



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CEAU**



VALDEMAR DE OLIVEIRA PORTO NETO

INDÚSTRIA 4.0 – OS DESAFIOS E OPORTUNIDADES NO BRASIL EM MEIO À PANDEMIA DE COVID-19

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2021

VALDEMAR DE OLIVEIRA PORTO NETO

**INDÚSTRIA 4.0 - OS DESAFIOS E OPORTUNIDADES NO
BRASIL EM MEIO À PANDEMIA DE COVID-19**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientadora: Prof.^a Karla Boaventura Pimenta Palmieri, Dra.

Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
Dezembro/2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

N469i Neto, Valdemar De Oliveira Porto .
Indústria 4.0 - Os Desafios e Oportunidades no Brasil em Meio à
Pandemia de Covid-19. [manuscrito] / Valdemar De Oliveira Porto Neto. -
2021.
58 f.: il.: color., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia de Controle e Automação .

1. Revolução. 2. Indústria 4.0. 3. Economia. 4. Pandemia - Covid-19. I.
Palmieri, Karla Boaventura Pimenta. II. Universidade Federal de Ouro
Preto. III. Título.

CDU 681.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO



ATA DA SESSÃO DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DE OURO PRETO

Aos 13 dias do mês de dezembro do ano de 2021, às 19 horas, reuniu-se por meio de videoconferência (<https://meet.google.com/kud-sizg-cxh>), a Comissão Avaliadora designada para julgar a Monografia do graduando Valdemar de Oliveira Porto Neto do curso de Engenharia de Controle e Automação intitulada "INDÚSTRIA 4.0 – OS DESAFIOS E OPORTUNIDADES NO BRASIL EM MEIO A PANDEMIA DE COVID-19", sob orientação da Profa. Karla Boaventura Pimenta Palmieri sendo a referida Comissão composta pelos professores Karla Boaventura Pimenta Palmieri, Adrielle de Carvalho Santana e Paulo Marcos de Barros Monteiro. A Comissão Avaliadora resolveu considerar o trabalho aprovado atendendo às exigências para defesa e recomendações da banca examinadora.

Ouro Preto, 13 de dezembro de 2021.

Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri – Orientadora

Prof. Dra. Adrielle de Carvalho Santana – Professora Convidada

Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro – Professor Convidado

Valdemar de Oliveira Porto Neto - Aluno



Documento assinado eletronicamente por **Karla Boaventura Pimenta Palmieri, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/12/2021, às 22:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0257773** e o código CRC **16ABE3F6**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me manteve forte diante das dificuldades e dos momentos de solidão. Aos meus pais pelo exemplo de honestidade e pelo apoio, acreditando nos meus sonhos. A minha orientadora Dra. Karla Palmieri pela ajuda e orientação. Aos colegas e amigos da Escola de Minas/UFOP, pela ajuda, colaboração e pela grande experiência de vida proporcionada. Agradeço ainda a todos que me ajudaram de alguma forma nessa caminhada.

RESUMO

A Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 já é uma realidade para as empresas dos países mais desenvolvidos. No processo de evolução dos meios de produção de bens e serviços essa revolução tem modificado o conceito de manufatura e inovação, trazendo novas perspectivas e possibilidades. No Brasil, esse processo ainda não chegou à maioria das empresas, e tem um longo caminho a ser percorrido até ser totalmente assimilado pela indústria nacional. A dificuldade em investir em novas tecnologias para melhoria nos processos de produção de bens e serviços por parte das empresas nacionais é resultado da falta de iniciativas públicas e privadas, e principalmente pela crise econômica, agravada pela pandemia de Covid-19. Entretanto, as previsões pessimistas em relação à retomada da economia brasileira em 2021 e 2022, a competitividade interna e principalmente a mundial, tem levado a indústria nacional a buscar um processo de inovação, ainda que de forma lenta. Nesse sentido algumas iniciativas públicas também estão sendo implementadas, tais como o Decreto nº 10.534, de 2020 que Institui a Política Nacional de Inovação, a Câmara Brasileira da Indústria 4.0, a instituição da Câmara de Inovação e, recentemente, o leilão da tecnologia do 5G demonstram o início, mesmo que tardio, da implementação de uma política de inovação tecnológica. Neste trabalho, analisou-se por meio de pesquisa bibliográfica o conceito de Indústria 4.0, sua evolução, suas tecnologias, além da inserção da indústria nacional nesse contexto e as perspectivas em meio à pandemia de Covid-19.

Palavras-chaves: Revolução. Indústria 4.0. Economia. Pandemia – Covid-19.

ABSTRACT

The Fourth Industrial Revolution or Industry 4.0 is already a reality for companies in more developed countries. In the process of evolution of the means of production of goods and services, this revolution has changed the concept of manufacturing and innovation, bringing new perspectives and possibilities. In Brazil, this process has not yet reached most companies, and it has a long way to go before it is fully assimilated by the national industry. The difficulty in investing in new technologies to improve the production processes of goods and services by national companies is a result of the lack of public and private initiatives, and mainly due to the economic crisis, aggravated by the Covid-19 pandemic. However, the pessimistic forecasts regarding the recovery of the Brazilian economy in 2021 and 2022, the internal competitiveness and mainly the global one, has led the national industry to seek a process of innovation, albeit slowly. In this sense, some public initiatives are also being implemented, such as Decree No. 10.534 of 2020 establishing the National Innovation Policy, the Brazilian Assembly of Industry 4.0, the institution of the Innovation Assembly and, recently, the auction of 5G technology demonstrate the beginning, even if late, of the implementation of a policy of technological innovation. In this work, the concept of Industry 4.0, its evolution, its technologies, in addition to the insertion of the national industry in this context and the perspectives in the midst of the Covid-19 pandemic, were analyzed through bibliographical research.

Key-words: Revolution. Industry 4.0. Economy. Pandemic – Covid-19.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Histórico das Revoluções Industriais.	14
Figura 2: Níveis da pirâmide de automação.	19
Figura 3: Uma rede SCADA básica.	21
Figura 4: Adoção de tecnologias da indústria 4.0.	42
Figura 5: Cruzamento de dados, adoção de tecnologias x lucratividade.	43
Figura 6: Visão futura dos efeitos da manufatura avançada.	44
Figura 7: Vantagens da manufatura avançada para o Brasil.	44
Figura 8: Cruzamento de dados, adoção de tecnologias x inovação.	46
Figura 9: Cruzamento e dados, Adoção de tecnologias x faturamento esperado.	46
Figura 10: Implementação da indústria 4.0 antes da pandemia.	47
Figura 11: Uso das novas tecnologias contra a pandemia de Covid-19.	49

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Empresas que utilizam tecnologias digitais	37
Tabela 2: Produção industrial, segundo as seções e atividades de indústria.	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D – 2 Dimensões

3D – 3 Dimensões

ASCII - *American Standard Code for Information Interchange*

CLP – Controlador Lógico Programável

CNI - Confederação Nacional da Indústria

Covid-19 – Infecção respiratória aguda

CPS – *Cyber Physical Systems*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

HART - *Highway Addressable Remote Transducer*

I4.0 – Indústria 4.0

IA – Inteligência Artificial

IHM - Interface Homem-Máquina

IIoT - *Industrial internet of things*

IoS – *Internet of Services*

IoT – *Internet of Things*

LAN - *Local area network*

MES – *Manufacturing Execution System*

NFC - *Near Field Communication*

RFID - *Radio Frequency Identification*

RTDs - Simulador Digital em Tempo Real

RTU – Remote Terminal Unit

SAP - *System Analysis Program Development*

SCADA- *Supervisory Control and Data Acquisition*

TI – Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Considerações Iniciais	10
1.2	Objetivos gerais	11
1.3	Objetivos específicos	12
1.4	Justificativa do trabalho	12
1.5	Estrutura do trabalho	12
2	REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1	O Início da Revolução Digital e Seu Desenvolvimento	13
2.2	A Quarta Revolução	16
2.3	Arquitetura da Automação	18
2.3.1	SCADA (<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>)	21
2.3.2	MES (<i>Manufacturing Execution System</i>)	22
2.3.3	PIMS (<i>Plant Information Management System</i>)	22
2.3.4	ERP (<i>Enterprise Resource Planning</i>)	22
2.4	Infraestrutura de Comunicação	23
2.4.1	Padrão 4-20 mA e Padrão 0-10 V	24
2.4.2	Padrão <i>Hart</i>	24
2.4.3	Padrão <i>Fieldbus</i>	24
2.4.4	Padrão <i>Modbus</i>	24
2.4.5	Ethernet	25
2.5	Tecnologias da Indústria 4.0	25
2.5.1	Sistemas Ciberfísicos	25
2.5.2	Gêmeos Digitais	26
2.5.3	Computação em Nuvem	26
2.5.4	Internet das Coisas	27
2.5.5	Ambientes Virtuais de Produção	28
2.5.6	Manufatura Aditiva	30
2.5.7	Big Data	32
3	DESENVOLVIMENTO	34
3.1	Metodologia	34
3.2	A indústria 4.0 no Brasil	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	Os desafios em meio à pandemia de covid-19	40
4.2	Oportunidades em meio à pandemia de covid-19	42
5	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O avanço das civilizações está diretamente ligado aos avanços científicos e ao desenvolvimento e transformações do trabalho. Antes da Primeira Revolução Industrial, o modo de trabalho pouco evoluiu ao longo dos anos, devido a certa estabilidade da sociedade com o meio produtivo. A partir da Primeira Revolução essa estabilidade passa a ter uma crescente mudança com novos processos sendo desenvolvidos, e conseqüentemente as relações sociais passam a ter uma nova dinâmica, surgindo as sociedades industriais (BRANDÃO, NEVES, 2021).

