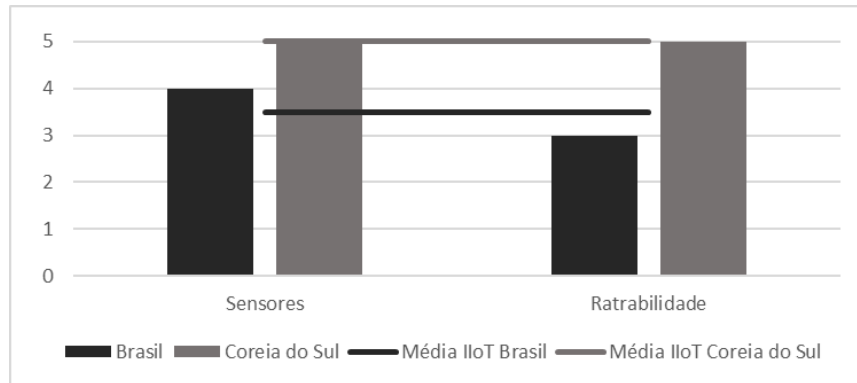
Na Coreia do Sul as aplicações de Machine Learning são de nível otimizado ( Figura 19), a qual permite tomada de decisões com base nas experiências que tomada de decisões que foram capturadas, armazenadas e analisadas referente a fabricação e são usadas para o ML realizar decisões. As estratégias para o Machine Learning na Coreia do Sul estão atreladas ao desenvolvimento da inteligência artificial, portanto não encontrou nas pesquisas estratégias focadas para ML.

No Brasil o nível é estabelecido, com operações consistentes com a devida padronização. O machine learning e inteligência artificial, para atingirem um nível mais elevado das tecnologias, dependem da integração de sistemas nas organizações, condição ainda indisponível em muitas organizações, as quais apresentam sistemas pouco compatíveis entre si, no interior das empresas e na cadeia produtiva, são uma barreira para essas tecnologias (INSTITUTO EUVALDO LODI, 2018).

#### 4.2.8. Sensores e RFID

A Figura 20 apresenta a respostas das questões que avaliam o nível dos sensores na indústria, a partir de duas perguntas, uma que avalia o nível da utilização para medição de parâmetros na fábrica e a outra para entender a capacidade de rastreabilidade de produtos e elementos da fábrica a partir de RFID, sensores, IoT e produtos inteligentes.

Figura 20 - Nível tecnológico dos Sensores.



Fonte: A autora (2022).

A Coreia do Sul apresenta o nível otimizado para ambas as questões (Figura 20), com quase todos os elementos e produtos são rastreáveis na fábrica. O Ministério do Comércio, Indústria e Energia entende o papel dos sensores para a Indústria 4.0 para as tecnologias digitais e sem contato, espera-se que as vendas globais entre 2022 e 2024 aumentem dez vezes, portanto o governo sul-coreano disponibilizará 160 milhões de dólares para o subsídio de empresas locais e institutos de pesquisa para a tecnologia (LEGGETT, 2021).

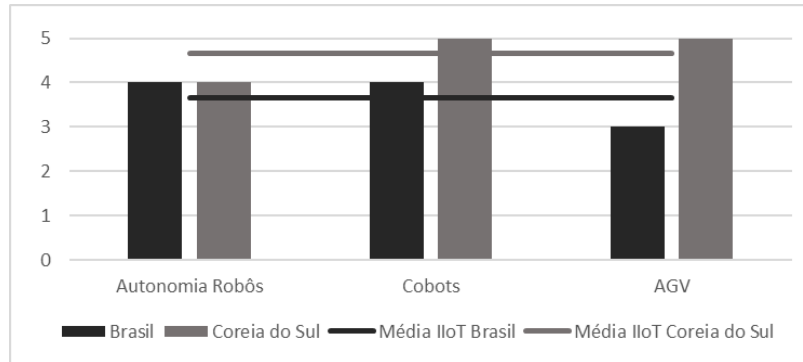
Já no Brasil, para a utilização dos sensores é identificado um nível previsível e para a rastreabilidade de produtos e elementos obteve-se o nível estabelecido, onde cerca de metade dos elementos da fábrica já possuem a tecnologia para serem rastreados. Muitas empresas ainda encontram dificuldades no processo de rastrear produtos, devido, por exemplo a dificuldade na execução do RFID devido à falta de qualificação de uma equipe que domine a tecnologia para corretamente rastrear automaticamente, capturar dados de forma correta e utilizar as funcionalidades (SILVEIRA, 2017).

O RFID é utilizado para a rastreabilidade, principalmente de estoque e peças com, com destaque nos segmentos automotivos, equipamentos e agronegócio; a tecnologia fornece segurança e de rastreabilidade das cargas, mesmo assim, esse cenário não é uma realidade para muitas empresas, em razão do custo, devido ao valor unitário e a margem financeira dos produtos não comportam esse tipo de tecnologia (KPMG, 2022).

#### 4.2.9. Robôs

A avaliação dos robôs nas empresas deu-se a partir de três questões, para avaliar a autonomia nas linhas, o nível dos Cobots e da utilização de AGVs para guiar produtos e elementos nas linhas. As respostas estão apresentadas na Figura 21.

Figura 21 - Nível tecnológico dos Robôs.



Fonte: A autora (2022).

Em ambos os países os robôs apresentam o nível previsível (Figura 21), onde estão integrados entre si e com os demais sistemas e elementos da fábrica, são capazes de enviar sinal digital de erro, ser operados remotamente no local e fazer planos de implementação dentro de limites especificados, porém não estão aptos a aprender com atividades para a tomada de decisão.

Os Cobots e AGVs na Coreia do Sul estão em nível otimizado, assim, são bem difundidos no chão de fábrica de forma a integrar a Smart Factory. Isso é possível pelo país possuir a maior densidade de robôs na indústria manufatureira o mundo, com 932 robôs para cada 10 mil funcionários; e o desenvolvimento da robótica está sendo aplicado por grandes conglomerados (LEE, 2022).

Algumas estratégias que proporcionaram esse nível foram o Ministério do Comércio, Indústria e Energia da Coreia do Sul possui a Estratégia de Desenvolvimento da Indústria de Robôs Inteligentes (2018-2022) que buscou popularizar os cobots e apoiar a melhoria da indústria manufatureira através da utilização de robôs e expandir o mercado desse setor. Em 2019 com o Plano de Desenvolvimento da Indústria de Robôs fortaleceu o ecossistema da robótica (MARKET PROSPECTS, 2020).

No Brasil os Cobots apresentam nível previsível e os AGVs estabelecido (Figura 21). De acordo com o Sr. Pablo a área de robôs é uma das que as empresas mais investem em desenvolvimento e ampliar os conhecimentos da Indústria 4.0. Um

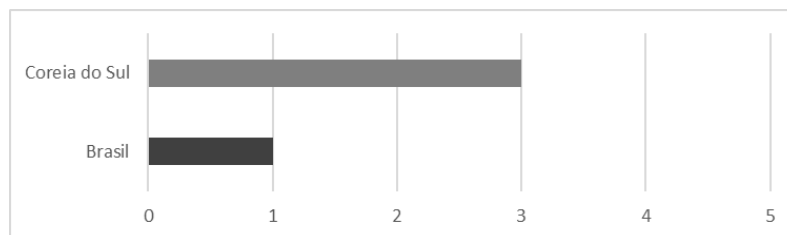
dos desafios é a mão de obra operacional no Brasil disponível ser relativamente barata quando comparada à robotização, especialmente em atividades mais complexas, como por exemplo na montagem de produtos (KPMG, 2022). O país apresenta pouco investimento na área de automação através de robôs comparado com outros países, a maior parte das aplicações são em soldas e na montagem automotiva, o baixo nível de aplicação deve-se a poucos profissionais com capacidade técnica (VDI, 2021).

Complementando, no chão de fábrica, existe um maior índice de penetração de tecnologias e robotização nos processos de alto volume e escala, como no corte de chapas e pinturas, e menor nos processos em que a montagem mais complexa, como em etapas produtivas de autopeças, eletroeletrônicos e embalagem. A robotização também está presente por meio do uso de AGVs na linha de produção, além de esteiras e balanças automatizadas e alguns braços robóticos mais leves, por meio de cobots que ajudam no manuseio do equipamento e das cargas (KPMG, 2022).

#### 4.2.10. Manufatura aditiva

A questão sobre manufatura aditiva avalia qual a utilização da tecnologia para fabricar componentes na linha de produção (Figura 22).

Figura 22 - Nível tecnológico da Manufatura Aditiva.



Fonte: A autora (2022).

Na Coreia do Sul o nível é estabelecido, onde é utilizada frequentemente em peças desenhadas para aplicações especiais obtidas a partir de experiências como a impressão 3D (Figura 22). As empresas sul-coreanas reconhecem a economia que a manufatura aditiva pode proporcionar ao chão de fábrica, porém, enfrenta obstáculos como o uso em produção em larga escala, resistência das peças e velocidade (ZENADJI, 2020). O governo do país possui medidas para o financiamento de diferentes grupos da indústria, apoio educacional, incentivo ao desenvolvimento de

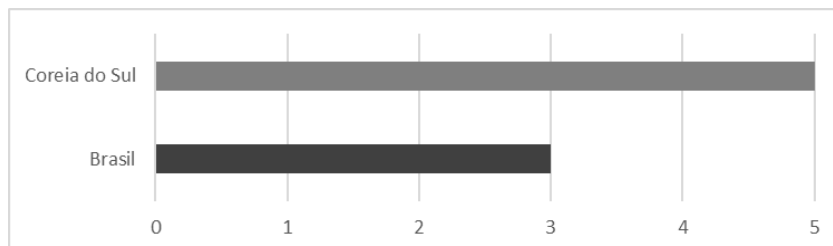
tecnologia e treinamento de mão de obra para a promoção da manufatura aditiva que faz parte da Lei de Promoção da Indústria de Impressão 3D (SONG, 2021). Segundo o Sr. Pablo é uma das tecnologias da Indústria 4.0 que atualmente mais sofre atualização.

No Brasil a utilização da manufatura aditiva ainda está em fase inicial (Figura 22), onde é usada ocasionalmente e não é integrada com o desenvolvimento de produto ou processos. Segundo a Confederação Nacional da Indústria (2022b), em 2021 apenas 16% das empresas entrevistadas aplicavam algum tipo de tecnologia relacionada a tecnologias de prototipagem rápida. O baixo nível da manufatura aditiva é decorrente de dificuldades como falta de conhecimento sobre a inovação, falta de treinamento na tecnologia, ou seja, limitações sobre o conhecimento e carência de mão de obra (WISHBOX, 2021); e desenvolvimento de novos materiais para a aplicação ainda é restrito no Brasil, portanto das empresas que utilizam com aplicação ainda limitada nas linhas de produção (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2018).

#### 4.2.11. Realidade aumentada

A pergunta sobre a realidade aumentada aborda a utilização para auxiliar operações, como sistemas supervisórios e de informações e interfaces contextualizadas para as tarefas. A Figura 23 apresenta a resposta para os países.

Figura 23 - Nível tecnológico da Realidade Aumentada.



Fonte: A autora (2022).

O nível otimizado da Coreia do Sul representa uma AR capaz de apontar possíveis falhas e informar o usuário e está totalmente integrada com os demais sistemas da empresa (Figura 23). O mercado de AR e realidade virtual desde 2013 cresce a uma taxa anual de 33% devido a experiência da indústria em tecnologias de

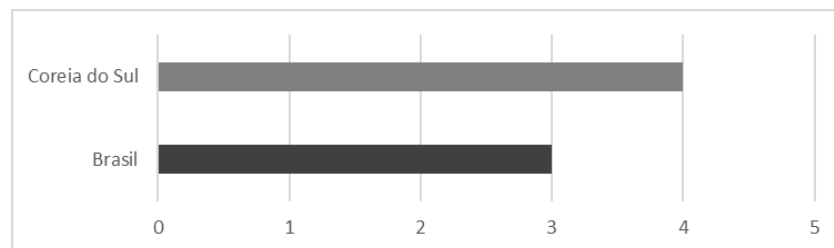
display (em 2019 a participação foi de 50% do mercado mundial) e ótica; o governo tem projetos de utilizar as tecnologias de AR para aprimorar a qualificação de trabalhadores (SUMMERTON, 2021). Em 2020 iniciou investimentos para diversos setores, um sendo o manufatureiro, para impulsionar as tecnologias de AR e realidade virtual para incorporar a transformação digital da indústria (CHAE, 2020).

No Brasil o nível é estabelecido apresenta a AR como parte do sistema produtivo da empresa em operações de produção como instrução, inspeção ou em situações de manutenção (Figura 23). No país a AR e a realidade virtual são aplicadas em frentes como na concepção de novos produtos e no auxílio em operações e manutenção, aumentam a segurança nos processos, devido a pandemia da COVID-19 os processos de transformação digital foram acelerados, porém ainda com um caminho a percorrer até implementar essas tecnologias em variados fluxos de trabalho e integrar com os sistemas das fábricas (A VOZ DA INDÚSTRIA, 2020).

#### 4.2.12. Simulação

A pergunta sobre a simulação aborda o nível em que a empresa é capaz de modelar digitalmente para avaliar o desempenho dos principais processos (Figura 24).

Figura 24 - Nível tecnológico da Simulação.



Fonte: A autora (2022).

Na Coreia do Sul tem-se o nível previsível, onde os processos são continuamente melhorados e os processos da empresa são simuladas em ambiente virtual pelo digital Twin (Figura 24). Não encontrou nas pesquisas informações do estado atual das simulações na indústria sul-coreana para complementar a análise.

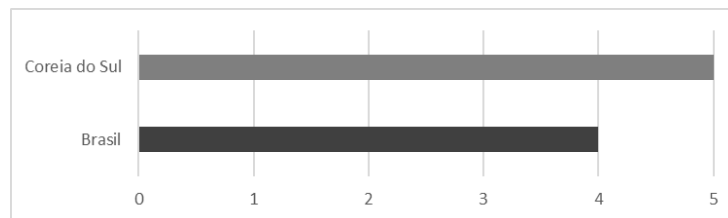
No Brasil o nível é estabelecido com o gerenciamento de projetos processos, existe um planejamento e programação da produção tem o objetivo de atender a demanda no prazo estabelecido com um maior rendimento e produtividade. O maior

desafio associado à simulação digital no Brasil é a mão de obra especializada, falta profissionais com verdadeira expertise para implementá-la, de acordo com a CNI, simulações e análises com modelos virtuais são presentes em poucas empresas (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2019).

#### 4.2.13. Integração de sistemas

A questão sobre a integração dos sistemas avalia como é a integração em tempo real entre os setores e a cadeia de valor. A Figura 25 apresenta os resultados.

Figura 25 - Nível da integração entre os sistemas.



Fonte: A autora (2022).

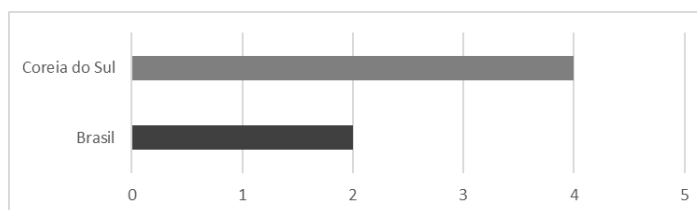
Na Coreia do Sul o nível otimizado garante as análises avançadas para extração de informações de dados, em tempo real, e ciclo de feedback automatizado entre trabalhadores e máquinas para a autoaprendizagem, essas análises avançadas também são realizadas com a cadeia de valor da organização. No Brasil o nível é previsível onde a comunicação e cooperação de ativos na fábrica é baseada em dados com tomada de decisões eficiente, existe também a comunicação entre as empresas da cadeia (Figura 25).