Diversos setores são impulsionados, como o econômico, cultural, político e militar. Sendo assim, o avanço tecnológico passa a sofrer influência direta do progresso industrial. Dessa forma, essa industrialização pode ser caracterizada como ponto de partida para a modernização dos meios de produção e para o desenvolvimento econômico, social e tecnológico mundial (CONCEIÇÃO, 2012).

Os processos de manufatura e modernização tiveram início a partir das revoluções industriais, pois com a mecanização da maioria dos processos manufatureiros da Primeira Revolução acelerou-se a oferta de produtos têxteis, e conseqüentemente os seus níveis de produção. Tal aceleração observada no crescente aumento na quantidade e nos tipos de indústrias demandou a necessidade de equipamentos que visavam a mecanização, o aumento e a melhora na qualidade dos produtos. Segundo Almeida (2005), a Segunda Revolução Industrial era baseada nas transformações oferecidas pela eletricidade e pela química.

A criação do telégrafo, do rádio, a revolução taylorista e o fordismo, ajudaram os meios de produção a progredirem a um patamar mais alto e foram os precursores da Terceira Revolução Industrial, na qual o trabalho humano é drasticamente substituído pelo uso do computador e do autosserviço (SINGER, 2004).

De acordo com Silva *et al.* (2002), a Terceira Revolução Industrial é caracterizada por incorporar os avanços científicos da microeletrônica e da informática aos meios de produção,

com o único objetivo de criar e desenvolver produtos e serviços com qualidade e competitividade superiores aos concorrentes.

Esse nível de informatização e automação nos leva à nova etapa do processo de desenvolvimento industrial, a Indústria 4.0 ou Revolução 4.0, pois o conceito de Indústria 4.0 já abrange vários ramos da economia, como Agronomia 4.0, Gestão 4.0, Serviços 4.0, Saúde 4.0 e até Educação 4.0. Todos estes conceitos têm em comum os fundamentos da Revolução Digital que veio para ficar, atingindo todos os setores da sociedade (BRANDÃO, NEVES, 2021).

Segundo Schwab (2019), a primeira referência sobre a Revolução 4.0 aconteceu na Alemanha em 2011, durante a feira de Hannover, onde foi abordado como tema os eventos gerados pelas “fábricas inteligentes” e como estas irão influenciar os processos operacionais e organizacionais ao redor do mundo. Máquinas inteligentes, pessoas conectadas e atividade computacional em escala avançada se fundem buscando eficiência e produtividade em diversos setores industriais.

A Confederação Nacional da Indústria (2016), diz que as indústrias inteligentes são caracterizadas por oferecerem ganhos e impactos positivos, entretanto, sua implementação demanda diversos desafios, que vão desde a necessidade de mão de obra qualificada à volumosos investimentos em tecnologia. Além das dificuldades inerentes à sua implantação, a pandemia mundial causada pelo coronavírus SARS-CoV-2 é outro fator relevante que impactou de forma avassaladora não somente a indústria, mas a sociedade atual como um todo, trazendo novos desafios e oportunidades.

Neste trabalho é apresentada uma revisão bibliográfica sobre esse tema, buscando-se um paralelo sobre os desafios e oportunidades da Indústria 4.0 no Brasil em meio à crise sanitária mundial causada pela pandemia de Covid-19.

1.2 Objetivos gerais

O presente trabalho tem por objetivo abordar o conceito de Indústria 4.0, apresentando um referencial teórico sobre a sua evolução, suas tecnologias e seus fundamentos, bem como a inserção da indústria brasileira nesse novo conceito de produção.

1.3 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica evolutiva sobre o tema;
- Analisar o conceito de Indústria 4.0;
- Analisar os desafios e oportunidades da Indústria 4.0 no Brasil em meio à pandemia de Covid-19.

1.4 Justificativa do trabalho

Diante do cenário de competitividade da indústria mundial, novas tendências têm surgido, trazendo um ambiente de mudanças e inovações. A inserção da indústria brasileira nesse contexto de Indústria 4.0 é cercada de dificuldades inerentes ao próprio processo de renovação. Aliado a isso, a pandemia de Covid-19 impactou significativamente todos os setores industriais do país, trazendo novos desafios e oportunidades.

Nesse sentido, entender o processo de implantação da indústria 4.0 e os impactos da pandemia ao setor produtivo, se faz necessário para adequação de processos, pessoas e tecnologias, proporcionando a inserção da indústria nacional à esse novo contexto, de forma a perceber os desafios e aproveitar as oportunidades apresentadas.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em:

Capítulo 1: Constituído pelas considerações iniciais, onde é apresentada uma introdução ao tema, bem como a justificativa e os objetivos que levaram à elaboração do trabalho;

Capítulo 2: São apresentadas as informações da revisão bibliográfica, com um histórico evolutivo do tema até a atualidade;

Capítulo 3: Neste capítulo é apresentada a metodologia e o panorama da I4.0 no Brasil;

Capítulo 4: Neste capítulo os resultados obtidos são apresentados. É constituído pelas informações do atual estágio da I4.0 no Brasil e suas perspectivas em meio a pandemia de Covid-19;

Capítulo 5: É apresentada as considerações finais com a conclusão do trabalho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Esse capítulo tem como função apresentar os principais acontecimentos que influenciaram no desenvolvimento do trabalho.

2.1 O Início da Revolução Digital e Seu Desenvolvimento

A sociedade é dinâmica em todos os seus aspectos, econômicos, comportamentais e políticos, havendo uma mudança constante em sua evolução, que é percebida na forma como interage, produz e consome. Nesse contexto a tecnologia é responsável por grande parte dessas transformações sendo criado um ciclo que não permite retrocesso (PASQUALOTO, BUBLITZ, 2017).

O início da industrialização ocorreu no século XVIII com a mecanização das fábricas têxteis da Inglaterra. A utilização do vapor deu novo rumo à produção anteriormente realizada de forma caseira e rudimentar, a qual foi dando lugar ao ambiente fabril, caracterizado pela elevada capacidade de produção (SCHUH *et al.*, 2015).

O emprego de máquinas para a fiação e tecelagem iniciou não só o processo de industrialização, mas também um ciclo de inovações e descobertas que impactaram o mundo de forma avassaladora. O trabalho manual foi gradativamente substituído pelas máquinas movidas pela força hidráulica, que posteriormente passaram a ser movidas pela máquina a vapor, inventada por Thomas Newcomen (1664-1729) e aperfeiçoada por James Watt (1736-1819) (ALMEIDA, 2019).

No início do século XIX os avanços tecnológicos influenciaram o trabalho, o pensamento e a forma de vida da população. Por exemplo, a iluminação de rua abastecida a gás é instalada em Londres e surgem as primeiras estradas de ferro facilitando o transporte de produtos das fábricas. Os barcos a vapor dão nova perspectiva para a mobilidade humana e o transporte intercontinental (BRANDÃO, NEVES, 2021).

As indústrias de ferro e aço ganham impulso com a invenção do alto forno. Em meio a isso, as cidades crescem em função das pessoas que deixam os campos para trabalhar nas fábricas. A invenção do telégrafo por Samuel Morse (1791-1872), os trabalhos no campo da

eletricidade promovidos por Georg Simon Ohm (1787-1854) e no eletromagnetismo por Michael Faraday (1791-1867) serviram como ponto de início para mudanças que impactariam o mundo para sempre (SCHUH *et al.*, 2015).

Distâncias passaram a ser encurtadas e o desenvolvimento tecnológico passa ao próximo nível com a chegada da eletricidade e dos motores de combustão interna. Já no final do século XIX o telefone desenvolvido por Alexander Graham Bell (1847-1922), o telégrafo sem fio por Guglielmo Marconi (1874-1937), e os carros desenvolvidos por Karl Friedrich Michael Benz (1844-1929) e Gottlieb Wilhelm Daimler (1834-1900) foram decisivos para marcar a nova era de avanços tecnológicos (ALMEIDA, 2019).

A figura 1 apresenta os vários estágios de desenvolvimento industrial até a chegada da Revolução 4.0.

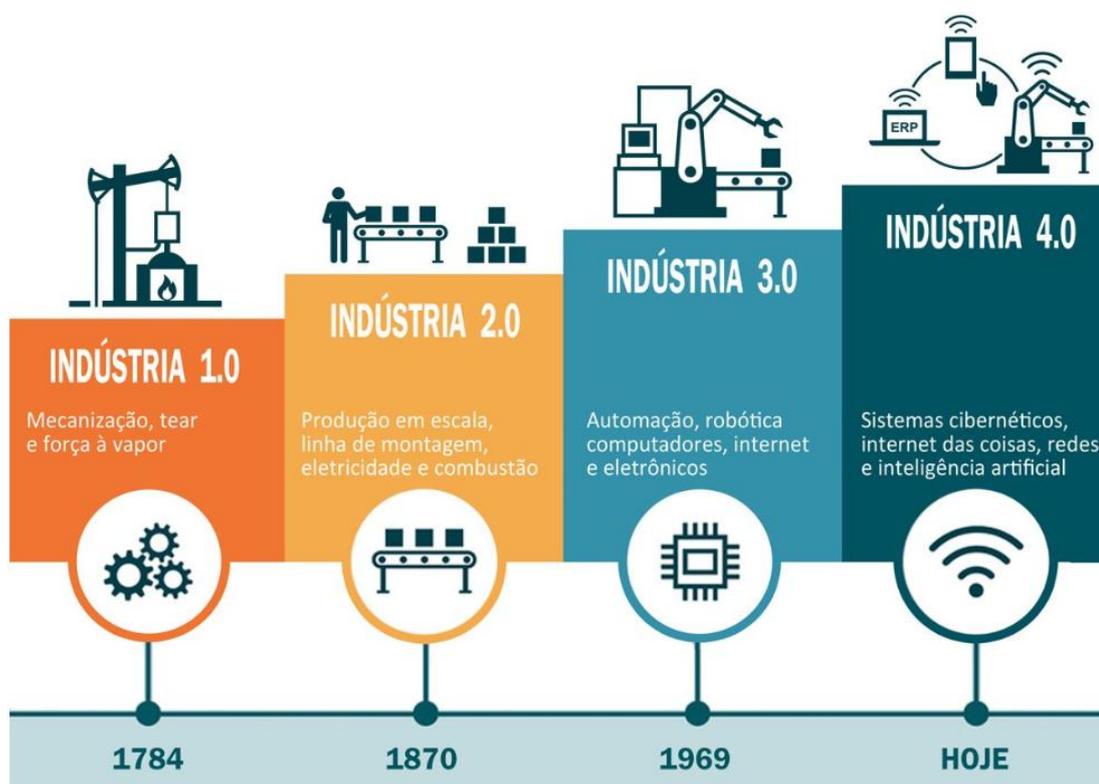


Figura 1: Histórico das Revoluções Industriais.

Fonte: ANADI (2021)¹.

¹ <http://anadi.com.br/o-que-e-industria-4-0-saiba-mais/>. Acesso em: 26 de setembro de 2021.

A crescente diversificação e aumento do número de indústrias, até o final do século XIX juntamente com o surgimento dos motores e da eletrificação das cidades foram moldando os novos conceitos de produção em série e em alta escala. Com a padronização dos produtos industrializados, o mercado passou a exigir maior qualidade e confiabilidade, já no século XX, o que abriu caminho para a automação de processos repetitivos que antes eram executados por pessoas. Essa atividade agora passa a ser executada por máquinas, controladas por *chip's* e computadores (BRANDÃO, NEVES 2021).

Essa digitalização dos processos industriais não seria possível sem a criação do sistema binário, desenvolvido pelo alemão Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) no século XVII, aperfeiçoado por George Boole (1815-1864) com a álgebra booleana 200 anos mais tarde. Essa lógica composta por verdadeiro (*true*), falso (*false*), ligado, desligado ou 1 e 0 é a base do sistema digital que é utilizado hoje (BRANDÃO, NEVES, 2021).

Adiante no tempo, no início do século XX aparecem os primeiros computadores programáveis, desenvolvidos em trabalhos distintos pelo matemático inglês Alan Turing (1912-1954) e o engenheiro alemão Konrad Zuse (1910-1995). Outras concepções de computadores importantes nos meados do século XX foram o *Mark I*, o *Colossus* e o *ENIAC*.

Segundo Wazlawick (2019), o desenvolvimento do primeiro computador eletrônico, o *ENIAC* (Eletronic Numerical Integrator And Computer), que entrou em operação em 1946, com a função de executar cálculos balísticos para o exército dos Estados Unidos, inspirou o então matemático John Von Neumann (1903-1957) à criação da memória de programa para computadores que armazena programas diretamente na memória, fazendo com que esse se reprogramasse sozinho, economizando tempo e investimentos.

Entretanto, conforme Conceição (2012), apesar dos grandes avanços para a época, os computadores recém desenvolvidos ocupavam enormes espaços físicos. Sua tecnologia baseada em válvulas termiônicas eram grandes consumidores de energia e de difícil manutenção. Esse problema começaria a ser resolvido a partir da criação do transistor, em 1947, nos laboratórios da empresa *Bell Telephone*, sendo considerado por muitos pesquisadores uma das maiores descobertas do Século XX e o principal dispositivo responsável pela evolução da eletrônica, tornando possível a evolução dos computadores.

Com a evolução do transistor, Robert Noyce (1927-1990) criou o primeiro circuito integrado, no qual vários transistores eram associados a vários outros componentes eletrônicos, patenteado posteriormente pelo engenheiro Jack Kilby (1923-2005) que trabalhava para a *Texas Instruments* (BRUNO, 2016).

Esse desenvolvimento da microeletrônica levou ao lançamento do microprocessador Intel 4004, ponto de partida da primeira unidade de processamento central (CPU). O aumento do poder de processamento e alta capacidade de realizar tarefas levam a informatização para o auge da Terceira Revolução Industrial.

A criação e popularização da Internet e de redes industriais, o desenvolvimento de computadores, controladores lógico programáveis e robôs autônomos com preços mais acessíveis fazem com que os processos industriais que demandam alto poder de processamento, precisão e armazenamento sejam extremamente dependentes da tecnologia de ponta (BRUNO, 2016).

Nos dias atuais, quase todas as tarefas envolvem o uso de um computador, ou algum dispositivo eletrônico conectado a redes de comunicação. O lazer, o sistema financeiro, a área de saúde e a manufatura de itens básicos da indústria fazem uso de algum sistema informatizado. Como não poderia deixar de ser, a indústria 4.0 se baseia principalmente no uso da tecnologia como fonte de partida para integração de todos os seus processos.

Ainda de acordo com Bruno (2016), a internet e as novas tecnologias de comunicação disseminam informações em tempo real, fazendo-a chegar a qualquer parte do mundo em diferentes níveis sociais. Nesse sentido, somente a transposição do mundo físico passa a ser um fator limitador de acesso entre mercado e novos produtos.

2.2 A Quarta Revolução

A Quarta Revolução Industrial ou Revolução 4.0 é o termo utilizado para designar o emprego de tecnologias na automação e comunicação de processos de forma mais rápida e eficiente, alcançando o conceito de fábricas inteligentes, dotadas de estruturas modulares, com a capacidade de atender de forma individualizada as necessidades dos clientes.

Não existe um consenso sobre a definição exata de Indústria 4.0, sendo que diferentes autores a descrevem de acordo com sua ótica, porém sempre levando em conta as mudanças disruptivas causadas pelo uso da tecnologia nos processos e no modelo de negócio das empresas (LU, 2017).

De acordo com Silveira (2015), nessa nova Revolução busca-se aproximar a empresa e seus processos ao conceito de sistemas ciberfísicos (CPS) e todas as suas tecnologias associadas, onde dispositivos conectados à internet proporcionam um ambiente de interação, buscando ao máximo a eficiência, produtividade e redução de custos.

Essa conexão entre máquinas em tempo real com a possibilidade da criação de redes inteligentes controlando todos os módulos de produção e de forma a prever falhas é um dos conceitos básicos da indústria 4.0 (SILVEIRA, 2015).

O mundo físico, biológico e digital convergem constituindo um ambiente caracterizado por linhas de produção personalizadas, amparadas por tecnologias como impressão 3D, realidade aumentada, IA, *IoT*, *CPS*, simulação, *Big Data* e nanotecnologia.

Ainda de acordo com Santos *et al.* (2016), para que a indústria possa suprir as exigências cada vez maiores do atual mercado de consumo, e se adaptar à Revolução 4.0 ela deverá prover dispositivos inteligentes conectados à rede, obtendo assim vantagens tecnológicas a fim de melhorar seus processos.

O IEDI - Instituto de Estudos Para o Desenvolvimento Industrial (2019) ressalta que cada empresa precisa conhecer de forma eficaz a tecnologia adequada ao seu processo, uma vez que nem todas são empregadas em uma mesma solução. Portanto, como forma de iniciar esse processo, a empresa deve se familiarizar com a arquitetura da automação.