A integração vertical do fluxo de informações ocorre dentro da empresa pela fábrica até o ERP, e a integração horizontal, com a troca de dados entre diferentes empresas, no Brasil encontra-se desafios associados a integração tecnológica, mas também ao mindset relacionado ao compartilhamento de informações dos fornecedores com a empresa (VDI, 2019). Para o Sr. Pablo, a busca pela integração dos sistemas é um dos tópicos da Indústria 4.0 em que a indústria brasileira mais busca desenvolver.

#### 4.2.14. Segurança

A questão sobre segurança busca avaliar o nível da segurança, nos processos da empresa quais processos podem ser considerados seguros do ponto de vista da segurança da informação: disponibilidade de dados, integridade das informações e confidencialidade (Figura 26).

Figura 26 - Nível de Segurança.



Fonte: A autora (2022).

Na Coreia do Sul o nível é previsível, assim há um controle sobre as necessidades de segurança da organização e existe um plano abrangente com procedimentos formais para prevenir, detectar e corrigir assuntos relacionados (Figura 26). Segundo a entrevista com o Sr. Pablo, as tecnologias de segurança, atualmente, são um dos tópicos da Indústria 4.0 que o país mais investe em atualização. De acordo com o Cyber Smart Index da VMware-Deloitte 2020, o país é o segundo mais exposto a ataques cibernéticos de alta complexidade da região Ásia-Pacífico, devido ao alto grau de conectividade das redes 5G utilizadas, a inserção em dispositivos móveis e a quantidade de propriedade intelectual (ESTADOS UNIDOS, 2022).

Diante disso, o país considera a segurança cibernética uma questão de segurança nacional, em uma pesquisa do governo sul-coreano em 2022, nos últimos cinco anos esse mercado cresceu cerca de 12% ao ano. Para auxiliar na proteção das informações em 2019 o governo do país anunciou a Estratégia Nacional de Cibersegurança e em 2022 o Plano Estratégico para Fomentar a Indústria de Proteção de Dados para auxiliar empresas coreanas em preencher lacunas em tecnologia e linha de produtos e serviços (ESTADOS UNIDOS, 2022).

No Brasil, de acordo com a Figura 26, apresenta o nível gerenciado, a segurança dos sistemas e da rede é implementada e as organizações não classificam seus usuários como ameaças aos seus sistemas. O Brasil é um dos países mais afetados por ciber ataques, possuindo baixa maturidade da cibersegurança, e o maior desafio é a efetividade das proteções (CISCO, 2021). Outros desafios são a força de

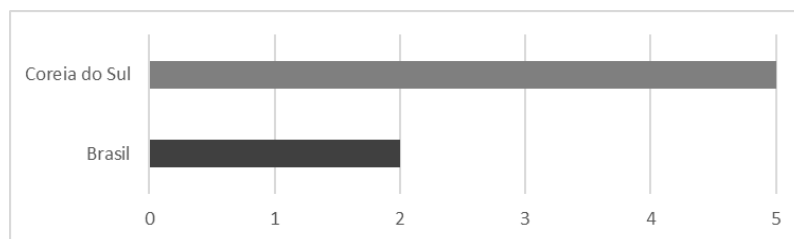


trabalho que necessita de mais que o dobro da mão de obra atual para combater os ataques cibernéticos e conformidade regulatória (MAIA, 2020).

#### 4.2.15. Edge computing

A última questão sobre as tecnologias aborda a implementação do Edge computing (Figura 27).

Figura 27 - Nível tecnológico do Edge Computing.



Fonte: A autora (2022).

Na Coreia do Sul o nível do edge computing nas fábricas chega no otimizado. Para chegar nesse patamar é necessária uma infraestrutura de rede 5G rápida e estável para as Fábricas Inteligentes para processar localmente grandes quantidades de dados por meio dessa tecnologia (SUH, 2021).

No Brasil o nível é gerenciado, ou seja, a tecnologia está passando pelo início de sua transformação, os processos com edge computing estão em alguns elementos da fábrica (Figura 27). Uma das prioridades ao adotar essa tecnologia na indústria é a segurança pois utiliza rede descentralizada, a qual é mais vulnerável a ataques cibernéticos, outro fator é a conectividade que ao apresentar dificuldades pode prejudicar as operações (PEDERNEIRAS, 2022). Como o Brasil apresenta níveis baixos de segurança e a conectividade de rede, em geral, ainda não ocorre na velocidade do 5G, a implementação da edge computing é mais difícil nas empresas sul-coreanas instaladas no país.

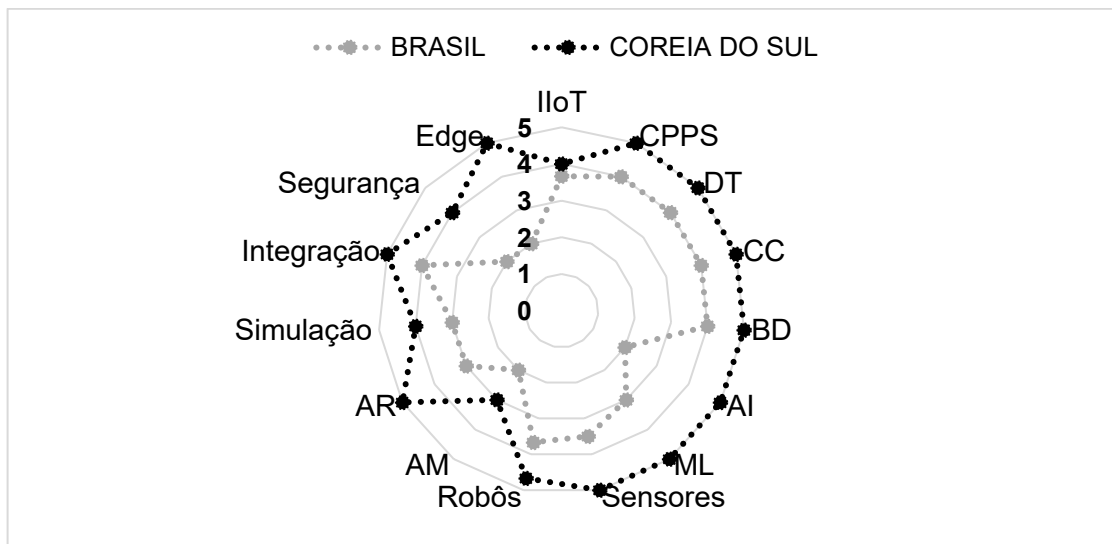
#### 4.3. ANÁLISE SOBRE A SMART FACTORY NOS PAÍSES

Para finalizar as análises do trabalho, após avaliar o nível de cada uma das tecnologias listadas na fundamentação teórica (seção 2.3), um panorama das

Fábricas Inteligentes de empresas sul-coreanas no Brasil e na Coreia do Sul serão apresentados, de acordo com a visão do presidente da CCIBK complementada com informações atuais pesquisadas. Diante disso, as informações apresentadas ao longo da seção 4 não são uma referência para avaliar o nível médio das tecnologias dos países, pois devido a limitação do trabalho de ter apenas um respondente do questionário, em virtude da dificuldade de acessar a indústria sul-coreana, devido a fatores como a cultural de não divulgar informações ao público, ficou-se limitado as empresas conectadas a CCIBK. Porém, mesmo com essa barreira, foi possível avaliar as discrepâncias tecnológicas entre os países e listar algumas dificuldades que as empresas sul-coreanas encontram com as fábricas em solo brasileiro devido, por exemplo, a falta de infraestrutura e mão de obra qualificada.

O gráfico de radar (Figura 28) apresenta a comparação entre o nível das tecnologias entre o Brasil e a Coreia do Sul, de acordo com a resposta do questionário. Observa-se que em todos os tópicos abordados neste trabalho o Brasil apresenta um nível menor do que o sul-coreano decorrente da infraestrutura, políticas públicas e investimentos em P&D da Coreia do Sul.

Figura 28 - Análise comparativa entre os níveis tecnológicos.



Fonte: A autora (2022).

Ao contrastar o nível tecnológico avaliado (Figura 28) com a fundamentação teórica, percebe-se que existem algumas divergências, como a Coreia do Sul com diversas tecnologias avaliadas com o nível otimizado, ou seja, totalmente aderente a Indústria 4.0, pois a Quarta Revolução Industrial ainda está ocorrendo, então a

indústria está em um processo de transição, o escopo dessa indústria sugere uma conectividade com todo o ciclo de vida do produto, para empresas com produtos de menor valor agregado investirem para que toda sua fábrica seja digitalizada e integrar todos os processos de fabricação, na percepção da autora ainda não é viável. Portanto o que se entende na avaliação é que de acordo com as tecnologias disponíveis para a indústria o país sul-coreano consegue ter um nível elevado em relação aos parâmetros mundiais das tecnologias, já colhendo vantagens da aplicação, como ganho de eficiência.

Segundo o Sr. Pablo no Brasil em relação as tecnologias, apresentadas ao longo do trabalho, das Fábricas Inteligentes as que mais se buscam ampliar atualmente são: robótica, inteligência artificial e integração de sistemas para a otimização dos processos produtivos. Como na Coreia do Sul, essas tecnologias já estão bem estruturadas e difundidas, o foco é maior em segurança dos dados e dos equipamentos contra ameaças de cibersegurança e a manufatura aditiva são as que estão tendo as maiores atualizações, ao contrapor essas tecnologias com os níveis tecnológicos (Figura 28), são as tecnologias que o país sul-coreano está mais atrasado em relação ao nível tecnológico, e está em busca de aprimorar para desenvolver a fábrica inteligente como um todo.

Ao analisar a Figura 28, percebe-se que, em geral, as filiais das empresas sul-coreanas não conseguem instalar no Brasil o nível de maturidade das tecnologias que as suas empresas apresentam no país de origem. Dessa forma, entende-se que há discrepância tecnológica no setor manufatureiro de fábricas instaladas no Brasil e na Coreia do Sul, o que responde a um dos objetivos deste trabalho que é avaliar se essa discrepância existe.

Diante disso, o presidente da CCIBK apresentou a mão de obra como um dos maiores obstáculos a serem enfrentados e motivo da discrepância, existem outros fatores que interferem que as tecnologias cheguem ao Brasil, como algumas tecnologias não estarem amplamente disponíveis no país, a ineficiência de rede de dados de alta velocidade, a dificuldade no desenvolvimento de pesquisas no tema da Indústria 4.0, o alto custo de investimentos, aplicação e gerenciamento das tecnologias e o treinamento dos operadores, as qual exige alta especialização.

Como apresentado na seção 2.1.3, o país sul-coreano foi um dos poucos a conseguir realizar o catching-up devido, além das políticas públicas voltadas para o desenvolvimento de produtos nacionais para exportação, uma das maiores

preocupações foi com a educação, conseguiu qualificar profissionais para atender as demandas que o desenvolvimento da economia e indústria na medida que surgiam. Para Summerton (2021), nos avanços da Quarta Revolução Industrial não foi diferente, como parte da estratégia industrial, aplica-se esforços para melhorar os programas de treinamento na educação e na indústria - o governo reconhece os benefícios da qualificação dos trabalhadores para funções de alto valor.

Segundo o Sr. Pablo, a Coreia do Sul, a partir das políticas industriais aplicadas, criou um modelo no movimento mundial em tecnologias de ponta e de última geração. O país utiliza as tecnologias e desenvolve políticas para a Indústria 4.0, não apenas para o setor industrial, mas diversos aspectos do país. O Presidente da CCIBK afirma que no país sul-coreano o tema de Fábricas Inteligentes não é abordado como algo novo, mas sim, são explorados os benefícios que as tecnologias trazem no presente e no futuro, assim não encontram muitas dificuldades em pesquisas, aplicações e no gerenciamento.

A manufatura é um pilar da economia sul-coreana, a qual responde por 30% do PIB, 90% das exportações coreanas e mais de 80% da pesquisa e desenvolvimento é destinado para os campos de fabricação (ESTADOS UNIDOS, 2022). O país possui um ecossistema de empresas, como os conglomerados familiares, chaebols, como a Hyundai, Samsung e LG. Essas companhias ao atuarem no espaço digital, são responsáveis pelos investimentos privados em incubadoras, P&D e tecnologias que impulsionam a Indústria 4.0 (SUMMERTON, 2021).

O país apresenta uma infraestrutura de tecnologia bem desenvolvida, lidera como o país com maior penetração de internet (95%), possui uma posição de destaque na fabricação de hardware e é líder global em tecnologia (SUMMERTON, 2021). Segundo o Sr. Pablo os setores eletrônico e automotivo são os que apresentam a maior maturidade da Indústria 4.0. A Coreia do Sul ao final de 2020 já apresentava cerca de 20 mil Fábricas Inteligentes registradas, de acordo com o Ministério das Pequenas e Médias Empresas e Startups (GIL, 2021).

A abordagem do país sul-coreano inclui investimentos para impulsionar o desenvolvimento em setores-chave, em um esforço para estimular a criação de empregos de alta qualidade e melhorar a qualidade de sua educação em empresas e escolas (SUMMERTON, 2021). Ao possuir a mão de obra qualificada o país consegue suprir as demandas que as tecnologias da Indústria 4.0 necessitam e continuar com níveis elevados das tecnologias. Ao desenvolver os setores consegue fornecer a

infraestrutura da indústria, por exemplo, a seção 2.3.1 descreve a importância de uma internet rápida que comporte as necessidades, cada vez maiores, como de volume e velocidade da troca de dados, a qual é a base para a Smart Factory.

Diferentemente no Brasil existe uma falta de infraestrutura para aplicar e utilizar as tecnologias requeridas pela Smart Factory, uma internet com a qualidade e rapidez e aparelhos com capacidade de processamento são necessários, porém são desafios para muitas empresas brasileira (SANTINI, 2018). Além da tecnologia de rede altamente eficientes requeridas pela Indústria 4.0, as quais o Sr. Pablo afirma que ainda não estão totalmente acessíveis no Brasil, outro tópico é a falta de mão de obra especializada, que segundo o Presidente da CCIBK é um dos maiores desafios - o treinamento de profissionais qualificados -, o que condiz com o apresentado nas análises das tecnologias individuais (seção 4.2), onde quase todas apontam que um dos obstáculos é a falta de profissionais qualificados com domínio das tecnologias.

Segundo um levantamento do ManpowerGroup, em 2022 o Brasil está em oitavo lugar dos que mais faltam mão de obra qualificada, com escassez de profissionais em 81% - acima da média global (75%); onde o segmento mais afetado é o de tecnologia e informação de dados, com 40% dos votos dos entrevistados (LEANCOMMERCE, 2022). Segmento que baseia as tecnologias da Indústria 4.0 pela enorme quantidade de dados, os quais requerem o conhecimento de como acessar, interpretar e trabalhar com essas informações e programas, requer profissionais com conhecimento de programação, robótica ou análise de dados e que saibam trabalhar com softwares (SANTINI, 2018).

O país não tem pessoas suficientes entrando nas universidades para suprir as demandas, o relatório da Brasscom aponta que a cada ano cerca de 53 mil profissionais em áreas relacionadas a TI são formados, porém, a demanda chega a 159 mil no Brasil. Um fator agravante, segundo um estudo da Gartner, com a pandemia da COVID-19 a fuga dos poucos profissionais capacitados vem aumentando pela possibilidade de trabalho remoto somada à moeda brasileira enfraquecida (LEANCOMMERCE, 2022).