A chegada da Revolução 4.0 extinguirá muitos empregos, e muitos outros ainda não conhecidos serão criados. Algumas das maiores empresas mundiais são ferramentas de *software* como *Facebook*, *Google*, *AirBnb*, *Tik Tok*, *Netflix*. Essas apenas alguns exemplos dentre muitas outras que, por meio de um aplicativo ou plataforma computacional fornecem serviços e faturam milhões de dólares anuais (VENTURELLI, 2016).

Segundo Hermann *et al.* (2015), os princípios utilizados na I.4.0 para reconhecer panoramas e implementar novos projetos são os seguintes:

- **Interoperabilidade:** É a capacidade de conexão entre humanos, fábricas inteligentes e sistemas ciberfísicos, utilizando os recursos da computação em nuvem e da *IoT*. É a habilidade de um sistema se comunicar de forma adequada com outro sistema análogo ou diferente;
- **Virtualização:** É caracterizado como um sistema de supervisão cujo objetivo é o monitoramento de processos físicos de forma virtual. Sensores de dados são interconectados em ambientes de simulação e de plantas virtuais;
- **Descentralização:** É a capacidade de um sistema ciberfísico tomar determinada decisão, sem intervenção humana e em tempo real, priorizando as necessidades de produção daquele instante. Além disso, podendo fornecer informações sobre desempenho e ciclo de trabalho;
- **Orientação a Serviços:** É a capacidade da empresa de disponibilizar serviços utilizando o conceito de *IoS* como a computação em nuvem, plataformas *on line* e aplicativos;
- **Capacidade de Operação em Tempo Real:** Diz respeito à capacidade de coleta e tratamento dos dados em tempo real, e dessa forma realizar as tomadas de decisões também de forma imediata;
- **Modularidade:** Capacidade de adaptação e produção de acordo com a demanda e utilização de módulos de produção, favorecendo a flexibilidade nas tarefas executadas pelas máquinas.

2.3 Arquitetura da Automação

Os sistemas de automação industrial representam grande importância na cadeia produtiva de uma indústria. Sua participação nesses processos é de extrema valia para a compreensão do processo produtivo, auxiliando e facilitando as tomadas de decisões no meio fabril (BRUCIAPAGLIA *et al.*, 1999).

Nesse contexto, como forma de iniciar o seu caminho rumo à Revolução 4.0 uma empresa deve entender todo o processo hierárquico da automação industrial, suas funções, e divisões, cada uma com sua importância, seguindo a hierarquia apresentada na figura 2.

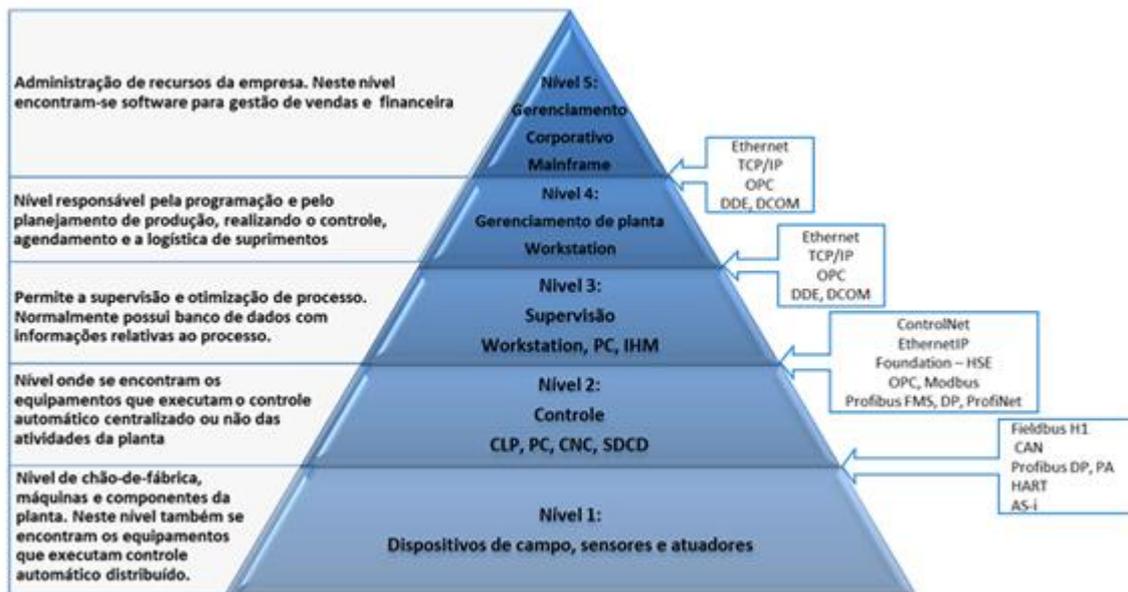


Figura 2: Níveis da pirâmide de automação.

Fonte: SMAR (2021)².

Nível 1: É o chão de fábrica de uma indústria, compreendendo todos os dispositivos e componentes, como linha de montagem, máquinas de embalar, motores, inversores, CLP's, instrumentação, controle e atuação. É o local onde existe a aquisição de dados e controle. É responsável também por conter o corpo técnico da empresa. As características deste nível são que os sensores e atuadores constituem a parte da instrumentação. O controle é constituído pela análise das informações colhidas pelos CLP's. Algumas empresas que fornecem equipamentos para esse nível da automação são: Siemens, SMAR, General Eletric, Schneider e Clamper (ARAÚJO *et al.*, 2003);

Nível 2: É caracterizado por conter o sistema supervisor, onde a atuação requer um técnico ou um engenheiro de chão de fábrica. Aqui são concentradas todas as informações do nível 1. O desenvolvimento desse nível fica a cargo de engenheiros, especialistas e técnicos com grande conhecimento em automação e controle, além do processo da empresa. Algumas

² <https://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/redes-industriais>. Acesso em: 23 de junho de 2021.

empresas que fornecem equipamentos para esse nível da automação são: Intoch, Process View e Factory Link (BRANDÃO, NEVES, 2021);

Nível 3: Neste nível encontra-se a supervisão, além do banco de dados relativo ao processo da empresa, indicadores de conformidade e qualidade, relatórios estatísticos e informações diárias. Os dados coletados nos níveis 1 e 2 são então tratados pelos engenheiros e analistas buscando melhorias, porém sem permissão para atuação direta. Algumas empresas que fornecem equipamentos para esse nível da automação são: Firebird, Access e Oracle (MARTINS, 2012);

Nível 4: Neste nível concentra-se o controle da produção e programação, além da logística e planejamento de suprimentos e estoques;

Nível 5: Neste nível encontram-se os responsáveis pela administração e gestão da empresa. Vendas, custos, finanças e gerenciamento de recursos são realizados com auxílio de *softwares* que auxiliam nas tomadas de decisões (MARTINS, 2012).

Segundo Brandão e Neves (2021), para uma empresa ser bem estruturada em nível de automação, ela deverá seguir a hierarquia da pirâmide. Um produto vendido no nível 5, irá demandar serviços em todos os níveis. Em uma sequência lógica, a escolha do maquinário, recursos necessários e controle de estoque será realizada nos níveis 4 e 3. Na próxima etapa a informação chega ao nível 2 que utilizando-se do supervisor irá criar o programa com os dados para a fabricação do produto. Finalmente no nível 1 as informações para atuação nos equipamentos de chão de fábrica são carregadas, finalizando com a execução da tarefa.

A integração vertical de uma empresa é o primeiro passo rumo à Indústria 4.0 onde sensores e sistemas de automação são conectados a ferramentas que irão gerar informações em tempo real e com grande precisão, obtendo assim maior confiabilidade de todos os dados oriundos desde o chão de fábrica. Os vários níveis hierárquicos precisam ter um canal de comunicação de forma clara e objetiva onde deve haver a troca de informações de todo o processo (NEGRI *et al.*, 2017).

A seguir são apresentadas as principais ferramentas que auxiliam a integração vertical de uma empresa, e que servem como ponto de partida rumo à digitalização.

2.3.1 SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*)

SCADA ou *Supervisory Control and Data Acquisition*, ou controle supervísório e aquisição de dados, ou simplesmente supervísório, pode ser caracterizado como qualquer dispositivo que tenha a capacidade de coletar dados a respeito de um sistema e dessa forma controlá-lo. Segundo a COPADATA (2021), empresa austríaca fabricante de *softwares*, qualquer organização pode usar um sistema SCADA controlando equipamentos ou processos em qualquer lugar, e dessa forma, coletar e salvar os dados a respeito desses processos. Sua constituição é uma combinação de *softwares* e *hardwares* como controladores lógicos programáveis (CLPs) e unidades terminais remotas (RTUs). Os dados coletados dos equipamentos de chão de fábrica são então encaminhados à uma sala de controle onde os operadores por meio das interfaces homem-máquina (IHM) supervisionam o processo. Esses dados também auxiliam nas tomadas de decisões melhorando a comunicação e ociosidade. Na figura 3 é apresentada a configuração de uma rede SCADA básica.

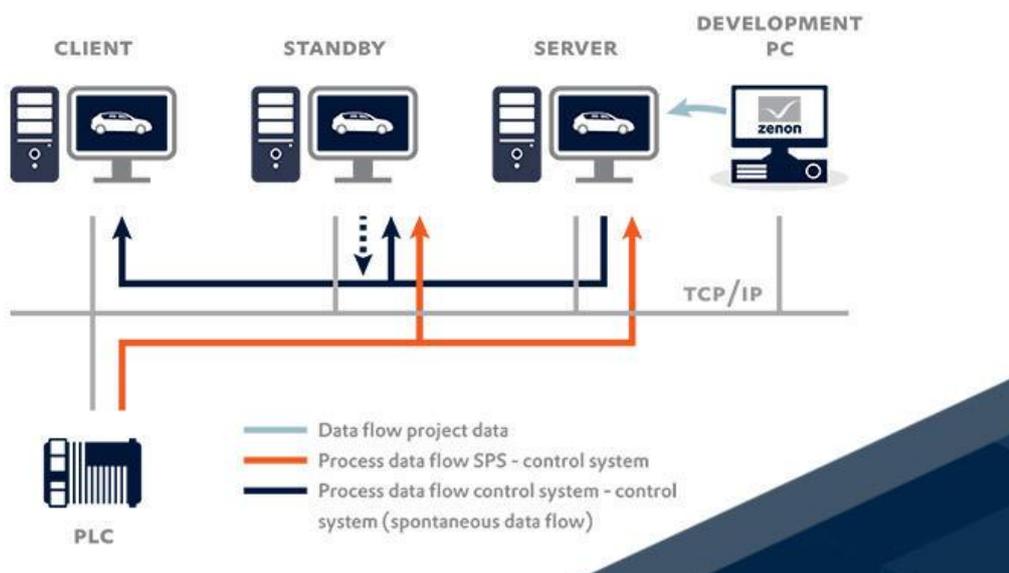


Figura 3: Uma rede SCADA básica.

Fonte: COPADATA (2021)³.

³ <https://www.copadata.com/pt/produtos/zenon-software-platform/visualizacao-controle/o-que-e-o-scada/>. Acesso em: 13 de julho de 2021.

2.3.2 MES (*Manufacturing Execution System*)

O MES é um *software* concebido como um sistema de chão de fábrica e tem por finalidade a melhora no desempenho da produção, podendo, por exemplo, receber informações do ERP (*Enterprise Resource Planning*) integrando ao dia a dia demandas de produção e sincronização de tarefas com o fluxo de materiais (BRANDÃO, NEVES, 2021).

Os sistemas MES possuem a capacidade de promover a otimização de cada etapa de produção com informações em tempo real e com alto grau de precisão, desde a geração de um pedido à etapa de finalização.

Objetivos:

- Registrar eventos de chão de fábrica;
- Realizar a comunicação com sistemas corporativos;
- Elaborar relatórios: qualidade, manutenção, estratégia e produção.

2.3.3 PIMS (*Plant Information Management System*)

De acordo com Carvalho *et al.* (2005), o PIMS foi idealizado com a finalidade de adquirir dados de processo oriundos de várias fontes que são armazenados em um banco de dados históricos, podendo ser apresentados posteriormente de diversas formas. Possui também a capacidade de disponibilizar dados em tempo real, fazendo o papel de um sistema SCADA na falta de um supervisor, apesar de não serem projetados para tal. Da mesma forma não substitui um sistema MES. A grande diferença entre eles é que o MES é personalizado para um determinado tipo de processo, como mineração, metalurgia ou indústria petrolífera.

Como tem a capacidade de acumular grandes volumes de dados, transformando-os em informação útil, ele permite aos engenheiros responsáveis pelo processo entender as várias situações operacionais comparando-as com situações relativas a padrões previamente arquivadas.

2.3.4 ERP (*Enterprise Resource Planning*)

O ERP foi concebido como um *software* para o gerenciamento de negócios, sendo um sistema utilizado no topo da pirâmide da automação, ou seja, um sistema para integração de

todos os departamentos, gerenciando as atividades desde a área financeira aos recursos humanos. Nesse sentido, os demais sistemas da empresa como PIMS, MES e SCADA deverão ter comunicação direta com o ERP compartilhando um banco de dados em comum (SAP, 2021).

De acordo com a empresa alemã SAP - System Analysis Program Development (2021) os sistemas ERP apresentam os seguintes benefícios:

- Maior Produtividade: Automação e otimização de processos;
- Insights Mais Profundos: Única fonte com informações seguras;
- Relatórios Acelerados: Relatórios mais rápidos e em tempo real;
- Riscos Menores: Prevenção de riscos, *compliance* e controle dos negócios;
- TI Mais Simples: Aplicativos integrados compartilhando mesmo banco de dados;
- Agilidade Aumentada: Acesso em tempo real facilitando a reação a novas oportunidades.

2.4 Infraestrutura de Comunicação

As redes de comunicação desempenham papel de extrema importância em um ambiente industrial, pois é por meio delas que as informações coletadas desde o chão de fábrica são levadas à todos os níveis da empresa, desde a próxima etapa de produção aos níveis de gerenciamento e vice versa. Nesse sentido, o seu correto dimensionamento é fundamental para a otimização de todos os processos da empresa. A sua utilização com segurança, integridade e funcionalidade possibilitam a recuperação do investimento, usufruindo de todas as praticidades ofertadas por ela. Além disso, a aquisição e operação dos dados se tornam mais confiáveis, uma vez que essas informações são provenientes de fontes seguras (LUGLI, SANTOS, 2009).

De acordo com Brandão e Neves (2021), com a evolução das estruturas de comunicação um número crescente de informações são trocadas entre os diversos dispositivos e sensores industriais, constituindo assim uma infraestrutura de comunicação. Na sequência são apresentadas algumas dessas tecnologias.

2.4.1 Padrão 4-20 mA e Padrão 0-10 V

São considerados padrões mais antigos, sendo utilizados para transmissões analógicas. No padrão 4-20 mA a informação é representada por um nível de corrente, já no padrão 0-10 V é representada por um nível de tensão. Esses sinais analógicos podem ser associados a valores de temperatura, vazão, posição, etc (ALBUQUERQUE, 2009).

2.4.2 Padrão Hart

Padrão *HART* (*Highway Addressable Remote Transducer*), pode ser considerado como uma comunicação ponto a ponto, onde o controlador realiza solicitações ao sensor, na configuração mestre/escravo. Uma vantagem é que como utiliza um sinal de alta frequência pode utilizar a mesma estrutura dos sinais analógicos do padrão 4-20 mA, que trabalham em baixas frequências sem causar interferências mútuas (NATALE, 2000).

2.4.3 Padrão Fieldbus

É considerado como um barramento de campo, pois faz a interligação dos componentes do chão de fábrica como sensores, atuadores e controladores lógicos programáveis. A vantagem é que o mesmo par de fios responsáveis pela alimentação também realizam a comunicação, trabalhando com potencial de 0 e 24 V. A manutenção é realizada com a possibilidade de configuração *on-line* dos dispositivos conectados. Possui também a característica de atribuir uma *Tag* a determinado sensor ou atuador identificando-o na rede, e a possibilidade de permitir temporariamente ao equipamento, o controle local em caso de perda de comunicação (ALBUQUERQUE, 2009).

2.4.4 Padrão Modbus

Considerada como uma rede ou barramento de campo é também gerenciada pelo protocolo de mesmo nome, sendo um dos mais utilizados para automação industrial. Utiliza como meio físico os padrões RS-232, RS-485 e *Ethernet TCP/IP (MODBUS TCP)*. Somente o dispositivo mestre inicia a comunicação com os escravos, que respondem enviando as informações, de forma que, somente o dispositivo escravo que foi endereçado irá responder. O dispositivo mestre pode acessar cada escravo individualmente ou a todos da rede. Geralmente é configurado para trabalhar em dois modos de transmissão, o ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) ou RTU (*Remote Terminal Unit*) (MICHEL, STRINGARI, 2001).

2.4.5 Ethernet

Definida como uma rede local ou *LAN - Local Área Network*, é considerada como uma das redes mais utilizadas em todo mundo. Como possui uma tecnologia mais popular, baixo custo para implementação e grande capacidade de fluxo de dados, é amplamente utilizada em meio industrial. A troca de informação entre os diversos dispositivos inteligentes pode ser realizada por protocolos como *Profinet, Ethernet/IP, Ethercat* e *OPC UA* (ALTUS, 2021).

No contexto da Indústria 4.0 a ethernet industrial proporciona a completa comunicação entre sensores, atuadores, leitores, CLP's e demais equipamentos de chão de fábrica com os sistemas coletores de dados ou de gerenciamento como MES/PIMS e ERP (ALTUS, 2021).

2.5 Tecnologias da Indústria 4.0

2.5.1 Sistemas Ciberfísicos

Os sistemas ciberfísicos (*Cyber Physical System – CPS*) são sistemas híbridos constituídos de sistemas computacionais e processos físicos desenvolvidos com a finalidade de interagir e colaborar entre si, usando como forma de comunicação uma rede, que pode ou não ser sem fio.