Outra dificuldade para implementar a Indústria 4.0 no Brasil é o acesso a novas tecnologias, segundo a entrevista com o Sr. Pablo. Um estudo da KPMG (2022) aponta que os executivos brasileiros entendem que muitas empresas ainda estão se adaptando ao estágio da Terceira Revolução Industrial e requerem altos investimentos para chegar na quarta para uma maior automação das máquinas, digitalização e

integração de processos e sistemas para melhor coleta de dados e visibilidade do fluxo produtivo. Diante disso é mais difícil ingressar na quarta, a defasagem tecnológica causa a redução na participação na manufatura mundial, decorrente da perda de competitividade, em quatro décadas reduziu-se 50%, principalmente o setor da microeletrônica, o que traz grandes prejuízos por ser a tecnologia base da Indústria 4.0 (VIEIRA; OURIQUES; AREND, 2020).

Por último, o desafio conectado a falta do Estado em criar incentivos suficientes para que as indústrias possam desenvolver suas tecnologias; não foi encontrado nas pesquisas nenhuma fonte que aponte que o Brasil produza alguma tecnologia relevante nas frentes apresentadas da indústria. O Sr. Pablo complementa que o Brasil não tem um setor em específico que possua as tecnologias da Indústria 4.0 mais desenvolvida, pois são as empresas estrangeiras que tem a maturidade da Indústria 4.0 que trazem as tecnologias. Diante disso, o Brasil não irá conseguir acelerar a taxa de crescimento da economia e da indústria se não reestruturar a exportação para setores onde a demanda é crescente mundialmente.

No Brasil as políticas industriais e tecnológicas sofrem pelo problema da institucionalidade frágil, ou seja, documentos e decisões que não são implementados, políticas sem definição de prioridades, proposição de políticas que não apresentam instrumentos de ação, falta de articulação entre instituições do setor público, e falta de cooperação adequada entre governo e empresas (INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2018). O cenário atual é de insegurança e atrasos na indústria gerados pela falta de uma política pública consolidada para a alavancar as Fábricas Inteligentes (MACIEL, 2022), além da falta de financiamento adequado na área de ciência, tecnologia e inovação, limitam a P&D que o país precisa para inovar na Indústria 4.0 (JOTA, 2021).

Diante das informações apresentadas sobre o Brasil e a Coreia do Sul, percebe-se que o alto nível das tecnologias das Fábricas Inteligentes sul-coreanas se deve a um estreito relacionamento de políticas públicas e empresas privadas com investimentos crescentes e contínuos para desenvolver a infraestrutura, as tecnologias com P&D de produtos nacionais voltados para a exportação; com o objetivo de manter a posição de destaque na Indústria 4.0 e ficar cada vez mais competitivo no mercado. Bem contrastante com a realidade brasileira, que depende majoritariamente de investimentos de empresas de outras nacionalidades para trazer as tecnologias, há uma falta de coordenação entre os setores público e privado que

permita uma elaboração de estratégias de longo prazo para a Smart Factory. Por fim a carência de políticas públicas para coordenar as instituições de como alavancar a indústria, arrecadar investimentos e elaborara regulamentações para que elimine as incertezas da aplicação da Indústria 4.0 e as empresas privadas tenham confiança e comprometimento que o governo irá cumprir com as propostas para então ser um mercado atrativo para investimentos em tecnologias de ponta para a Industria 4.0.

Ao perguntar ao Sr. Pablo sobre como o Brasil pode utilizar como referência a Coreia do Sul para desenvolver a Indústria 4.0, primeiro apontou a capacidade para se tornar competitivo, porém, para isso precisa de investimentos e apoio do governo. Sugeriu parcerias e intercâmbios das universidades brasileira e sul-coreanas para estimular o aprendizado qualificado, a abertura de iniciativas que possibilitem a troca de informações e acesso destas novas tecnologias ao Brasil. O intercâmbio tecnológico e comercial com outros países será fundamental para o acesso ao conhecimento (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016).

As relações diplomáticas entre o Brasil e a Coreia do Sul foram estabelecidas em 1954, e podem ser estreitadas com o aumento do fluxo de investimentos e comércio, o que vem ocorrendo, principalmente nos setores eletroeletrônicos, automobilístico, petrolífero e siderúrgico; bem como pelas perspectivas favoráveis à cooperação em ciência, tecnologia e inovação em setores como semicondutores e tecnologias de informação e comunicação. O comércio bilateral atingiu US\$ 10,8 bilhões em 2021, nesse ano a Coreia do Sul foi o 8º maior parceiro comercial do Brasil (BRASIL, 2022b).

Além disso, um projeto que a CCIBK iniciou em 2022, que pode conectar ainda mais os dois países, é o desenvolvimento de um relatório para a criação e abertura da Zona de Livre Comércio entre Brasil e Coreia do Sul. Ao colocá-los como parceiros comerciais, abre as possibilidades para que as indústrias brasileiras recebam investimentos anda maiores e acesso as tecnologias de ponta, como exemplo os Joint-Ventures, que tem a capacidade de desenvolver economicamente e industrialmente o país, acelerando o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil. E assim, consigam trazer todas as tecnologias de duas matrizes para o país, reduzindo a discrepância do nível tecnológico.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para este trabalho, buscou-se analisar as principais tecnologias das Fábricas Inteligentes utilizada nas indústrias no Brasil e Coreia do Sul. Para isso, iniciou-se com o processo de industrialização, como ocorreram as três revoluções industriais que antecederam a Indústria 4.0, ou quarta revolução industrial, com o aumento gradativo e complexidade e inovações que proporcionaram a manufatura digital da Smart Factory. Como o presente trabalho faz um comparativo entre o Brasil e Coreia do Sul, foi elucidado as etapas de industrialização de cada um para justificar a escolha dos países, os quais apresentavam características semelhantes no início da jornada da industrialização, porém com diferentes estratégias de desenvolvimento, os resultados foram bem distintos na infraestrutura alcançada que interfere nos avanços da Indústria 4.0.

Para alcançar o primeiro objetivo específico deste trabalho, inicialmente caracterizou-se a Smart Factory e a Indústria 4.0, através de uma revisão da literatura, a qual apontou as principais tecnologias utilizadas para o setor manufatureiro (Quadro 3). Com as quinze tecnologias selecionadas: IoT, CPS, DT, Computação em Nuvem, Big Data e Analytics, AI, Machine Learning, Sensores e RFID, Robôs, Manufatura Aditiva, Realidade Aumentada, Simulação, Integração de Sistemas, Segurança e Edge Computing, uma segunda etapa da busca na literatura, para definir os conceitos de cada uma das tecnologias e apresentar exemplos do setor automotivo, de maneira a acrescentar informações na área de graduação da autora.

O segundo objetivo específico envolve avaliar ao nível tecnológico de cada uma das tecnologias nas fábricas sul-coreanas instaladas no Brasil e na Coreia do Sul. Para isso foi elaborado um questionário online com perguntas de múltipla escolha e escala Likert para avaliar o nível das tecnologias. Conseguiu-se o contato de empresas coreanas com fábricas no Brasil e Coreia do Sul, através do presidente da Câmara do Comércio e Indústria Brasil Korea. Porém, encontrou-se dificuldade, o que representou a maior limitação deste trabalho, a aderência dessas pessoas em responder o questionário.

Diante desse fato, uma nova abordagem para a sequência do trabalho foi adotada, a qual aplicou-se o questionário com o presidente, com o pressuposto que o Sr. Pablo é qualificado para responder as perguntas pela sua proximidade com



empresas de ambos os países nos trinta e cinco anos de proximidade com o país sul-coreano e próximo da metade desse tempo trabalhando como assessor e diretor da CCIBK. Como as análises ficaram em função das perspectivas do Sr. Pablo, elaborou-se uma entrevista, com perguntas sobre a Indústria 4.0 e Smart Factory para enriquecer o conhecimento da indústria no Brasil e na Coreia do Sul. Também, buscou-se referências de iniciativas governamentais e dados atuais para complementar as análises.

A partir dos dados coletados constatou-se que em todas as tecnologias avaliadas a Coreia do Sul apresenta um nível mais elevado em suas fábricas do que o Brasil decorrente de melhor infraestrutura, desde o planejamento da industrialização até para a atualidade das Fábricas Inteligentes, políticas públicas mais estruturadas com estratégias que envolvem investimentos em P&D e preparo de mão de obra qualificada, e pelo país sul-coreano apresentar diversas empresas multinacionais que fazem a indústria de exportação ser forte e nas áreas de eletrônica, semicondutores, automotiva, por exemplo, que possuem bastante capital e interesse em investimentos privados em pesquisas para melhorar as tecnologias da Indústria 4.0, para então otimizar a produção do seu mercado. Todos esses fatores são impulsionadores das tecnologias das Fábricas Inteligentes que fazem a Coreia do Sul tenha destaque.

Assim, os fatores apresentados que representam os pilares para o país sul-coreano conseguir manter a sua competitividade no mercado mundial são premissas que o Brasil precisa para retomar o investimento no setor industrial e transformar a sua estrutura produtiva, modernizando a produção e exportação para aplicar e usufruir de Smart Factories. Porém as políticas industrial e tecnológica apresentam na atualidade um problema com a institucionalidade frágil, com políticas sem definição de prioridades, falta de articulação entre instituições do setor público e falta de cooperação efetiva entre governo e empresariado industrial.

Portanto, diante das incertezas, falta de mão de obra qualificada e infraestrutura, empresas sul-coreanas não conseguem aplicar todo o nível tecnológico que apresentam em suas matrizes no Brasil. E assim, o terceiro objetivo específico é defendido, ao avaliar que há discrepância tecnológica no setor manufatureiro entre o Brasil e a Coreia do Sul.

Para finalizar, ressalta-se que com o projeto da Zona de Livre Comércio entre Brasil e Coreia do Sul ganhando força, o presente trabalho pode ser utilizado como uma expansão da pesquisa para mostrar os ganhos que a proximidade dos países

pode trazer de benefícios para a indústria Brasileira ao trazerem avanços tecnológicos da Indústria 4.0.

As maiores dificuldades encontradas nas análises foram encontrar dados atualizados, referentes aos planos apresentados do governo para saberem se foram devidamente implementados e informações recentes sobre as tecnologias abordadas, como está o patamar das aplicações; para a coleta das informações sobre a Coreia do Sul um fator extra é a barreira do idioma, utilizando-se apenas conteúdos disponíveis em inglês. Como as políticas públicas é um tópico que apareceu bastante durante o trabalho, recomenda-se um estudo para avaliar se os projetos e planos lançados pelos governos com o intuito de alavancar as Fábricas Inteligentes e investigar se foram implementados.

Como sugestões de trabalhos futuros ficam como recomendação a aplicação do questionário de três maneiras: uma com empresas do setor industrial e outra com o segmento automotivo em empresas sul-coreanas instaladas no Brasil e Coreia do Sul com representatividades de diferentes etapas da cadeia de valor de um produto, não apenas OEMs que apresentam maior capital de investimento para Indústria 4.0. A terceira maneira é sintetizar o questionário com questões mais objetivas sobre as Fábricas Inteligentes e aplicar no setor industrial brasileiro, para investigar o nível dessas fábricas no país. Através dessas aplicações consegue-se extrair com mais riqueza o nível tecnológico.

## REFERÊNCIAS

A VOZ DA INDÚSTRIA. **O crescimento da realidade aumentada na Indústria pós-crise**. 2020. Disponível em: <https://avozdaindustria.com.br/inovacao/o-crescimento-da-realidade-aumentada-na-industria-pos-cri-se>. Acesso em: 21 nov. 2022.

AHUETT-GARZA, H.; KURFESS, T. A brief discussion on the trends of habilitating technologies for Industry 4.0 and Smart manufacturing. **Manufacturing Letters**, Estados Unidos, v. 15, n. 2, p. 60-63, jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.02.011>.

AFONSO, Ismália. Pesquisa inédita da CNI mostra cenário da indústria 4.0 no Brasil. **Confederação Nacional da Indústria**, Brasília, 2016. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/pesquisa-inedita-da-cni-mostra-cenario-da-industria-40-no-brasil/>. Acesso em: 4 nov. 2022.

AIJAZ, Adnan. Private 5G: The Future of Industrial Wireless. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v.14, n. 4, p. 136-145, dez. 2020. DOI: 10.1109/MIE.2020.3004975.

ALCÁCER, V.; CRUZ-MACHADO, V. Scanning the Industry 4.0: a literature review on technologies for manufacturing systems. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, Holanda, v. 22, n. 3, jun. 2019, p. 899-919. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>.

AREND, Marcelo; FONSECA, Pedro Cezar D. Brasil (1955-2005): 25 anos de catching up, 25 anos de falling behind. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 32, p. 33-54, jan./mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31572012000100003>.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário da indústria automobilística Brasileira**. ANFAVEA, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://anfavea.com.br/anuario2020/anuario.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2022.

ATHANASOPOULOU, Alexia *et al.* What technology enabled services impact business models in the automotive industry? An exploratory study. **Futures**, Inglaterra, v. 109, p. 73-83, maio 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2019.04.001>.

AUTOMATION. **Case study: how technology is helping automotive manufacturers achieve sustainable goals**. 2022. Disponível em: <https://www.automation.com/en-us/articles/april-2022/case-study-how-technology-automotive-manufacturers>. Acesso em: 20 nov. 2022.

BAE, Yooil; SELLERS, Jefferey M. Globalization, the developmental state and the politics of urban growth in Korea: a multilevel analysis. **International Journal of Urban and Regional Research**, Inglaterra, v. 31, n. 3, p. 543-560, set. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-2427.2007.00737.x>.

BAI, Chunguang *et al.* Industry 4.0 technologies assessment: a sustainability perspective. **International Journal of Production Economics**, Holanda, v. 229, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>.

BASSETO, Ana Laura C. **Modelo de maturidade para a análise das indústrias no contexto da indústria 4.0**. 2019. Dissertação de Mestrado (Mestrado Em Engenharia De Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

BETTER. **Big Data.. from Space!** 2022. Disponível em: <https://www.ec-better.eu/pages/big-data-from-space>. Acesso em: 16 nov. 2022.

BOLT, Jutta; VAN ZANDEN, Jan L. Maddison. Maddison style estimates of the evolution of the world economy. A new 2020 update. **Project Database**, 2020. Disponível em: <https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/releases/maddison-project-database-2020>. Acesso em: 12 set. 2022.

BOYES, Hugh *et al.* The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. **Computers in Industry**, Holanda, v. 101, p. 1-12, out. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015>.

BRASIL. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações**. Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial. Brasília, 2021. Disponível em: [https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosinteligenciaartificial/ebia-documento\\_referencia\\_4-979\\_2021.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosinteligenciaartificial/ebia-documento_referencia_4-979_2021.pdf). Acesso em: 20 nov. 2022.

BRASIL. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações**. Plano nacional de internet das coisas - IoT. Brasília, MCTI, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/internet-das-coisas>. Acesso em: 6 nov. 2022.

BRASIL. **Ministério das Comunicações**. 5G é ativado em todas as capitais brasileiras, 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/mcom/pt-br/noticias/2022/outubro/5g-e-ativado-em-todas-as-capitais-brasileiras>. Acesso em: 27 nov. 2022.

BRASIL. **Ministério da Economia**. Rota 2030 - Mobilidade e Logística, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/setor-automotivo/rota-2030-mobilidade-e-logistica>. Acesso em: 23 dez. 2022.

BRASIL. **Ministério das Relações Exteriores**. Republic of Korea. Brasília, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/mre/en/subjects/bilateral-relations/all-countries/republic-of-korea>. Acesso em: 24 nov. 2022.

BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos; NASSIF, André; FEIJÓ, Carmem A. A reconstrução da indústria brasileira: a conexão entre o regime macroeconômico e a política industrial. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 493-513, jul./set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0101-31572015v36n03a03>.

BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos; JANNOUR, Elias; DE PAULA, Luiz Fernando. South Korea's and China's catching-up: a new-developmental analysis **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 264-284, abr./jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0101-31572020-3102>.

BÜCHI, Giacomo; CUGNO, Monica; CASTAGNOLI, Rebecca. Smart factory performance and industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, Estados Unidos, v. 150, jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>.

BUSINESS RESEARCH INSIGHTS. **Cyber physical system market report overview**. Maharashtra, 2022. Disponível em: <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/cyber-physical-system-market-100757>. Acesso em: 29 nov. 2022.

CÂMARA DO COMÉRCIO E INDÚSTRIA BRASIL KOREA. **Quem somos**. 2021. Disponível em: <https://ccibk.org.br/>. Acesso em: 14 nov. 2022.

CAUCHICK-MIGUEL, Paulo A. *et al* (coord.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. 244 p.

CHAE, Yun-hwan. **S. Korea to spend over 400 bln won in XR industry in 2021**. Yonhap News Agency, 2020. Disponível em: <https://en.yna.co.kr/view/AEN20201210004000320>. Acesso em: 21 nov. 2022.

CHEN, Baotong *et al*. Smart factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. **IEEE Access**, Estados Unidos, v. 6, p. 6505-6519, 2018. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2783682.

CHENG, Guo-jian *et al*. Industry 4.0 development and application of intelligent manufacturing. *In*: 2016 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEM AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 2016, Hong Kong. **Proceedings [...]** Estados Unidos: IEEE Computer Society, 2016. p. 407-410. DOI: 10.1109/ISAI.2016.0092.

CHUI, Michael; LÖFFLER, Markus; ROBERTS, Roger. The internet of things. **Mckinsey & Company**, 2010. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/the-internet-of-things>. Acesso em: 21 set. 2022.

CISCO. **Desafios da cibersegurança no Brasil**. 2021. Disponível em: [https://www.cisco.com/c/dam/global/pt\\_br/solutions/pdfs/report1-distrito.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_br/solutions/pdfs/report1-distrito.pdf). Acesso em: 20 nov. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **A evolução dos dados: CNI apresenta Observatório Nacional da Indústria**. Brasília: CNI, 2022a. Disponível em: <https://fiepb.com.br/noticia/a-evolucao-dos-dados-cni-apresenta-observatorio-nacional-da-industria>. Acesso em: 6 nov. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016. 34 p. Disponível em:

[https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer\\_public/d6/cb/d6cbfba-4d7e-43a0-9784-86365061a366/desafios\\_para\\_industria\\_40\\_no\\_brasil.pdf](https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d6/cb/d6cbfba-4d7e-43a0-9784-86365061a366/desafios_para_industria_40_no_brasil.pdf). Acesso em: 4 nov. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Indústria 4.0 cinco anos depois. Brasília**: CNI, 2022b. 21 p. Disponível em: [https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer\\_public/cd/a2/cda22223-5c33-4a5f-af4e-f5a5d64b3d85/sondespecial\\_industria40\\_cincoanosdepois\\_abril2022.pdf](https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/cd/a2/cda22223-5c33-4a5f-af4e-f5a5d64b3d85/sondespecial_industria40_cincoanosdepois_abril2022.pdf). Acesso em: 4 nov. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Observatório Nacional da Indústria. Brasília**: CNI, 2022c. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/canais/observatorio-nacional-da-industria/o-observatorio/>. Acesso em: 6 nov. 2022.

CONVERGÊNCIA DIGITAL. **Fuga de talentos em TIC para o exterior aumenta em 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.convergenciadigital.com.br/Carreira/Fuga-de-talentos-em-TIC-para-o-exterior-aumenta-em-2021-59083.html>. Acesso em 27 nov. 2022.

CREPAK. **RFID applications in automotive manufacturing**. 2022. Disponível em: <https://www.crepak.com/rfid-applications-in-automotive-manufacturing/?v=19d3326f3137>. Acesso em 30 nov. 2022.

DE CAROLIS, A. *et al.* Guiding manufacturing companies towards digitalization a methodology for supporting manufacturing companies in defining their digitalization roadmap. *In*: International Conference on Engineering, Technology and Innovation, 2017, Ilha Madeira. **Proceedings [...]** Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. P. 487-495. DOI: 10.1109/ICE.2017.8279925.

DEAK, Luis Fernando. **Data center market: investment opportunities in Brazil**. Cushman & Wakefield. 2022. Disponível em: <https://www.cushmanwakefield.com/en/brazil/insights/2022-10-data-centers>. Acesso em: 29 nov. 2022.

DELOITTE. **Relatório do Ecosistema 5G Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/br/pt/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/5G-no-brasil.html>. Acesso em: 9 set. 2022.

EBRAHIM, Mojtaba; BABOLI, Armand; ROTHER, Eva. The evolution of world class manufacturing toward industry 4.0: a case study in the automotive industry. **IFAC Papers Online**, Laxemburgo, v. 52, n. 10, p. 188-194, ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.10.021>.

EL SADDIK, Abdulmotaleb. Digital twins: the convergence of multimedia technologies. **IEEE Multimedia**, Estados Unidos, v. 25, n. 2, p. 87-92, abr./jun. 2018. DOI: 10.1109/MMUL.2018.023121167.

ELIAS, Rodrigo Vilela; TELLES, Silvio de Cassio Costa. A indústria nacional de automóveis e o automobilismo brasileiro: contrastes entre o Rio de Janeiro e São Paulo de 1956 a 1966. **Revista Brasileira de Ciência e Esporte**, Brasília, v. 37, n.2, p. 172-178, abr./jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rbce.2015.02.004>.

ESTADÃO. Rede 5G privativa promete acelerar tomada de decisões nas empresas. **Estadão**, São Paulo, 24 out. 2022. Economia. Disponível em: <https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,rede-5g-privativa-promete-acelerar-tomada-de-decisoes-nas-empresas,70004155869>. Acesso em 25 nov. 2022.

ESTADOS UNIDOS. International Trade Administration. **South Korea - Country Commercial Guide**: Information and Communication Technology. Washington: Department of Commerce, 2022. Disponível em: <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/south-korea-information-and-communication-technology>. Acesso em: 19 nov. 2022.

FACCHINI, Francesco; DIGIESI, Salvatore; PINTO, Luiz Fernando R. Implementation of I4.0 technologies in production systems: opportunities and limits in the digital transformation. **Procedia Computer Science**, Holanda, v. 200, p. 1705-1714, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.371>.

FERREIRA, Pedro C.; VELOSO, Fernando A. O desenvolvimento econômico brasileiro no pós-guerra. **FGV SB**, 2015. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/14054>. Acesso em: 4 dez. 2022.

FILGUEIRAS, Fernando. Brasil está atrasado na corrida internacional pelo domínio da inteligência artificial. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 30 jun. 2022. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mundo/2022/06/brasil-esta-atrasado-na-corrida-internacional-pelo-dominio-da-inteligencia-artificial.shtml>. Acesso em: 30 nov. 2022.

FORTUNE. **Global 500**. Disponível em: <https://fortune.com/global500/2021/search/?sector=Motor%20Vehicles%20%26%20Parts>. Acesso em: 12 set. 2022.

FUTURECOM DIGITAL. **Entenda como anda o desenvolvimento da Internet das Coisas (IoT) no Brasil e quais são os principais obstáculos para a sua consolidação**. 2020. Disponível em: <https://digital.futurecom.com.br/transformacao-digital/iot-no-brasil-quais-sao-barreiras-e-como-supera-las>. Acesso em 20 nov. 2022.

GEISSBAUER, Reinhard *et al.* **Industry 4.0**: opportunities and challenges of the Industrial Internet. PwCIL, 2014.

GIL, Eunsun. Strengthening Korea's Position as a Manufacturing Powerhouse through the Introduction of Smart Factories. **Invest Korea**, Seul, v. 215, n. 2, p.15-18, fev. 2021. Disponível em: <http://dl.kotra.or.kr/pyxis-api/1/digital-files/c16960f0-120d-018a-e053-b46464899664>. Acesso em: 19 nov. 2022.

GILL, Nick *et al.* **Automotive smart factories**. Capgemini, 2018. Disponível em: [https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2018/04/Auto-Smart-Factories-Report\\_Digital.pdf](https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2018/04/Auto-Smart-Factories-Report_Digital.pdf). Acesso em: 26 ago. 2021.

GOODWIN, Luke. **Types of AGVs — and how to choose the right ones for your company**. Manufacturing.net. 2022. Disponível em: <https://www.manufacturing.net/automation/blog/22132014/types-of-agvs-and-how-to-choose-the-right-ones-for-your-company>. Acesso em: 30 nov. 2022.

HARTMANN, Dominik *et al.* Why did some countries catch-up, while others got stuck in the middle? Stages of productive sophistication and smart industrial policies. **Structural Change and Economic Dynamics**, Holanda, v. 58, p. 1-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2021.04.007>.

HASTINGS, Rachel. How the use of data and AI is transforming the automotive industry. **EMERITUS**, nov. 2021. Disponível em: <https://emeritus.org/blog/big-data-ai-in-the-automotive-industry/>. Acesso em: 30 ago. 2022.

HE, Bin; BAI, Kai-Jian. Digital twin-based sustainable intelligent manufacturing: a review. **Advances in Manufacturing**, Estados Unidos, v.16, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40436-020-00302-5>.

HEO, Uk *et al.* The political economy of South Korea: economic growth, democratization, and financial crisis. **Maryland Series in Contemporary Asian Studies**, Baltimore, 2008.

HIGGINS, Keith. Measuring IIoT initiatives in automotive manufacturing. **Electronic Design**, Estados Unidos, 2020. Disponível em: <https://www.electronicdesign.com/markets/automotive/article/21145671/measuring-iiot-initiatives-in-automotive-manufacturing>. Acesso em: 30 ago. 2022.

IBM. **What is industry 4.0?** 2022. Disponível em: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>. Acesso em: 2 ago. 2022.

IMARC GROUP. **South Korea Cloud Computing Market to Reach US\$ 6.0 Billion by 2027, Impelled by Growing Connectivity Through 5G Network.** 2022. Disponível em: <https://www.imarcgroup.com/cloud-computing-market-south-korea>. Acesso em 27 nov. 2022

IMMERMAN, Graham. A manufacturer's guide to cloud computing. **Machinometrics**, Northampton, 2018. Disponível em: <https://www.machinometrics.com/blog/cloud-computing-in-manufacturing>. Acesso em: 6 set. 2022.

IMMERMAN, Graham. Emerging industry 4.0 technologies with real-world examples. **Machinometrics**, Northampton, 17 set. 2020a. Disponível em: <https://www.machinometrics.com/blog/industry-4-0-technologies>. Acesso em: 30 set. 2022.

IMMERMAN, Graham. Edge computing vs. cloud computing in manufacturing. **Machinometrics**, Northampton, 16 abr. 2020b. Disponível em: <https://www.machinometrics.com/blog/cloud-computing-in-manufacturing>. Acesso em: 6 set. 2022.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Políticas para o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil.** São Paulo: IEDI, 2018. 30 p. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15486/1/POL%C3%8DTICAS%20PARA%20O%20DESENVOLVIMENTO%20DA%20IND%C3%9ASTRIA%204.0%20NO%20BRASIL\\_2018.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15486/1/POL%C3%8DTICAS%20PARA%20O%20DESENVOLVIMENTO%20DA%20IND%C3%9ASTRIA%204.0%20NO%20BRASIL_2018.pdf). Acesso em: 5 nov. 2022.



INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Desafios em Manufatura Aditiva**. 2018. Disponível em: [https://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=1466](https://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1466). Acesso em: 21 nov. 2022.

INSTITUTO EUVALDO LODI. **Núcleo Central. Indústria 2027**: Relatório síntese dos resultados: construindo o futuro da indústria brasileira. Brasília: IEL/NC, 2018. 269 p. Disponível em: [https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer\\_public/8c/13/8c13f007-35c7-4fa2-89e9-3550bca42a16/sintese\\_dos\\_resultados.pdf](https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/8c/13/8c13f007-35c7-4fa2-89e9-3550bca42a16/sintese_dos_resultados.pdf). Acesso em: 4 nov. 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS. **2021 production statistics**. Disponível em: <https://www.oica.net/category/production-statistics/2021-statistics/>. Acesso em: 12 set. 2022.

JAVAID, Mohd *et al.* Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications. **Sensors International**, v. 2, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100110>.

JAVAID, Mohd *et al.* Upgrading the manufacturing sector via applications of Industrial Internet of Things (IIoT). **Sensors International**, v. 2, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100129>.

JANG, Junhee; WOO, Sangkeun; HWANG, Hyunju. **The Data, Network and AI Ecosystem: A Vital Pillar of the Digital New Deal**. Invest Korea, 2021. Disponível em: [https://www.investkorea.org/ik-en/bbs/i-308/detail.do?ntt\\_sn=490754](https://www.investkorea.org/ik-en/bbs/i-308/detail.do?ntt_sn=490754). Acesso em: 20 nov. 2022.

JOHN. **How Strong is AI Development in South Korea?** SeoulZ, 2022. Disponível em: <https://www.seoulz.com/how-strong-is-ai-development-in-south-korea/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

JOTA. **Falta de leis e baixo investimento público geram dificuldade para inovar na indústria**. 2021. Disponível em: <https://www.jota.info/coberturas-especiais/seguranca-juridica-desenvolvimento/falta-de-leis-e-baixo-investimento-publico-geram-dificuldade-para-inovar-na-industria-11112021>. Acesso em 28 nov. 2022.

KIM, Linsu. The dynamics of technological learning in industrialization. **International Social Science Journal**, Inglaterra, v.53, n. 168, p. 297-308, jun. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1111/1468-2451.00316>.

KIM, Sung Hyun; PARK, Sungbum. CPS (Cyber Physical System) based manufacturing system optimization. **Procedia Computer Science**, Holanda, v. 122, p. 518-524, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.401>.

KIM, Sung Wook *et al.* Recent advances of artificial intelligence in manufacturing industrial sectors: a review. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, Coreia do Sul, v. 23, p. 111-129, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12541-021-00600-3>.

KLINK, Lucas. **Entenda Digital Twin e quando usar essa técnica**. Venturus, 2022. Disponível em: <https://www.venturus.org.br/entenda-digital-twin-e-quando-usar-essa-tecnica/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

KPMG. **Indústria 4.0 Mining Report**. 2019. Disponível em: <https://home.kpmg/br/pt/home/insights/2019/03/industria-4-0-mining-report.html>. Acesso em: 11 nov. 2022.

KPMG. **Indústria 4.0 no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://home.kpmg/br/pt/home/insights/2022/01/evolucao-industria-4-0-exige-atuacao-conjunta-empresas.html>. Acesso em: 21 nov. 2022.

KO, Minjae *et al.* An assessment of smart factories in Korea: An Exploratory Empirical Investigation. **Applied Sciences**, Suíça, v. 10, n. 21, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10217486>.

KOZŁOWSKI, Adam; WIŚNIEWSKI, Marcin. Digital twin factory in the automotive industry – so the future is happening today. **Grape up**, 2022. Disponível em: <https://grapeup.com/blog/digital-twin-factory-in-the-automotive-industry/#>. Acesso em: 30 ago. 2022.

KRASNOKUTSKY, Evgeniy. Artificial intelligence in manufacturing: industrial AI use cases. **MobiDev**, 2022. Disponível em: <https://mobidev.biz/blog/artificial-intelligence-manufacturing-industrial-ai-use-cases>. Acesso em: 7 set. 2022.