De acordo com Wan *et al.* (2011), a utilização de computação embarcada embasada em cálculos complexos integrados aos processos físicos atuais tem como finalidade a criação dos CPS, que podem assim desempenhar diversas atividades, desde minúsculas aplicações à atividades de maiores demandas.

Ainda de acordo com Gomes (2016), os sistemas ciberfísicos podem ser descritos como a interação entre computação embarcada e os sistemas físicos por meio de sensores e atuadores. Interpretando esses dados do mundo físico, esses sistemas têm a capacidade de disponibiliza-los na rede e simultaneamente atuar nos processos controlando dispositivos e executando serviços.

O conceito de CPS é bem amplo, e conseqüentemente sua área de influência também abrange um grande número de soluções, como edifícios inteligentes, agronegócio, energia e medicina. Essa grande aplicabilidade é sustentada por três pilares ou conceitos tecnológicos descritos a seguir.

2.5.2 Gêmeos Digitais

Assim como a maioria dos termos que compõem a indústria 4.0, gêmeos digitais possuem diversas definições, entretanto, segundo Glaesgen e Stargel (2012), gêmeos digitais podem ser caracterizados como uma simulação integrada de um produto utilizando modelos físicos com a finalidade de espelhar o seu gêmeo equivalente.

Ainda de acordo com Boschert e Rosen (2016) gêmeo digital pode ser descrito como uma representação virtual que tem a finalidade de descrever o comportamento de um produto ou sistema, utilizando todas as informações disponíveis para sua avaliação, inclusive em seu ciclo de vida. Nesse sentido os gêmeos digitais podem ser aplicados em diversos seguimentos da indústria para aperfeiçoar os processos com a eliminação de erros durante o planejamento.

2.5.3 Computação em Nuvem

A computação em nuvem tem a principal característica de oferecer serviços de computação incluindo servidores e *softwares* de forma remota, com acesso via internet. Os custos operacionais são minimizados com a personalização dos serviços utilizados, aumentando dessa forma a eficiência (AZURE, 2021).

Ainda de acordo com a Azure (2021), plataforma da Microsoft especializada em computação em nuvem, os principais benefícios são:

- Redução nos custos com eliminação de *datacenters* locais, diminuição de gastos com energia, emprego de mão de obra especializada além de *softwares* e *hardwares* atualizados;
- Maior velocidade com serviços sob demanda e por autosserviço, onde as soluções são disponibilizadas de forma mais rápida;
- Ganho em produtividade com redução de tarefas para gerenciamento de TI;
- Maior desempenho com serviços realizados em *datacenters* corporativos, com baixa latência e escalonamento mais rápido;
- Alta confiabilidade, dados espelhados em sites redundantes evitando problemas de *backup* e perda de informações;
- Maior Segurança, servidores com alta tecnologia em segurança de dados e confiabilidade.

De acordo com Brandão e Neves (2021) existem três tipos de serviços em nuvem: nuvem pública, nuvem privada e nuvem híbrida.

- Nuvem Pública: É o serviço oferecido por uma empresa especializada, responsável por administrar os recursos de computação, e as informações podem ser acessadas de qualquer lugar;
- Nuvem Privada: É mantida pela própria empresa, podendo ser em *datacenters* privados ou em provedores terceirizados que hospedam a nuvem da empresa contratante;
- Nuvem híbrida: É a combinação entre nuvem pública e privada, onde existe o compartilhamento de dados entre elas, facilitando a flexibilidade operacional. Os dados confidenciais, por exemplo, ficam restritos à nuvem privada.

2.5.4 Internet das Coisas

Para a empresa alemã SAP (2021), a *IoT* do inglês *Internet of Things* poderia ser definida como a capacidade de qualquer objeto ou “coisa” de se conectar à internet, incluindo equipamentos industriais e de uso pessoal, utilizando-se para isso sensores, *softwares* e outras tecnologias, realizando a troca de dados e informações úteis.

Já Brandão e Neves (2021), definem a Internet das coisas como sendo a conexão avançada de dispositivos, de um sistema ou até mesmo um serviço que tem a capacidade de enviar e receber informações, fazendo uso de uma rede de dados. A unicidade de cada dispositivo representada pela identidade digital é um fator primordial para a comunicação e compartilhamento de informações.

Essa identidade digital entre os diversos dispositivos que fazem parte da *IoT* é garantida por tecnologias como a *RFID* (“*Radio-Frequency IDentification*”), que por meio de radiofrequência tem a capacidade de identificar, recuperar e armazenar os dados, ou via *Bluetooth* e *NFC* (do inglês, *Near Field Communication*) que é a troca de informações por dispositivos próximos (VIERA *et al.*, 2007).

Após a coleta dos dados por meio dos sensores, eles então são disponibilizados via rede ou armazenados em uma nuvem que poderá ser pública, privada ou mista. O processamento

dessas informações via *softwares* permitirá a tomada de decisões, como atuação de máquinas, mudança na confecção de um produto, o desligamento de uma lâmpada ou qualquer outro tipo de atividade programada.

De acordo com a SAP (2021), a evolução da *IoT* foi impulsionada graças ao desenvolvimento de várias tecnologias ou o aperfeiçoamento de algumas já existentes sendo as mais importantes:

- Conectividade: Desenvolvimento de redes *WiFi* com maior capacidade de tráfego e segurança, além do *5G*, *RFID*, Bluetooth e *NFC* garantindo agilidade e praticidade;
- Tecnologia de Sensores: Preços mais acessíveis e dispositivos mais confiáveis difundindo a utilização de sensores *IoT*;
- Poder Computacional: Memória e poder de processamento cada vez mais altos com suporte aos requisitos necessários para implementação da *IoT*;
- Inteligência Artificial e *Machine Learning*: Aprendizado de máquina e poder de processamento aliados ao *Big Data*, dados mais robustos e confiáveis;
- Computação em Nuvem: Facilidade de acesso a dados e informações independente da localização, com economia, grande poder de armazenamento e segurança.

Seguindo os mesmos conceitos da *IoT*, surge uma nova definição para o setor industrial, a *IIoT* (*Industrial Internet of Things*) ou Internet Industrial das Coisas. Nela o foco é a conexão de máquinas e equipamentos desde o chão de fábrica ao primeiro nível da pirâmide da automação. A tecnologia utilizada pela *IoT* e a *IIoT* se baseiam no mesmo princípio fundamental, entretanto a segunda é marcada pelo foco na automação e eficiência, com a empresa conectada em todos os seus níveis, e não somente em determinada área ou indivíduo isolado (SAP, 2021).

2.5.5 Ambientes Virtuais de Produção

Almeida (2019) diz que na I4.0 (Indústria 4.0), as informações da planta são amplamente utilizadas pela simulação computacional, os dados analisados em tempo real favorecem a simulação do mundo físico em um espaço virtual. Essa simulação que traz toda a cadeia de produção de um produto ou serviço para o ambiente virtual possibilita o aperfeiçoamento e a realização de testes e até mesmo a configuração de máquinas e equipamentos antes de

qualquer mudança real, obtendo assim grande vantagem com a otimização de recursos, maior economia e melhor desempenho.

Com essa simulação também é possível obter vantagens como a redução do tempo para a realização de análises e procedimentos. Baseando-se nas condições iniciais do produto ou das informações que estão sendo observadas em tempo real, é possível ter um prognóstico de seu comportamento.

De acordo com Brandão e Neves (2021) a simulação digital proporciona na prática a virtualização de vários processos agrícolas e industriais, onde são inseridos o ambiente, as máquinas e as pessoas responsáveis pelo controle, operação e gerenciamento. Sendo assim todo e qualquer produto ou processo poderá ser simulado, reduzindo o consumo de recursos como energia e insumos. A simulação na I4.0 tem como princípio todo o processo produtivo de uma empresa ao contrário da mentalidade anterior a I4.0 onde a simulação contemplava de forma isolada os processos e equipamentos.

A utilização de simuladores pode proporcionar grandes vantagens para as empresas, a seguir algumas das mais usuais (SIEMENS, 2021):

- Comissionamento virtual: Comissionamento virtual de *softwares* e plantas industriais, prevendo situações durante o funcionamento real, eliminando custos de instalação e inicialização;
- Simulação digital das instalações: Criação de representações em 2D ou 3D, possibilitando a navegação pelo ambiente industrial e assim obter informações de equipamentos e instalações apenas clicando em *tags* disponibilizados via fontes de TI;
- Execução de projetos e planejamentos centrados em humanos: Com a simulação humana é possível determinar a qualidade do ambiente de trabalho nos quesitos de segurança, conforto e eficiência, de acordo com as características de determinadas populações;
- Robótica, automação e programação *off-line*: Simulação robótica e estações de trabalho *off-line* atendendo aos diversos níveis de complexidade, desde as mais simples às mais complexas linhas de produção. Os ambientes de trabalho são moldados e acordo com os dados colhidos previamente;

- Melhoria nas instruções de trabalho: As instruções de trabalho podem ser otimizadas com uma suíte de aplicativos em 2D ou 3D facilitando a comunicação de instruções com o chão de fábrica;
- Simulação de produção e verificação virtual do processo: Por meio da simulação todo o processo produtivo poderá ser testado, tempo de produção, quantidade produzida, configuração da planta, consumo de energia e insumos, tudo previamente testado, comparado e armazenado.