KURT, Resul. Industry 4.0 in Terms of Industrial Relations and Its Impacts on Labour Life. **Procedia Computer Science**, Holanda, v. 158, p. 590-601, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.093>.

LAMONICA, Marcos T.; FEIJÓ, Carmem A. Crescimento e industrialização no Brasil: uma interpretação à luz das propostas de Kaldor. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 31, p. 118-138, jan./mar. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31572011000100006>.

LASI, Heiner *et al.* Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, Alemanha, v. 6, n. 4, p. 239-242, ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>.

LEANCOMMERCE. **Mão de obra qualificada em TI: como lidar com déficit no Brasil?** 2022. Disponível em: <https://blog.leancommerce.com.br/mao-de-obra-qualificada-em-ti-como-lidar-com-deficit-no-brasil/>. Acesso em: 28 nov. 2022.

LEE, In; LEE, Kyoochun. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, Inglaterra, v. 58, n. 4, p. 431-440, jul./ago. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>.

LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO Hung-An. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, Estados Unidos, v. 3, p. 18-23, jan. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>.

LEE, Jay; KAO, Hung-An; YANG, Shanhu. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. **Procedia CIRP**, Holanda, v.16, p. 3-8, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.001>.

LEE, Ji-yoen. Robots roll into South Korea, making it the most automated country in the world. **Nextrends Asia**, 2022. Disponível em: <https://nextrendsasia.org/robots-roll-into-south-korea-making-it-the-most-automated-country-in-the-world/>. Acesso em: 21 nov. 2022.

LEGGETT, David. **South Korea to support development of new sensor technologies**. Just Auto, 2021. Disponível em: <https://www.just-auto.com/news/south-korea-to-support-development-of-new-sensor-technologies/>. Acesso em: 21 nov. 2022.

LIU, Chao *et al.* Augmented reality-assisted intelligent window for cyber-physical machine tool. **Journal of Manufacturing Systems**, Holanda, v. 44, p. 280-286, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.04.008>.

MA, Xin *et al.* Artificial intelligence enhanced interaction in digital twin shop-floor. **Procedia CIRP**, Holanda, v. 100, p. 858-863, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.031>.

MAIA, Amanda. Sob risco de ataques hackers, indústria aumenta demanda por profissionais de cibersegurança. **Portal da Indústria**, 2020. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/educacao/sob-risco-de-ataques-hackers-industria-aumenta-demanda-por-profissionais-de-ciberseguranca/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

MAKAROVA, Irina; SHUBENKOVA, Ksenia; BUYVOL, Polina. Intellectualization of the management processes at the enterprise of automotive industry. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOINFORMATICS AND DATA ANALYSIS, 2018, Praga. **Proceedings [...]** Nova York: Association for Computing Machinery, 2018. p. 177-181. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3220228.3220257>. Acesso em: 23 abr. 2021.

MACIEL, Daniela. Brasil está longe de ser uma nação digital. **Diário do Comércio**. Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/negocios/brasil-esta-longe-de-ser-uma-nacao-digital/>. Acesso em: 28 nov. 2022.

MARCONI, Mariana, A.; LAKATOS, Eva M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

MARKET PROSPECTS. **The Development Strategy of the Smart Robot Industry Under the Framework of South Korea Industry 4.0**. 2020. Disponível em: <https://www.market-prospects.com/articles/smart-robot-industry-of-south-korea>. Acesso em: 21 nov. 2022.

MASOOD, Tariq; EGGER, Johannes. Augmented reality in support of Industry 4.0—Implementation challenges and success factors. **Robotics and Computer-**

**Integrated Manufacturing**, Inglaterra, v. 58, ago. 2019. p. 181-195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.02.003>

MEDEIROS, Carlos A. A economia brasileira no novo milênio: continuidade e mudanças nas estratégias de desenvolvimento. **Revista de Economia Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 1-16, maio/ago. 2017.

MONOSTORI, László. Cyber-physical production systems: roots, expectations and R&D challenges. *In*: CRIP CONFERENCE OF MANUFACTURING SYSTEMS, 47., 2014, Windsor. **Proceedings [...]** Holanda: Procedia CIRP, 2014, v. 17, p. 9-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>.

MRUGALSKA, Beata; WYRWICKA, Magdalena K. Towards Lean Production in Industry 4.0. **Procedia Engineering**, Holanda, v. 182, p. 466-473, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.135>.

MÜLLER, Rainer; VETTE, Matthias; SCHOLER, Matthias. Robot workmate: a trustworthy coworker for the continuous automotive assembly line and its implementation. **Procedia CIRP**, Holanda, v. 44, p. 263-268, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.077>.

MULLET, Valentin; SONDI, Patrick; RAMAT, Eric. A review of cybersecurity guidelines for manufacturing factories in industry 4.0. **IEEE Access**, Estados Unidos, v. 9, p. 23235-23263, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3056650.

NASSIF, André *et al.* Economic development and stagnation in Brazil (1950–2011). **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 52, p.1-15, jun. 2020.

NEGRI, Elisa; FUMAGALLI, Luca; MACCHI, Marco. A review of the roles of digital twin in cps-based production systems. **Procedia Manufacturing**, Holanda, v. 11, p. 939-749, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.198>.

NG, Tan *et al.* The application of industry 4.0 technological constituents for sustainable manufacturing: a content-centric review. **Sustainability**, Suíça, v. 14, n. 7, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14074327>.

OLIVEIRA, Amaury Porto de. Coréia do Sul e Taiwan enfrentam o desafio da industrialização tardia. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 7, n. 17, p. 81-97, abr. 1993.

OLIVEIRA JÚNIOR. **Modelo de maturidade para a indústria 4.0 para PME's brasileiras: um estudo de caso em uma indústria de ração animal**. 2018. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

ORTIZ, Jesús H. MARROQUIN, William G. CIFUENTES, Leonardo Z. **Industry 4.0: current status and future trends**. Inglaterra: IntechOpen, 2020. DOI: 10.5772/intechopen.90396.

OZTEMEL, Ercan; GURSEV, Samet. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, Holanda, v. 31, 2020, p. 127-182. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>.

PACCHINI, Athos P. T. *et al.* The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. **Computers in Industry**, Holanda, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103125>.

PACETE, Luiz G. Google lista os desafios da inteligência artificial no Brasil. **Forbes**, 2022. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-tech/2022/10/google-lista-os-desafios-da-inteligencia-artificial-no-brasil/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

PAPULOVÁ, Zuzana; GAZOVÁ, Andrea; ŠUFLIARSKY, L'ubomir. Implementation of automation technologies of Industry 4.0 in automotive manufacturing companies. **Procedia Computer Science**, Holanda, v. 200, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.350>.

PARK, Hannah. **Government to Invest 230.8 Billion Won to Foster the World-leading “K-Digital Twin” in 2022**. Smart City Today, 2021. Disponível em: <https://www.smartcitytoday.co.kr/news/articleView.html?idxno=21509>. Acesso em: 20 nov. 2022.

PARK, Sangwoo; KIM, Changgyun; YOUM, Sekyoung. Establishment of an IoT-based smart factory and data analysis model for the quality management of SMEs die-casting companies in Korea. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, Estados Unidos, v. 15, n. 10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1177/155014771987937>.

PEDERNEIRAS, Gabriela. **Cibersegurança é um dos maiores desafios da implementação de edge computing na indústria**. Indústria4.0, 2022; Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/22555-ciberseguranca-maiores-desafios-implementacao-edge-computing-industrias>. Acesso em: 20 nov. 2022.

PEREIRA, Adriano José; DATHEIN, Ricardo. Política industrial como instituição desenvolvimentista: uma crítica ao “novo desenvolvimentismo” baseada nas experiências de Brasil e Coreia do Sul. **Revista de Economia Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 20, p. 28-57, jan./abr. 2016.

PEREIRA, Adriano José; DATHEIN, Ricardo. Internacionalização e dependência estrutural: empresas estrangeiras e a trajetória errante da economia brasileira. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 371-391, maio/jul. 2021.

PEREIRA, Ana C.; ROMERO, Fernando C. review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. **Procedia Manufacturing**, Holanda, v. 13, p. 1206-1214, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>.

PERES, Ricardo S. *et al.* Industrial artificial intelligence in industry 4.0 - systematic review, challenges and outlook. **IEEE Access**, Estados Unidos, v. 8, p. 220121-220139, 2020, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3042874.

PINTO, B. *et al.* A strategic model to take the first step towards Industry 4.0 in SMEs. **Procedia Manufacturing**, Holanda, v. 38, p. 637-645, 2019. DOI: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.082>.

PINTO, Gustavo. Brasil tem 19% dos projetos de IoT em produção na América Latina. **V2COM**, 2020. Disponível em: <https://v2com.com/2020/06/30/mercado-brasileiro-internet-das-coisas-20/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

POLIVKA, Martin; DVORAKOVA Lilia. The current state of the use of selected Industry 4.0 Technologies in manufacturing companies. *In: DAAAM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTELLIGENT MANUFACTURING AND AUTOMATION*, 32., 2021, Viena. **Proceedings [...]** Viena: DAAM International, 2021. p. 652-659. DOI: 10.2507/32nd.daaam.proceedings.092.

POSADA, Jorge *et al.* Visual computing as a key enabling technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. **Visual Computing Challenges**, mar./abr. 2015. DOI: 10.1109/MCG.2015.45.

PRISECARU, Petre. Challenges of the Fourth Industrial Revolution. **Knowledge Horizons - Economics**, Romênia, v. 8, p. 57-62, 2016.

PUGLIA, Alessandro; POURABDOLLAHIAN, Golboo; GHISALBERTI, Mattia. **5G in the manufacturing industry: how can 5G be a game changer for manufacturers?** Capgemini, 2020. [https://www.capgemini.com/it-it/wp-content/uploads/sites/13/2020/08/5G\\_in\\_the\\_manufacturing\\_industry.pdf](https://www.capgemini.com/it-it/wp-content/uploads/sites/13/2020/08/5G_in_the_manufacturing_industry.pdf). Acesso em: 9 set. 2022.

QI, Qinglin; TAO, Fei. A Smart Manufacturing Service System Based on Edge Computing, Fog Computing, and Cloud Computing. **IEEE Access**, Estados Unidos, v. 7, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2923610.

QI, Qinglin; TAO, Fei. Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison. **IEEE Access**, Estados Unidos, v. 6, p. 3585-3593, 2018. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2793265.

RAJ, Alok *et al.* Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. **International Journal of Production Economics**, v. 224, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546>.

RAPP, Katie. **Artificial intelligence in manufacturing: real world success stories and lessons learned**, NIST, Gaithersburg, 2022. Disponível em: <https://www.nist.gov/blogs/manufacturing-innovation-blog/artificial-intelligence-manufacturing-real-world-success-stories>. Acesso em: 6 set. 2022.

REDDY, Kotha R. K. *et al.* Developing a blockchain framework for the automotive supply chain: A systematic review. **Computers and Industrial Engineering**, Inglaterra, v. 157, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107334>.

RODRIGUES, Thoran. Os desafios para implementar Big Data e Inteligência Artificial nas empresas brasileiras. **E-commerce Brasil**, 2019. Disponível em:

<https://www.ecommercebrasil.com.br/artigos/os-desafios-para-implementar-big-data-e-inteligencia-artificial-nas-empresas-brasileiras>. Acesso em 21 nov. 2022.

ROJKO, Andreja. Industry 4.0 concept: background and overview. **International Journal of Interactive Mobile Technologies**, Alemanha, v. 11, n. 5, p. 77-90, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>.

ROLDÁN, Juan J. *et al.* A training system for Industry 4.0 operators in complex assemblies based on virtual reality and process mining. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, Inglaterra, v. 59, p. 305-316, out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.05.004>.

ROSENBERG, Eliot *et al.* Smart architecture-bots and Industry 4.0 principles for architecture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, 33., 2015, Viena. **Proceedings [...]** Vienna, ECAADE, 2015, v. 2, p. 251-259. Disponível em: [http://ecaade.org/downloads/eCAADe2015\\_volume1\\_lowres.pdf](http://ecaade.org/downloads/eCAADe2015_volume1_lowres.pdf). Acesso em: 28 jun. 2022.

RYCK, M.; VERSTEYHE, M.; DEBROUWERE, F. Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques. **Journal of Manufacturing Systems**, Holanda, v. 54, p. 152-173, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.12.002>.

SANTINI, Beatriz. Obstáculos para a Indústria 4.0: quais são e como superá-los? **Pollux**, 2018. Disponível em: <https://pollux.com.br/blog/obstaculos-para-industria-4-0-quais-sao-e-como-supera-los/>. Acesso em 20 nov. 2022.

SANTOS, Reginaldo C.; MARTINHO, José Luís. An industry 4.0 maturity model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Inglaterra, v. 31, n. 5, p. 1023-1043, 2020. DOI: 10.1108/JMTM-09-2018-0284.

SCHMIDT, Rainer *et al.* Industry 4.0: potentials for creating smart products: empirical research results. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUSINESS INFORMATION SYSTEMS, 18., 2015, Poznan. **Proceedings [...]** Springer, v. 208, p. 16-27, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-19027-3\_2.

SCHNEIDER, James. **Medição do nível de maturidade do uso de tecnologia em um ambiente da indústria 4.0**. 2018. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade de Caxias do Sul, Bento Gonçalves, 2018.

Seth, Michael. **An Unpromising Recovery: South Korea's Post-Korean War Economic Development: 1953-1961**. Association for Asian Studies. 2013. Disponível em: <https://www.asianstudies.org/publications/ea/archives/an-unpromising-recovery-south-koreas-post-korean-war-economic-development-1953-1961/>. Acesso em 4 dez. 2022.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Tudo sobre Simulação Digital, um dos principais pilares da Indústria 4.0**. 2019. Disponível em: <https://www.senairs.org.br/industria-inteligente/tudo-sobre-simulacao-digital-um-dos-principais-pilares-da-industria-40>. Acesso em 20 nov. 2022.

SHAH, Bhavana. How does big data impact the automotive industry? **LHP**, Columbus, 2020. Disponível em: <https://www.lhpes.com/blog/how-does-big-data-impact-automotive-industry>. Acesso em: 30 ago. 2022.

SILVEIRA, Geovana. As principais dificuldades de implementação de um sistema RFID. **RFID Brasil**, 2017. Disponível em: <https://rfidbrasil.com/blog/dificuldades-na-implementacao-do-rfid/>. Acesso em: 21 nov. 2022.

SIMMONS, Adam. Ericsson takes the lead in 5g use cases for manufacturing. **Dgtl infra**. 2021. Disponível em: <https://dgtlinfra.com/ericsson-takes-lead-5g-use-cases-manufacturing/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SJÖDIN, David R. *et al.* Smart Factory implementation and process innovation: a preliminary maturity model for leveraging digitalization in manufacturing moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, processes, and technologies. **Research Technology Management**, v. 61, n. 5, p. 22-31, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1471277>

SONG, Inbo. The state of the Korean 3D printing market. **3DPrint.com**, 2021. Disponível em: <https://3dprint.com/284493/the-state-of-the-korean-3d-printing-market/>. Acesso em: 21 nov. 2022.

SONI, Rahul *et al.* Digital twin: intersection of mind and machine. **International Journal of Computational Intelligence & IoT**, Inglaterra, v. 2, n. 3, 2019.

STOROLLI, Wilson G. **Indústria 4.0 - método de avaliação do grau de maturidade: com aplicação no segmento autopeças brasileiro**. 2020. Dissertação de Mestrado (Mestrado Em Engenharia de Produção e Manufatura) – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2020.

SUFIAN, Amr T. *et al.* A roadmap towards the smart factory. International Conference on Developments in eSystems Engineering, 12., 2019, Kazan. **Proceedings [...]** Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019, p. 978-983. DOI: 10.1109/DeSE.2019.00182.

SUH, Min-jun. Edge computing revolution to fuel Korea's growth over the next decade. **The Korean Economic Daily**, 2021. Disponível em: <https://www.kedglobal.com/cloud-computing/newsView/ked202106280010>. Acesso em 20 nov. 2022.

SUMMERTON, Siân. Global Expert Mission: South Korea Immersive Technologies. **KTN**, 2021. Disponível em: [https://ktn-uk.org/wp-content/uploads/2021/08/0427\\_KTN\\_GEM\\_SouthKorea\\_ImmersiveTechnologies\\_External\\_v1.pdf](https://ktn-uk.org/wp-content/uploads/2021/08/0427_KTN_GEM_SouthKorea_ImmersiveTechnologies_External_v1.pdf). Acesso em 21 nov. 2022.

SUNG, Tae Kyung. Industry 4.0: a Korea perspective. **Technological Forecasting & Social Change**, Estados Unidos, v. 132, p. 40-45, jul. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.11.005>.



SUPERO. **3 desafios da indústria na migração para a nuvem**. 2021. Disponível em: Acesso em: <https://www.supero.com.br/blog/3-desafios-da-industria-na-migracao-para-a-nuvem/>. 20 nov. 2022.

TAO, Fei *et al.* Digital Twins and Cyber–Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. **Engineering**, v. 5, n. 4, p. 653-661, ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.01.014>.

TAO, Fei; QI, Qinglin. New IT driven service-oriented smart manufacturing: framework and characteristics. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybersecurity: Systems**, Estados Unidos, v. 49, p. 81-91, jan. 2019. DOI: 10.1109/TSMC.2017.2723764.

TEMESVÁRIA, Zsolt M; MAROSA, Dóra; KÁDÁR, Péter. review of mobile communication and the 5g in manufacturing. **Procedia Manufacturing**, Holanda, v. 32, p. 600-612, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.259>.

THE WORLD BANK. **World bank open data**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/>. Acesso em: 12 set. 2022.

THOBEN, Klaus-Dieter; WIESNER, Stefan; WUEST, Thorsten. “Industrie 4.0” and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. **International Journal of Automation Technology**, Japão, v.11, p. 4-16, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20965/ijat.2017.p0004>.

TOTVS. **Desafios da indústria 4.0 no Brasil**: por que não conseguimos avançar? TOTVS, 2019. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/industria-4-0/>. Acesso em: 23 ago. 2021.

TOTVS. **Indústria 4.0**: o que é, impactos, benefícios e tecnologias. TOTVS, 2021. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/industria-4-0/>. Acesso em: 22 ago. 2021.

TRIVIÑOS, Augusto. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 2008

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Human Development Report 2021-22**. 2022. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/content/latest-human-development-index-ranking>. Acesso em: 1 nov. 2022.

VAIDYA, Saurabh; AMBAD, Prashant; BHOSLE, Santosh. Industry 4.0 – A Glimpse. **Procedia Manufacturing**, Holanda, v. 20, p. 233-238, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>.

VDI. **Como anda a revolução dos robôs na indústria?** 2021. Disponível em: <https://www.vdibrasil.com/como-anda-a-revolucao-dos-robos-na-industria/>. Acesso em: 21 nov. 2022.

VDI. **Integração vertical e horizontal são desafios para a construção de cadeias digitais de valor no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.vdibrasil.com/integracao-vertical-e-horizontal-sao-desafios-para-a-construcao-de-cadeias-digitais-de-valor-no-brasil/>. Acesso em: 21 nov. 2022.

VENTURELLI, Márcio. Maturidade para Indústria 4.0: avaliação qualitativa e quantitativa para implantação da digitalização, **IND4.0**, 2020. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/19931-maturidade-para-industria-40-avaliacao-quantitativa-e-qualitativa-do-nivel-de-tecnologia-gestao-e-pessoas-para-implantacao-da-digitalizacao>. Acesso em: 17 set. 2022.

VIEIRA, Pedro Antônio; OURIQUES, Helton Ricardo; AREND, Marcelo. A posição do Brasil frente à Indústria 4.0: mais uma evidência de rebaixamento para a periferia? **OIKOS**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, 2020, p. 12-34.

VON TUNZELMANN, Nick. Historical coevolution of governance and technology in the industrial revolutions. **Structural Change and Economic Dynamics**, Holanda, v. 14, n. 4, p. 365-384, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0954-349X\(03\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0954-349X(03)00029-8).

WANG, Lihui; TÖRNGREN, Martin; ONORI, Mauro. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, Holanda, v. 37, p. 571-527, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.04.008>.

WANG, Shiyong *et al.* Implementing smart factory of Industrie 4.0: an outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, Estados Unidos, v. 12, 2016. DOI: 10.1155/2016/3159805.

WEISS, Astrid; WORTMEIER, Ann-Kathrin; KUBICEK, Bettina. Cobots in Industry 4.0: A Roadmap for Future Practice Studies on Human–Robot Collaboration. **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, Estados Unidos, v. 51, n. 4, 2021. DOI: 10.1109/THMS.2021.3092684

WISHBOX. **Manufatura Aditiva: Por que os fabricantes (ainda) não foram conquistados?** 2021. Disponível em: <https://www.wishbox.net.br/blog/manufatura-aditiva-fabricantes/>. Acesso em: 27 nov. 2022.

WINKLER; Marcus *et al.* **How automotive organizations can maximize the smart factory potential.** Capgemini, 2020. Disponível em: <https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2020/02/Report-%E2%80%93Auto-Smart-Factories.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2021.

XU, Min; DAVID, Jeanne M.; KIM, Kuk Hi. The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges. **International Journal of Financial Research**, Canada, v. 9, n. 2, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5430/ijfr.v9n2p90>.

YOON, Jang Seob. **Automotive industry in South Korea - statistics & facts.** Statista, 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/topics/5249/automotive-industry-in-south-korea/>. Acesso em: 1 nov. 2022.

ZENADJI, Anis. Essentium Partners with Hephzibah to Speed Up Additive Manufacturing in South Korea. **IEN Europe**, 2020. Disponível em: <https://www.ien.eu/article/essentium-partners-with-hephzibah-to-speed-up-additive-manufacturing-in-south-korea/?a=enquire>. Acesso em: 21 nov. 2022.

ZHONG, Ray Y. *et al.* Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A Review. **Engineering**, Inglaterra, v.3, n. 5, p.616-630, out. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>.

## APÊNDICE A – Resumo das Tecnologias

TECNOLOGIA	DEFINIÇÃO
Internet das Coisas (IoT)	A IoT conecta dispositivos físicos como máquinas e sistemas embarcados (OZTEMEL; GURSEV, 2020), habilitando a hiperconectividade entre objetos que podem gerar, coletar, armazenar, analisar e trocar dados em tempo real (ZHONG <i>et al.</i> , 2017). Quanto mais combinações de fontes de dados e mais robusta a análise e maior a rapidez nas tomadas de decisões (JAVAID <i>et al.</i> , 2021b).
Sistema Ciber-Físico (CPS)	O CPS é a interação do mundo real com o virtual pela digitalização de dados em infraestruturas de comunicação e computação (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019), transformando-os em informações valiosas no domínio cibernético (OZTEMEL; GURSEV, 2020) e modelar a resposta de um sistema em vários cenários para decisões inteligentes em tempo real (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018). Representa ciclos de coleta e análise de dados do mundo físico, seguido pelo fornecimento de feedback dos resultados, através da cópia virtual (KIM; PARK, 2017), ao monitorar processos e desempenho e realizar testes e simulações (TAO; QI, 2019).
Digital Twin (DT)	O DT é a reprodução digital em tempo real de entidades físicas, com existência simultânea no ambiente virtual e físico, mapeia os objetos fielmente, além de poder otimizá-los com base em modelos (HE; BAI, 2021). O DT auxilia na manutenção preditiva, planejamento e controle da produção e no suporte às decisões.
Computação em Nuvem	A nuvem é usada para aplicativos com serviços remotos com respostas rápidas aos dados armazenados (ZHONG <i>et al.</i> , 2017) em um modelo sob demanda, com servidores virtuais externos, de recursos configuráveis (LEE; LEE, 2015). A nuvem oferece o compartilhado de softwares, dados, instalações, recursos de fabricação e máquinas virtuais (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015). O grande número de dados gerados na fabricação é virtualizado e as informações relevantes armazenadas na nuvem (TAO; QI, 2019).
Big Data	Big Data armazena informações de todos os objetos conectados à internet com alguma coleta e transmissão de dados (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018), porém, para usufruir das vantagens é necessário também interpretá-las (BÜCHI; CUGNO; CASTAGNOLI, 2020; POLIVKA; DVORAKOVA, 2021). Para isso, utiliza-se analytics que analisa o grande volume de dados, extrai valor das informações armazenadas e toma decisões racionais e ágeis em tempo real (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).
Inteligência Artificial (AI)	A AI representa o reconhecimento de padrões (KIM <i>et al.</i> , 2022), software com grandes capacidades, em tempo real, de processamento dos dados de alto volume, variedade e velocidade, com a capacidade de tratar incertezas e otimização em larga escala para responder a eventos de forma racional e sem intervenção humana (PERES <i>et al.</i> , 2020).
Machine learning	Machine learning representa técnicas computacionais para extrair informações relevantes para tomada de decisão, após a coleta dos dados da produção detecta padrões, classifica sistemas e obtém evidências históricas para informar as probabilidades entre opções de qual funcionou melhor no passado para prever condições futuras (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018; MA <i>et al.</i> , 2021).
Sensores	Sensores monitoram processos pela detecção de estímulos do ambiente e respondem a um sinal digital mensurável convertidos para distribuição e análise. Sensores conectam dispositivos (máquinas, produtos e processos) e sistemas para rastreá-los em uma extensa rede de comunicação (JAVAID <i>et al.</i> , 2021b). A Identificação por Radiofrequência (RFID) utiliza a comunicação sem fio entre um objeto (etiqueta) e um dispositivo de interrogação (leitor) para rastrear e identificar automaticamente objetos por meio de ondas de rádio (BAI <i>et al.</i> , 2020).
Robôs	Robôs realizam tarefas e operações rotineiras que podem ser difíceis, em condições perigosas ou desfavoráveis para humanos (OZTEMEL; GURSEV, 2020). Robôs autônomos replicam ações humanas na manufatura (BAI <i>et al.</i> , 2020). Cobots trabalham junto com pessoas de maneira segura no ambiente de trabalho (BAI <i>et al.</i> , 2020). Veículos guiados automatizados (AGV) realizam tarefas determinadas com

	rotas predefinidas sem o envolvimento de um operador (RYCK; VERSTEYHE; DEBROUWERE, 2020).
Manufatura Aditiva	A Manufatura Aditiva cria objetos em três dimensões ao aplicar diversas camadas por adição de material (BAI <i>et al.</i> , 2020). Na manufatura aditiva, a partir de um modelo digital da peça a ser fabricada em 3D, transforma-se as matérias primas em peças finais (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018).
Realidade Aumentada (AR)	A AR auxilia na visualização de informações que podem, ou não, serem vistas diretamente no ambiente de fabricação real pela sobreposição de informações virtuais geradas por computador no espaço de trabalho físico em tempo real por interfaces como computadores e visores ópticos (OZTEMEL; GURSEV, 2020).
Simulação	A simulação representa o uso de computadores para modelar, simular e otimizar operações e objetos em uma fábrica (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). Simulações utilizam dados em tempo real para refletir o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e humanos (OZTEMEL; GURSEV, 2020).
Integração Horizontal e Vertical	A digitalização da cadeia de valor horizontal permite integrar e otimizar o fluxo de informações e mercadoria do cliente a partir da empresa para o fornecedor, ou vice-versa. A digitalização vertical garante o fluxo de informações e dados, desde vendas, desenvolvimento, até manufatura e logística dentro de uma única empresa (GEISSBAUER <i>et al.</i> , 2014), aumenta a comunicação e troca de informações entre diferentes níveis de hierarquia (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).
Segurança	Cybersecurity é a proteção do fluxo de informações, hardware e software em sistemas corporativos interconectados de serem roubadas, comprometidos ou atacados (BAI <i>et al.</i> , 2020) com possível consequências no mundo virtual e real (MULLET; SONDI; RAMAT, 2021). Blockchain garante a aquisição e o armazenamento de dados verificados à prova de adulteração.
Edge Computing	Edge Computing permite maior poder de armazenamento e processamento de diversos dispositivos IoT, distribuindo recursos de computação e diminuindo a carga de trabalho na nuvem (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018). As análises de dados feitas onde os dados são criados minimizam o tempo de latência entre coleta e resposta, reduzindo os riscos de conexão e segurança.

## APÊNDICE B – Questionário

### AVALIAÇÃO DO NÍVEL DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 EM EMPRESAS DO SETOR MANUFATUREIRO

Este questionário foi desenvolvido para obter informações a serem analisadas no **Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação** da aluna Gabrielle Oliveira Pimenta no curso de **Engenharia Automotiva - UFSC** (Universidade Federal de Santa Catarina).

O questionário aborda perguntas sobre as **principais tecnologias da Indústria 4.0** no setor manufatureiro, trata-se de noções dos conceitos com o intuito de avaliar qual o nível tecnológico de cada uma e, também, se há diferença do grau das tecnologias entre fábricas instaladas no Brasil e na Coreia do Sul.

O preenchimento do questionário dura cerca de **10 minutos** e as informações fornecidas serão mantidas no anonimato.

Qualquer **dúvida ou problema** no preenchimento do questionário, entre em contato por email: [gabriellepimenta@hotmail.com](mailto:gabriellepimenta@hotmail.com) ou por celular: (41) 98864-5597

#### INFORMAÇÕES PESSOAIS

Qual é o seu nome?

Esta informação não será divulgada.

Sua resposta

Qual é a sua formação? \*

Sua resposta

Qual é o seu cargo? \*

Sua resposta

Em qual setor da empresa trabalha? \*

Sua resposta

Qual a sua familiaridade com os conceitos da Indústria 4.0? \*

Com base na definição e opções apresentadas a seguir informe a sua familiaridade:

As fábricas inteligentes **empregam múltiplas tecnologias de ponta**, oriundas da Indústria 4.0, como: internet das coisas, digital twin, big data e machine learning, capazes de integrar aos processos de fabricação e criar produtos que refletem as necessidades dos clientes por um sistema de manufatura eficiente<sup>1,2</sup> com melhor resposta da produção<sup>3</sup>. Com isso, **transforma-se a cadeia de valor da indústria** e os modelos de negócios, levando a manufaturas flexíveis e reconfiguráveis que atendem o mercado dinâmico e global<sup>4</sup>.

- X - Nenhum conhecimento
- 1 - Quase nenhum conhecimento
- 2 - Pouco conhecimento
- 3 - Moderado conhecimento
- 4 - Intermediário conhecimento
- 5 - Total conhecimento

## INFORMAÇÕES DA EMPRESA

Qual o nome da empresa em que trabalha? \*

O nome da empresa será divulgado apenas se ao final do questionário o Sr(a) aprovar na questão referente ao sigilo das informações.