2.5.6 Manufatura Aditiva

O termo manufatura aditiva (*additive manufacturing*) ou prototipagem rápida, também conhecido como impressão 3D (tridimensional), trata-se de um processo de produção pelo qual o material é adicionado sucessivamente em forma de camadas, com informações coletadas diretamente de um modelo virtual (*CAD computer- aided design*) do componente, onde estão especificados o dimensionamento e características do mesmo. Em seguida, dá-se início a produção com a adição da matéria prima e construção do produto (VOLPATO, 2017).

De acordo com Brandão e Neves (2021), este processo é completamente automatizado, e permite a possibilidade da produção de peças por meio de uma impressora 3D. Inúmeros são os benefícios se comparadas as tecnologias da manufatura aditiva aos processos tradicionais, tais como a fabricação de componentes com alto grau de complexidade, diminuição ou supressão de limitações geométricas, customização de produtos, entre outros.

Acredita-se que a facilidade em termos de automatização da manufatura aditiva se deve pelo fato da mínima intervenção do operador durante todo o processo produtivo, considerando-se como uma característica imprescindível (VOLPATO, 2017).

Ante o exposto nota-se que a manufatura aditiva serviu como ferramenta de propulsão no desenvolvimento de produtos por meio de fatores como rapidez de produção, precisão dimensional, além de possibilitar a construção de qualquer geometria complexa, sendo adotadas por *designers* de todo mundo (VOLPATO, 2017).

Para Brandão e Neves (2021), a manufatura aditiva tem beneficiado alguns setores como manutenção e restauração, por exemplo. A aliança entre impressão 3D, escaneamento 3D e o

processo de virtualização de algum determinado componente físico, se torna de grande valia com a criação de componentes que se encaixam de forma exata ao modelo original.

Porém, ainda de acordo com Brandão e Neves (2021), o tempo necessário para impressão de um objeto é um fator de desvantagem nas impressoras 3D. Sendo assim a tecnologia é mais utilizada para a fabricação de produtos personalizados, moldes para a fabricação de outros produtos, fabricação em pequenos lotes ou apenas um objeto. Vários tipos de impressoras 3D são utilizados na manufatura aditiva, cada qual com sua tecnologia de impressão, vantagens e desvantagens.

Para Brandão e Neves (2021), as principais impressoras são:

- *Fused Deposition Modeling (FDM)*: Modelagem por Deposição Fundida é um processo em que há adição de material derretido ao plano do objeto que deverá ser impresso. Tem como característica a simplicidade e economia na impressão, sendo o mais difundido mundialmente;
- *Selective Laser Sintering (SLS)*: Sinterização Seletiva a Laser, nesse processo a impressão é realizada por camadas onde haverá a fusão do pó, que geralmente é de *nylon*, por um laser, sendo assim adicionado ao plano de impressão. Tem como vantagem maior definição da peça em comparação à impressão FDM;
- *Stereolithography (SLA)*: O processo denominado como estereolitografia se baseia no mesmo princípio da SLS, porém com um custo até dez vezes menor, onde é utilizada resina fotossensível como componente de impressão e um feixe a laser para realização da cura da resina;
- *Digital Light Processing (DLP)*: No Processamento por Luz Digital, o princípio de funcionamento é baseado na SLA, porém a diferença é na forma de solidificação da resina, uma vez que na DLP é utilizada uma tela de projetor de luz digital onde é exibida a imagem da camada, portanto a cura da resina também é feita por camada;
- *Direct Metal Laser Sintering (DMLS)*: Nesse processo é utilizado metal em pó e um laser com potência suficientemente alta para a realização do processo de fundição do material. Seu princípio de funcionamento é equivalente à SLS;
- *Electron Beam Melting (EBM)*: Nesse processo é utilizado um feixe de elétrons e como material uma liga de titânio geralmente liga de titânio grau 5 ou Ti6Al4V.

Para Volpato (2017) a manufatura aditiva ainda é um processo em desenvolvimento, mas já utilizado em muitas indústrias apresentando como vantagens a otimização de energia e matéria prima, além da redução de custos para a produção de protótipos.

2.5.7 Big Data

Brandão e Neves (2021) conceituam *Big Data* como uma grande quantidade de dados, gerados de forma estruturada ou não, tendo uma relação com uma atividade fim. Estes dados são empregados otimizando processos, gerenciando equipes e escalonando equipamentos e serviços, tendo em vista a economia de recursos, energia, matéria prima e trabalho. Logo o conceito de I4.0 não existiria sem o *Big Data* e sua análise.

Como o *Big Data* é caracterizado por um conjunto de dados em que a sua maioria não é estruturada existe uma necessidade de avaliação em tempo real, já que servirão como fonte de informação para tomada de decisão em um ambiente de produção (NIST, 2015).

Essa avaliação em tempo real poderá servir como suporte em tomadas de decisões, até mesmo com a criação de modelos computacionais que poderão executar ações de forma autônoma, agendando manutenções preditivas, identificando defeitos de fabricação ou até mesmo indicando produtos e serviços a um potencial consumidor (BRANDÃO, NEVES, 2021).

Atualmente o conceito de *Big Data* é fundamentado em cinco pilares, conhecidos como os 5 V's do Big Data.

- **Volume:** Diz respeito à quantidade de dados acumulados e com informações que podem ser aproveitadas;
- **Velocidade:** É a taxa de transmissão na qual os dados conseguem ser recebidos e processados;
- **Variedade:** Está relacionado com o tipo de dados que podem ser estruturados (tabulados) ou não estruturados como sons, imagens, vídeos, etc. E o meio de disseminação desses dados;
- **Veracidade:** Diz respeito às fontes e a veracidade dos dados que estão sendo adquiridos e manipulados;

- **Valor:** Como os dados têm um valor intrínseco, existe a necessidade da sua descoberta e análise.

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo, é apresentada a metodologia utilizada, um panorama da Indústria 4.0 no Brasil e o seu nível de assimilação pela indústria nacional.

3.1 Metodologia

Este trabalho constitui-se em uma pesquisa e revisão da literatura, baseados em uma metodologia de trabalho investigativo, onde foram buscadas informações e conceitos das Revoluções Industriais, com ênfase na Quarta Revolução, Revolução 4.0 ou I4.0, suas tecnologias e a inserção da indústria nacional nesse contexto em meio à pandemia de Covid-19. De acordo com Gil (2002) uma pesquisa bibliográfica, é baseada em material previamente elaborado como livros, artigos científicos, estudos e pesquisas.

Da indústria 4.0 no Brasil buscou-se fazer uma relação do seu desenvolvimento e sua utilização pelas empresas nacionais na atualidade, e como essa utilização tem contribuído para a solução de problemas inerentes aos processos produtivos bem como a maximização da produtividade.

3.2 A indústria 4.0 no Brasil

O crescente aumento da digitalização tem demonstrado o potencial revolucionário que está transformando o cotidiano das pessoas. Várias soluções para grandes desafios enfrentados pelo país em áreas como mobilidade urbana, eficiência energética, atendimento à saúde e produtividade industrial, podem ser otimizadas graças ao avanço e desenvolvimento da digitalização ou da Revolução 4.0, que tem provocado grandes transformações econômicas e sociais.

Estudos recentes em praticamente todos os setores industriais brasileiros demonstram que a maior parte da indústria nacional ainda não incorporou de forma efetiva os avanços da Terceira Revolução Industrial, estando em um estágio compreendido entre a Segunda e a Terceira Revolução (FIRJAN, 2016).

A 14ª edição do Índice Global de Inovação (IGI) de 2021, que é o principal instrumento de medição da dinâmica das inovações, da evolução da educação, da pesquisa e

desenvolvimento (P&D), da infraestrutura e do desenvolvimento do capital humano, mostra que o Brasil teve um desempenho superior ao esperado, avançando 4 posições em relação à última edição, porém o país ainda ocupa a posição de número 57 no *ranking* mundial, e na América Latina está atrás do Chile (53°), México (55°) e Costa Rica (56°). Em comparação aos países da América Latina com melhor classificação, o Brasil perde nos quesitos infraestrutura e sofisticação do mercado. Porém é a única economia da região que investe pouco mais de 1% do produto interno bruto em pesquisa e desenvolvimento (P&D) (BRASIL, 2021).