Sua resposta

---

Qual o país está localizado a fábrica em que trabalha? \*

- Brasil
- Coreia do Sul
- Outro: \_\_\_\_\_

Sua empresa é multinacional? \*

- Sim
- Não

Qual o segmento da sua empresa? \*

- Automotivo
- Eletrônico
- Naval
- Químico
- Têxtil
- Outro:

Qual a posição da cadeia de valor da sua empresa? \*

- OEM - Montadoras responsáveis por fornecer o produto final
- TIER 1 - Fabricam sistemas ou componentes usados no produto final
- TIER 2 - Fabricam peças e equipamentos
- TIER 3 - Fornecedores de matéria prima ou próximos, como metal e plásticos
- Outro: \_\_\_\_\_

Qual o porte da empresa? \*

- Microempresa - até 19 colaboradores
- Pequena empresa - de 20 a 99 colaboradores
- Média empresa - de 100 a 499 colaboradores
- Grande empresa - acima de 500 colaboradores

## AVALIAÇÃO DO NÍVEL DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 - ORIENTAÇÕES

Na próxima seção busca-se avaliar o nível das principais tecnologias da Indústria 4.0 na sua empresa para avaliar o quão desenvolvida está cada uma no Brasil ou/e na Coreia do Sul. Para cada tecnologia abordada uma breve explicação é apresentada. Todas as perguntas desta seção são de **múltipla escolha**, as **questões apresentam seis níveis com uma sequência de aumento tecnológico**.

Qual a localização da fábrica em que responderá o questionário? \*

Nesta questão pode-se escolher em avaliar o nível tecnológico das fábricas instaladas no Brasil, Coreia do Sul ou em ambas (caso tenha).

**Ao escolher pela opção de ambas cada pergunta requererá duas respostas** sobre a empresa que trabalha: a primeira sobre o **nível da tecnologia da fábrica no Brasil** e a segunda sobre o **nível da fábrica na Coreia do Sul**. Caso não saiba a informação, tem uma alternativa com essa possibilidade.

*\* Caso tenha algum domínio sobre algumas das tecnologias, ao escolher ambos os países ajudará muito na análise.*

- Brasil
- Coreia do Sul
- Ambos (Brasil e Coreia do Sul)

## TECNOLOGIAS

### INTERNET DAS COISAS

A **Internet das Coisas (IoT)** conecta dispositivos físicos como máquinas e sistemas embarcados<sup>5</sup>, habilitando a **hiperconectividade entre objetos que podem gerar, coletar, armazenar, analisar e trocar dados em tempo real**<sup>5</sup>. Quanto mais combinações de fontes de dados e mais robusta a análise e maior a rapidez nas tomadas de decisões<sup>6</sup>.

Qual o nível de implementação de conexão 5G na fábrica? \*

O 5G acelera a transformação digital da manufatura ao fornecer **alta disponibilidade e confiabilidade, baixa probabilidade de erro de dados e curto tempo de resposta**.

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos
- Nível 2. Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas
- Nível 3. Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos
- Nível 4. Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados
- Nível 5. Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos



Qual o nível da infraestrutura de equipamentos com sistema embarcado, para a aquisição e processamento de dados, e a comunicação entre si e com outros sistemas? \*

Sistemas embarcados: processador, softwares, redes que controlam sistemas.

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Início da digitalização com máquinas controladas por software, ativos não conectados à rede, produtos e processos sem representação no cibernético
- Nível 2. Certa conectividade para acesso remoto industrial e/ou controle remoto de máquinas, os produtos e processos não possuem representação virtual
- Nível 3. Estratégia definida para coletar e analisar dados para a melhoria da fabricação com produção orientada para processo, os produtos e processos possuem parcial digitalização para troca de informações entre equipamentos e funcionários
- Nível 4. Análise sofisticada e operacionalização consistente por meio de padrões de melhores práticas em rede de comunicação única entre equipamentos e sistemas computacionais da empresa. Recursos de TI, AI e machine learning com agentes interconectados e integrados horizontal e verticalmente
- Nível 5. Plataformas integradas e técnica unificada com ativos inteligentes, processos controlados dinamicamente por todo o ecossistema e integrados remotamente. Troca de informação em tempo real, a tomada de decisão é autônoma, autocorreção e execução de ações por comunicação contínua com outros objetos conectado a IoT

Qual o nível dos sistemas de informação, comunicação e operacionais integrados? Capazes de atender aos requisitos de interoperabilidade. \*

Exemplo: sistemas para gestão de cadeia de fornecimento, produção integrando equipamentos. Interoperabilidade: capacidade de sistemas e organizações trabalharem em conjunto para trocar informações de maneira eficaz e eficiente.

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos
- Nível 2. Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas
- Nível 3. Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos
- Nível 4. Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados
- Nível 5. Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos

## SISTEMA CIBER-FÍSICO

O Sistema Ciber-Físico (CPS) é a **interação do mundo real com o virtual** pela digitalização de dados em infraestruturas de comunicação e computação<sup>7</sup>, transformando-os em informações valiosas no domínio cibernético<sup>5</sup> e modelar a resposta de um sistema em vários cenários para decisões inteligentes em tempo real<sup>3</sup>. **Representa ciclos de coleta e análise de dados do mundo físico, seguido pelo fornecimento de feedback dos resultados, através da cópia virtual<sup>8</sup>**, ao monitorar processos e desempenho e realizar testes e simulações<sup>9</sup>.

Qual o nível de digitalização dos equipamentos e processos produtivos de sua empresa? \*

Equipamentos e sistemas integrados de informação e comunicação: sensores, conexão IoT, monitoramento digital, controle, otimização e automação.

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Dados físicos de processo e ambiente são registrados por algum tipo de sensor instalado na fábrica, esses dados são processados e armazenados para rastrear o comportamento real do sistema
- Nível 2. O CPS é parcialmente interligado com outros sistemas, consegue analisar dados históricos e em tempo real e fornece dados próprios para outros sistemas
- Nível 3. Os dados registrados são processados, interpretados e enriquecidos pelo CPS e serviços externos fornecem recomendações para o comportamento do sistema em conformidade. O CPS ainda está a nível dos equipamentos, compondo o sistema de informações da empresa
- Nível 4. O CPS está totalmente integrado com os demais sistemas da empresa em uma rede colaborativa, com troca de informações em tempo real, consegue se adaptar para contextos específicos e emitir alertas de possíveis falhas
- Nível 5. O CPS está totalmente integrado, a partir das trocas de informações com equipamentos, pessoas e objetos, consegue se autocorrigir, melhorar o seu desempenho e a capacidade de resolução de problemas rapidamente e sem a interferência humana

Qual o nível de utilização do CPS através do uso de ferramenta ou sistema de gerenciamento de dados do produto? \*

Para armazenar e controlar arquivos e visualização da objetos, gerenciamento dos dados em CAD/CAE/CAM e fornecendo informações em tempo real integrando toda a organização.

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos
- Nível 2. Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas
- Nível 3. Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos
- Nível 4. Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados
- Nível 5. Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos

#### DIGITAL TWIN

O Digital Twin (DT) é a **reprodução digital em tempo real de entidades físicas**, com existência simultânea no ambiente virtual e físico, mapeia os objetos fielmente, além de poder otimiza-los com base em modelos<sup>10</sup>. O DT auxilia na manutenção preditiva, planejamento e controle da produção e no suporte à decisões.

Qual o nível que o Digital Twin possui nas instalações de fabricação e nos equipamentos que reproduzem virtualmente o mundo físico? Para reagir dinamicamente as mudanças na demanda. \*

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. O DT fornece modelo virtual com coleta de dados em tempo real sem o controle da parte física, apenas apresenta modelos 2D e 3D de alguns elementos da fábrica
- Nível 2. O DT monitora condições atuais com modelos digitais e análise em tempo real, com decisões autônomas realizadas apenas para algumas funcionalidades do DT
- Nível 3. Ativos e dados compartilhados em um formato padronizado; diagnóstico remoto são realizados, porém com autonomia limitada a determinadas condições
- Nível 4. A representação virtual decide e controla diversos elementos físicos remotamente por integração e interação bidirecional de dados
- Nível 5. Suporte inteligente à tomada de decisões por conta própria, convergência do virtual para física de equipamentos, linhas de produção com operação e manutenção autônomas e bidirecionais

## COMPUTAÇÃO EM NUVEM

A nuvem é usada para aplicativos com serviços remotos com respostas rápidas aos dados armazenados<sup>4</sup> em um modelo sob demanda, com servidores virtuais externos, de recursos configuráveis<sup>11</sup>. A nuvem oferece o compartilhado de softwares, dados, instalações, recursos de fabricação e máquinas virtuais<sup>12</sup>. O grande número de dados gerados na fabricação são virtualizados e as informações relevantes armazenadas na nuvem<sup>9</sup>.

Qual o nível da utilização da Computação em Nuvem em sua empresa? \*

Uso de armazenamento de arquivos, ambientes virtualizados e processamento de dados.

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Adequação dos softwares e serviços existentes pra a nuvem. Alguns serviços de nuvem utilizados, principalmente o armazenamento de informações com limitação do compartilhamento em rede
- Nível 2. Preparativos para migração dos dados para a nuvem. Alguns processos/departamentos com recurso disponível para nuvem
- Nível 3. Crescentes serviços gerenciados na nuvem, a cadeia tem acesso a nuvem para compartilhar informações e softwares de planejamento e previsão, mas a sincronização não é em tempo real
- Nível 4. Aplicativos em nuvem amplamente usados na organização com métricas apropriadas. A computação é sem servidor e banco de dados, pois os processos de desenvolvimento e gestão de softwares são na nuvem
- Nível 5. Informações são coletadas e armazenadas na nuvem com agilidade; interoperável desenvolvida e otimizada proativamente por meio de medidores e uso de dados. Softwares usam como padrão a execução na nuvem com decisões tomadas de forma autônoma

## BIG DATA

Big Data armazena informações de todos os objetos conectados a internet com alguma coleta e transmissão de dados<sup>3</sup>, porém, para usufruir das vantagens é necessário também interpretá-las<sup>13,14</sup>. Para isso, utiliza-se analytics que analisa o grande volume de dados, extrai valor das informações armazenadas e toma decisões racionais e ágeis em tempo real<sup>7</sup>.

Qual o nível do uso de recurso de Big Data em sua empresa? \*

Atrelado a mineração e processamento de grande volume de dados para auxiliar a fabricação em tempo real.

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Big data implementado em alguns processos/departamentos, os dados são apenas aglomerado com uso orientado por planilhas pois não explora recursos de analytics
- Nível 2. Início da coleta de dados e o uso de analytics para a tomada de decisão em alguns processos/departamentos
- Nível 3. Dados são coletados em diferentes formatos, o analytics os analisa de maneira centralizada por data warehousing e business intelligence. A sincronização em tempo real das informações não está totalmente implementada
- Nível 4. Dados são um ativo estratégico e o analytics é uma ferramenta competitiva de valor central com limitado uso de inteligência artificial e machine learning para agregar valor
- Nível 5. A captação de dados é integrada a sensores, a inteligência artificial e machine learning são aplicados no núcleo operacional para análise e tomada de decisão a partir dos dados em tempo real

## INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A Inteligência Artificial (AI) representa o reconhecimento de padrões<sup>15</sup>, software com **grande capacidades, em tempo real, de processamento** dos dados de alto volume, variedade e velocidade, com a capacidade de tratar incertezas e otimização em larga escala para responder a eventos de forma racional e sem intervenção humana<sup>16</sup>.

Qual o nível de recursos com tecnologias de AI que permitem a tomada de decisão autônoma? \*

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos
- Nível 2. Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas
- Nível 3. Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos
- Nível 4. Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados
- Nível 5. Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos

## MACHINE LEARNING

**Machine learning** representa técnicas computacionais para extrair informações relevantes para tomada de decisão, após a coleta dos dados da produção detecta padrões, classifica sistemas e obtém evidências históricas para informar as probabilidades entre opções de qual funcionou melhor no passado para prever condições futuras<sup>3,12</sup>.

Qual o nível de processos produtivos auxiliados por Machine Learning para tomar \* decisões com base nas experiências?

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos
- Nível 2. Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas
- Nível 3. Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos
- Nível 4. Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados
- Nível 5. Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos

## SENSORES E RFID

**Sensores monitoram processos pela detecção de estímulos** do ambiente e respondem a um sinal digital mensurável convertidos para distribuição e análise. **Sensores conectam dispositivos** (máquinas, produtos e processos) e **sistemas para rastreá-los em** uma extensa rede de comunicação<sup>6</sup>. A **Identificação por Radiofrequência (RFID)** utiliza a **comunicação sem fio entre um objeto (etiqueta)** e um **dispositivo de interrogação (leitor)** para rastrear e identificar automaticamente objetos por meio de ondas de rádio<sup>16</sup>.



Qual o nível da utilização de Sensores para a medição de parâmetros na fábrica? \*

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos
- Nível 2. Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas
- Nível 3. Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos
- Nível 4. Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados
- Nível 5. Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos

Qual o nível de rastreabilidade de produtos e elementos na fábrica? \*

Utilização de RFID para identificação, sensores, IoT e produtos inteligentes.

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos
- Nível 2. Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas
- Nível 3. Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos
- Nível 4. Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados
- Nível 5. Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos

## ROBÔS

**Robôs realizam tarefas e operações rotineiras** que podem ser difíceis, em condições perigosas ou desfavoráveis para humanos<sup>5</sup>. **Robôs autônomos replicam ações humanas na manufatura**<sup>18</sup>. **Cobots trabalham junto com pessoas** de maneira segura no ambiente de trabalho<sup>18</sup>. **Veículos guiados automatizados (AGV) realizam tarefas determinadas com rotas predefinidas** sem o envolvimento de um operador<sup>19</sup>.

Qual o nível dos autonomia dos robôs nas linhas de produção na sua fábrica? \*

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Uso de algum tipo de robô sem a capacidade para gerenciamento remoto ou sinalização de erro. São robôs sem autonomia, operando em posições pré-definidas, sem qualquer suporte de AI
- Nível 2. Robôs com tecnologia de sensoriamento e programação para operar simultaneamente com pessoas. Não tem capacidade para gerenciamento remoto, apenas emitir sinais visuais ao encontrar erros e melhorias orientadas
- Nível 3. Postos de trabalho com autonomia parcial dos robôs ao reconhecer e pegar partes que não tem posições pré-definidas, ao encontrar obstáculo consegue avisar, mas requer intervenção manual para corrigir qualquer problema
- Nível 4. Os robôs estão integrados entre si e com os demais sistemas e elementos da fábrica, são capazes de enviar sinal digital de erro, ser operados remotamente no local e fazer planos de implementação dentro de limites especificados
- Nível 5. Robôs com a habilidade de aprender atividades pela interação com pessoas e outros robôs, são totalmente autônomos, capazes de gerenciamento remoto externo e autoconfiguração. Estão integrados com outros equipamentos da empresa para tomada de decisões de fabricação otimizadas

Qual o nível dos Cobots na fábrica? \*

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos
- Nível 2. Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas
- Nível 3. Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos
- Nível 4. Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados
- Nível 5. Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos



Qual o nível de implementação de peças e elementos que podem ser guiados autonomamente através das linhas de produção? \*

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos
- Nível 2. Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas
- Nível 3. Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos
- Nível 4. Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados
- Nível 5. Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos

## MANUFATURA ADITIVA

A **Manufatura Aditiva** cria objetos em três dimensões ao aplicar diversas camadas por adição de material<sup>18</sup>. Na manufatura aditiva, a partir de um modelo digital da peça a ser fabricada em 3D, transforma-se as matérias primas em peças finais<sup>3</sup>.

Qual o nível de utilização de componente para a linha de produção através da fabricação aditiva? \*

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Usada ocasionalmente e não é integrada com o desenvolvimento de produto ou processos
- Nível 2. Usada em algumas aplicações, como técnicas de prototipagem para observar tamanho e forma
- Nível 3. Usada frequentemente em peças desenhadas para aplicações especiais obtidas a partir de experiências como a impressão 3D
- Nível 4. Peças são projetadas e novos materiais experienciados pela manufatura aditiva. As impressoras 3D estão integradas com os demais equipamentos e sistemas da organização
- Nível 5. A manufatura aditiva está integrada com os processos de desenvolvimento de produtos e processos. A mudança na fabricação das peças é possível de forma autônoma

## REALIDADE AUMENTADA

A **Realidade Aumentada (AR)** auxilia na **visualização** de informações que podem, ou não, serem vistas diretamente no ambiente de fabricação real pela **sobreposição de informações virtuais** geradas por computador no espaço de trabalho físico em tempo real por interfaces como computadores e visores ópticos<sup>5</sup>.

Qual o nível de utilização de atividades com Realidade Aumentada para auxiliar operações? \*

Como sistemas supervisórios e informações e interfaces contextualizadas para as tarefas.

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. A empresa já possui algum equipamento ou software para a AR
- Nível 2. Possui alguma aplicação da AR, ainda de forma isolada, fora do sistema produtivo
- Nível 3. A AR faz parte do sistema produtivo da empresa em operações de produção como instrução, inspeção, ou em situações de manutenção
- Nível 4. Há integração com outros sistemas da companhia com correções de maneira rápidas
- Nível 5. A AR apontar possíveis falhas e informa o usuário, está totalmente integrada com os demais sistemas da empresa

## SIMULAÇÃO

A **simulação** representa o uso de **computadores para modelar, simular e otimizar operações e objetos em uma fábrica**<sup>7</sup>. Simulações utilizam dados em tempo real para refletir o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e humanos<sup>5</sup>.

Qual o nível de modelação digital para simular o desempenho de seus principais processos? \*

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Alguns padrões são identificados e os sistemas de medição e avaliação são através de apontamentos manuais e em pontos isolados
- Nível 2. Há análise de medição, controle e planejamento das atividades. Inspeções, manutenção de qualidade e processos de engenharia começam a ser executadas
- Nível 3. O planejamento e programação da produção tem o objetivo de atender a demanda no prazo estabelecido com um maior rendimento e produtividade
- Nível 4. Processos são continuamente melhorados e operações da empresa são simuladas em ambiente virtual pelo digital twin
- Nível 5. Simulação feita em tempo real e de forma integrada com resultados alimentando outros sistemas da empresa e interagem com os mesmos otimizando o desempenho da organização

## INTEGRAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL

A digitalização da cadeia de valor horizontal permite integrar e otimizar o fluxo de informações e mercadoria do cliente a partir da empresa para o fornecedor, ou vice-versa. A digitalização vertical garante o fluxo de informações e dados, desde vendas, desenvolvimento, até manufatura e logística dentro de uma única empresa<sup>20</sup>, aumenta a comunicação e troca de informações entre diferentes níveis de hierarquia<sup>7</sup>.

Qual o nível de integração entre setores e entre a cadeia de valor em tempo real? \*

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. Os dados para a produção são integrados com aplicativos corporativos de gerenciamento e produção para otimização e alocação de recursos
- Nível 2. Os dados relevantes para a fabricação também estão integrados com outros dados de negócios de pós-venda, logística, finanças e marketing - a partir de planilhas que usam dados exportados manualmente de sistemas
- Nível 3. Os dados entre sistemas empresariais e de chão de fábrica são integrados e trocados com integração horizontal com a troca de dados com fornecedores e clientes
- Nível 4. A comunicação e cooperação de ativos na fábrica é baseada em dados com tomada de decisões eficiente. E uma comunicação e cooperação entre as empresas da cadeia
- Nível 5. Análises avançadas para extração de informações de dados, em tempo real, e ciclo de feedback automatizado entre trabalhadores e máquinas para a autoaprendizagem na fábrica inteligente. Essas análises avançadas também são realizadas com a cadeia de valor da organização

## SEGURANÇA

**Cybersecurity** é a **proteção do fluxo de informações**, hardware e software em sistemas corporativos interconectados de serem roubadas, comprometidos ou atacados<sup>18</sup> com possível consequências no mundo virtual e real<sup>21</sup>. **Blockchain garante a aquisição e o armazenamento de dados verificados à prova de adulteração.**

### Qual o nível de recurso de Segurança da Informação? \*

Os processos da empresa podem ser considerados seguros do ponto de vista da segurança da informação: disponibilidade de dados, integridade das informações e confidencialidade.

- X. Não sei responder
- Nível 0. Inexistente
- Nível 1. A organização reconhece os riscos do negócio devido a vulnerabilidades, mas não tem procedimentos definidos de proteção. O controle utilizado é reativo e não planejado
- Nível 2. A segurança dos sistemas e da rede é implementada. As organizações não classificam seus usuários como ameaças aos seus sistemas
- Nível 3. Usuários são confiáveis, mas suas interações com os sistemas são vistas como vulnerabilidade. Controles de acesso são obrigatórios e monitorados de perto. Usa-se senhas diferentes para distintos aplicativos e alterações de senha frequentes para reduzir práticas inseguras de trabalho
- Nível 4. Controle sobre as necessidades de segurança da organização. Existe um plano abrangente com procedimentos formais para prevenir, detectar e corrigir assuntos relacionados
- Nível 5. Correções de riscos de forma autônoma, o sistema é evoluído a ponto de melhorar a sua proteção sem a intervenção humana

## EDGE COMPUTING

**Edge Computing** permite maior poder de armazenamento e processamento de diversos dispositivos IoT, distribuindo recursos de computação e diminuindo a carga de trabalho na nuvem<sup>2</sup>. As **análises de dados feitas onde os dados são criados minimizam o tempo de latência entre coleta e resposta**, reduzindo os riscos de conexão e segurança.









Qual o nível de utilização do CPS através do uso de ferramenta ou sistema de gerenciamento de dados do produto?

Para armazenar e controlar arquivos e visualização da objetos, gerenciamento dos dados em CAD/CAE/CAM e fornecendo informações em tempo real integrando toda a organização.

X. Não sei responder

Nível 0. Inexistente

Nível 1. Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos

Nível 2. Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas

Nível 3. Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos

Nível 4. Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados

Nível 5. Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos

	X	0	1	2	3	4	5
Brasil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coreia do Sul	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## DIGITAL TWIN

O Digital Twin (DT) é a **reprodução digital em tempo real de entidades físicas**, com existência simultânea no ambiente virtual e físico, mapeia os objetos fielmente, além de poder otimiza-los com base em modelos<sup>10</sup>. O DT auxilia na manutenção preditiva, planejamento e controle da produção e no suporte à decisões.



Qual o nível que o Digital Twin possui nas instalações de fabricação e nos equipamentos que reproduzem virtualmente o mundo físico? Para reagir dinamicamente as mudanças na demanda. \*

X. Não sei responder

Nível 0. Inexistente

Nível 1. O DT fornece modelo virtual com coleta de dados em tempo real sem o controle da parte física, apenas apresenta modelos 2D e 3D de alguns elementos da fábrica

Nível 2. O DT monitora condições atuais com modelos digitais e análise em tempo real, com decisões autônomas realizadas apenas para algumas funcionalidades do DT

Nível 3. Ativos e dados compartilhados em um formato padronizado; diagnóstico remoto são realizados, porém com autonomia limitada a determinadas condições

Nível 4. A representação virtual decide e controla diversos elementos físicos remotamente por integração e interação bidirecional de dados

Nível 5. Suporte inteligente à tomada de decisões por conta própria, convergência do virtual para física de equipamentos, linhas de produção com operação e manutenção autônomas e bidirecionais

	X	0	1	2	3	4	5
Brasil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coreia do Sul	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## COMPUTAÇÃO EM NUVEM

A nuvem é usada para aplicativos com serviços remotos com respostas rápidas aos dados armazenados<sup>1</sup> em um modelo sob demanda, com servidores virtuais externos, de recursos configuráveis<sup>11</sup>. A nuvem oferece o compartilhado de softwares, dados, instalações, recursos de fabricação e máquinas virtuais<sup>12</sup>. O grande número de dados gerados na fabricação são virtualizados e as informações relevantes armazenadas na nuvem<sup>9</sup>.



## INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A **Inteligência Artificial (AI)** representa o reconhecimento de padrões<sup>15</sup>, software com **grande capacidades, em tempo real, de processamento** dos dados de alto volume, variedade e velocidade, com a capacidade de tratar incertezas e otimização em larga escala para responder a eventos de forma racional e sem intervenção humana<sup>16</sup>.

Qual o nível de recursos com tecnologias de AI que permitem a tomada de decisão autônoma? \*

X. Não sei responder

Nível 0. Inexistente

Nível 1. Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos

Nível 2. Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas

Nível 3. Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos

Nível 4. Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados

Nível 5. Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos

	X	0	1	2	3	4	5
Brasil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coreia do Sul	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## MACHINE LEARNING

**Machine learning** representa técnicas computacionais para extrair informações relevantes para tomada de decisão, após a coleta dos dados da produção detecta padrões, classifica sistemas e obtém evidências históricas para informar as probabilidades entre opções de qual funcionou melhor no passado para prever condições futuras<sup>3,17</sup>.





### Qual o nível dos Cobots na fábrica? \*

X. Não sei responder

**Nível 0.** Inexistente

**Nível 1.** Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos

**Nível 2.** Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas

**Nível 3.** Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos

**Nível 4.** Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados

**Nível 5.** Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos

	X	0	1	2	3	4	5
Brasil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coreia do Sul	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Qual o nível de implementação de peças e elementos que poderem ser guiados autonomamente através das linhas de produção? \*

X. Não sei responder

**Nível 0.** Inexistente

**Nível 1.** Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos

**Nível 2.** Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas

**Nível 3.** Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos

**Nível 4.** Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados

**Nível 5.** Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos

	X	0	1	2	3	4	5
Brasil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coreia do Sul	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## MANUFATURA ADITIVA

A **Manufatura Aditiva** cria objetos em três dimensões ao aplicar diversas camadas por adição de material<sup>18</sup>. Na manufatura aditiva, a partir de um modelo digital da peça a ser fabricada em 3D, transforma-se as matérias primas em peças finais<sup>3</sup>.





## SIMULAÇÃO

A **simulação** representa o uso de **computadores para modelar, simular e otimizar operações e objetos em uma fábrica**<sup>7</sup>. Simulações utilizam dados em tempo real para refletir o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e humanos<sup>5</sup>.

Qual o nível de modelação digital para simular o desempenho de seus principais processos? \*

X. Não sei responder

**Nível 0.** Inexistente

**Nível 1.** Alguns padrões são identificados e os sistemas de medição e avaliação são através de apontamentos manuais e em pontos isolados

**Nível 2.** Há análise de medição, controle e planejamento das atividades. Inspeções, manutenção de qualidade e processos de engenharia começam a ser executadas

**Nível 3.** O planejamento e programação da produção tem o objetivo de atender a demanda no prazo estabelecido com um maior rendimento e produtividade

**Nível 4.** Processos são continuamente melhorados e operações da empresa são simuladas em ambiente virtual pelo digital twin

**Nível 5.** Simulação feita em tempo real e de forma integrada com resultados alimentando outros sistemas da empresa e interação com os mesmos otimizando o desempenho da organização

	X	0	1	2	3	4	5
Brasil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coreia do Sul	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## INTEGRAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL

A digitalização da **cadeia de valor horizontal** permite **integrar e otimizar o fluxo de informações e mercadoria do cliente a partir da empresa para o fornecedor, ou vice-versa**. A **digitalização vertical** garante o fluxo de informações e dados, desde vendas, desenvolvimento, até manufatura e logística dentro de uma única empresa<sup>20</sup>, **umenta a comunicação e troca de informações entre diferentes níveis de hierarquia**<sup>7</sup>.





## EDGE COMPUTING

Edge Computing permite maior poder de armazenamento e processamento de diversos dispositivos IoT, distribuindo recursos de computação e diminuindo a carga de trabalho na nuvem<sup>3</sup>. As análises de dados feitas onde os dados são criados minimizam o tempo de latência entre coleta e resposta, reduzindo os riscos de conexão e segurança.

Qual o nível de implementação do Edge Computing? \*

X. Não sei responder

Nível 0. Inexistente

Nível 1. Inicial - baixa e básica implementação em processos imprescindíveis, são pouco controlados e reativos

Nível 2. Gerenciado - início das transformações para Indústria 4.0 onde os processos são caracterizados por projeto e as ações são frequentemente reativas

Nível 3. Estabelecido - operações consistentes com a devida padronização e processos caracterizados para organização e são proativos

Nível 4. Previsível - integração entre a cadeia produtiva e os processos são medidos e controlados

Nível 5. Otimizado - totalmente aderente à Indústria 4.0 e foco contínuo na melhoria de processos

	X	0	1	2	3	4	5
Brasil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coreia do Sul	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## CONCLUINDO

Qual a visão e intenção da sua empresa em utilizar as tecnologias da Indústria 4.0?

Sua resposta

---

Na sua opinião qual a necessidade das tecnologias da Indústria 4.0 no chão de fábrica?

Sua resposta

---

Na sua opinião, quais as principais dificuldades da sua empresa para implementar ou melhorar o nível das tecnologias da Indústria 4.0?

Sua resposta

---

Por ocasião da publicação dos resultados desta pesquisa, os dados abertos da empresa poderão ser citados? \*

Marque sim para permitir a utilização das informações no TCC.

	Sim	Não
Nome da empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Setor de atividade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Porte da empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Qual o seu email?

Informe seu email para receber o resultado da pesquisa.

Sua resposta

---

Neste formulário abordamos conhecimentos da indústria 4.0 e a maturidade dela em sua empresa.

[Referências das tecnologias.](#)

O campo abaixo é destinado caso queira deixar o contato de mais algum especialista da área da indústria 4.0:

Sua resposta

---



---

## AVALIAÇÃO DO NÍVEL DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 EM EMPRESAS DO SETOR MANUFATUREIRO

Muito obrigada por participar da pesquisa, a sua resposta é extremamente importante!

## APÊNDICE C – Entrevista

**INÍCIO:** Solicitar a autorização para gravar e reproduzir as informações.

**OBJETIVO:** apresentar um breve escopo da Indústria 4.0 e que as perguntas são em relação empresas coreanas instaladas no Brasil e na Coreia do Sul.

### ENTREVISTA:

1. CURRÍCULO: Conte-me um pouco da sua trajetória profissional.
2. Consegue exemplificar aplicações das tecnologias apresentadas no questionário em fábricas instaladas no Brasil na Coreia do Sul?
3. Entre as tecnologias apresentadas no questionário quais as mais relevantes em cada país? (IoT, CPS, DT, BD, CC, AR, Robôs, Inteligência artificial, machine learning, sensores – RFID, Manufatura aditiva, Simulação, integração horizontal e vertical, Segurança e Edge Computing).
4. Na sua percepção, quais as dificuldades e preconceitos para a implementação das mudanças tecnológicas da Indústria 4.0 em ambos os países, existem diferenças?
5. Existe discrepância entre as tecnologias da Indústria 4.0 entre os países? Se sim, quais os principais fatores?
6. As empresas coreanas instaladas no Brasil conseguem trazer todas as tecnologias da Indústria 4.0 de suas fábricas na Coreia do Sul para o Brasil? Se não, em sua opinião quais os motivos?
7. SE SIM (4): Como o Brasil pode se espelhar na Coreia do Sul para alavancar a Indústria 4.0 e melhorar sua competitividade no mercado mundial?
8. Quais os setores industriais que apresentam maior maturidade da Indústria 4.0 em cada país?
9. Qual a percepção do Senhor sobre setor automotivo em relação a Indústria 4.0?
10. A CCIBK está elaborando o projeto para a criação da Zona de Livre Comércio entre Brasil e Coreia do Sul. Em sua opinião, ao ser implementada, quais as vantagens para o Brasil em relação a Indústria 4.0 nas fábricas? (Questão realizada com do Presidente da CCIBK).