Esse nível de atraso em relação à indústria mundial tem se mostrado preocupante, apesar de bater recorde nos primeiros sete meses de 2021 com um crescimento de 35,3% em comparação à 2020, e um volume de 161,42 bilhões de dólares em exportações totais, segundo o IEDI - Instituto de Estudos Para o Desenvolvimento Industrial (2021), o Brasil caiu do 22° para o 27° lugar no *ranking* mundial de países exportadores, perdendo 5 posições em um intervalo de 10 anos.

Ainda de acordo com o IEDI (2021), a indústria brasileira de alta tecnologia que em 2001 correspondia por 14% das exportações totais da indústria de transformação, teve sua participação reduzida para 3,8% em 2021, demonstrando claramente a falta de competitividade e um fraco ambiente de inovação. Por outro lado, a indústria de média tecnologia e a indústria de média-baixa intensidade tecnológica tiveram elevação em suas vendas em relação à 2020, representadas pelos setores de metalurgia, alimentos e bebidas, derivados de petróleo, papel e celulose (IEDI, 2021).

Segundo a CNI (2021) a pandemia de Covid-19 contribuiu para que o país fechasse o ano de 2020 com o pior resultado em exportações de produtos industrializados, que incluem produtos manufaturados e semimanufaturados. Já a exportação de produtos de alta intensidade tecnológica que incluiu produtos como máquinas especiais, equipamentos de informática, química refinada e aviões que já vinham perdendo mercado nos últimos anos, sofreram quedas ainda maiores em função da pandemia, se traduzindo em um processo de desindustrialização.

Em pesquisa realizada pela CNI em 2016, com 2.225 empresas, sendo 910 pequenas empresas, 815 médias empresas e 500 empresas de grande porte, 42% desconheciam a importância das tecnologias digitais como fator de aumento de competitividade, de uma lista de 11 opções, 52% não utilizavam nenhuma tecnologia digital como forma de aumentar a sua competitividade. Outro fator relevante, é que 31% das empresas não souberam responder ou disseram não saber se utilizavam alguma das tecnologias listadas. Ainda de acordo com a pesquisa, 32% das grandes empresas, ou seja, 160 não identificaram alguma das 10 tecnologias como importante para o aumento da competitividade. Entre as empresas de pequeno porte esse número era ainda maior, atingindo o patamar de 57%.

Lista das tecnologias digitais utilizadas na pesquisa (CNI, 2016):

- Automação digital sem sensores;
- Automação digital com sensores para controle de processo;
- Monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo MES e SCADA;
- Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis;
- Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento de produtos e manufatura de produtos;
- Manufatura aditiva, prototipagem rápida ou impressão 3D;
- Simulações/análise de modelos virtuais (Elementos Finitos, Fluidodinâmica Computacional, etc.) para projeto e comissionamento;
- Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (*big data*);
- Utilização de serviços em nuvem associados ao produto.

Segundo Antônio *et al.* (2018) o atraso tecnológico no qual a indústria brasileira está inserida se deve principalmente pelo desconhecimento dos ganhos a longo prazo que essa mudança pode ocasionar, e pelo custo de implantação em determinados setores.

Esse cenário preocupante em relação à digitalização da indústria nacional teve uma leve melhora em nova pesquisa realizada pela CNI em 2018 cuja finalidade era a obtenção de dados sobre o uso das tecnologias digitais entre as empresas de grande porte.

Segundo a CNI (2018), entre 2016 e 2018 houve um aumento de 10% no número de empresas que utilizavam ao menos uma das tecnologias apresentadas buscando principalmente o aumento da produtividade e a melhoria na gestão dos negócios, mesmo que em fase de implementação. Em relação à 2016 a pesquisa mostrou que 7 em cada 10 grandes empresas pesquisadas já estão inseridas na Indústria 4.0, adotando pelo menos uma das tecnologias.

A Tabela 1 apresenta a lista de tecnologias digitais utilizadas na pesquisa, onde 46% das empresas consultadas fazem o controle de seus processos por meio de sensores, constituindo, portanto a tecnologia mais empregada. As tecnologias com menores índices de utilização foram *big data* (monitoramento sobre o mercado) e *Sistemas inteligentes de gestão*, com 9% em ambas. É observado também no estudo, que as tecnologias associadas a foco no produto e novos modelos de negócio possuem o menor índice de utilização, *big data* sobre o mercado com 9%, serviço em nuvem associado ao produto com 16% (CNI, 2018).

Tabela 1: Empresas que utilizam tecnologias digitais

TABELA 1 - EMPRESAS QUE UTILIZAM TECNOLOGIAS DIGITAIS

Percentual de respostas do total de empresas respondentes (%)

FOCO	TECNOLOGIA	UTILIZA
Processo de produção/ gestão dos negócios	Automação digital sem sensores, uso de Controlador Lógico Programável (CLP) sem sensores	30
	Automação digital com sensores para controle de processo	46
	Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis	23
	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data) da empresa	21
	Monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo MES e SCADA*	19
	Manufatura aditiva, robôs colaborativos (cobots)	13
	Sistemas inteligentes de gestão, como comunicação M2M (máquina-máquina), gêmeo digital (Digital Twin) e Inteligência artificial (IA)	9
Desenvolvimento de produto	Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento e manufatura de produtos	37
	Prototipagem rápida, impressão 3D e similares	16
	Simulações/análise de modelos virtuais para projeto e comissionamento (Elementos Finitos, Fluidodinâmica Computacional, etc.)	13
Produto/novos modelos de negócio	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data) sobre o mercado; monitoramento do uso dos produtos pelos consumidores	9
	Utilização de serviços em nuvem associados ao produto	16
	Incorporação de serviços digitais nos produtos (Internet das Coisas ou Product Service Systems)	11

Nota: A soma dos percentuais supera 100% devido a possibilidade de múltiplas respostas.

Fonte: Adaptado de CNI - Confederação Nacional das Indústrias (2018).

A manufatura e desenvolvimento de produtos com a utilização de sistemas integrados de engenharia aparecem em segundo lugar com 37% de utilização. Entretanto também é evidenciada uma baixa utilização de tecnologias que podem auxiliar para a automação e integração das linhas de produção, nesse aspecto, 23% utilizam sensores para identificação de produtos e condições operacionais. A utilização de dados do *big data* da própria empresa ou dos processos tem índice de 21%, e a utilização de ferramentas como MES e SCADA no monitoramento dos sistemas de produção aparecem com índice de 19% (CNI, 2018).

É importante observar no estudo que ainda é baixo o percentual de empresas que utilizam tecnologias mais avançadas em seus processos, como por exemplo, *IoT*, com índice de 11%, manufatura aditiva com 13% , simulações e análises de modelos virtuais com 13% e sistemas inteligentes para gestão, como comunicação máquina-máquina (M2M), gêmeo digital e IA com 9%, o que se traduz em certo atraso que a maioria das empresas nacionais se encontram no processo de incorporação da I4.0 (CNI, 2018).

Aliado a isso, o agravamento da crise econômica, a pandemia de Covid-19 e a instabilidade política dos últimos anos tem trazido um ambiente de desconfiança e incertezas ao setor produtivo.

Nesse sentido, a CNI (2020), listou as principais restrições que as empresas brasileiras têm encontrado para implementação de projetos voltados à indústria 4.0:

- Cenário de restrição financeira, se traduzindo em baixas taxas de investimento, além de concorrência com outros projetos paralelos;
- O atraso tecnológico dificultando a implementação do conceito de I4.0, exigindo maiores investimentos como forma de compensação;
- Falta de informação sobre as tecnologias e dos ganhos que elas podem acarretar em todos os níveis hierárquicos da empresa;
- Problemas de gestão e excesso de departamentalização, dificultando a integração funcional da empresa.

Tendo em vista que os principais países inseridos no contexto de I4.0 disputam não somente o seu posicionamento no *ranking* mundial mas também a definição de um novo

modelo tecnológico, é de extrema importância que o Brasil e a indústria nacional, mesmo com suas dificuldades, se preparem de forma consistente aos desafios apresentados, sob risco de ficarem marginalizados no cenário mundial (ARBIX *et al.*, 2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta o panorama atual das empresas brasileiras inseridas ou não à I4.0, bem como o seu desempenho em meio à pandemia de Covid-19. É realizado um comparativo com a finalidade de entender como o emprego de tecnologias da Quarta Revolução pode auxiliar na busca de um melhor desempenho para a retomada econômica, otimizando processos e agregando valor ao produto e mão de obra.

4.1 Os desafios em meio à pandemia de covid-19

Os efeitos econômicos, as incertezas e o temor gerados pela pandemia de Covid-19 desencadearam uma série de preocupações em todos os setores produtivos do país. De acordo com a UNA-SUS - Universidade Aberta do Sistema Único de Saúde (2020) o primeiro caso do novo coronavírus no Brasil foi confirmado no dia 26 de fevereiro de 2020. Já em março iniciaram as restrições sanitárias em todo território nacional, desencadeando uma elevada desaceleração das atividades econômicas e industriais, as medidas de restrições à circulação de pessoas fecharam atividades não essenciais, o risco da perda de emprego e renda, o temor de contágio e a preferência das famílias em consumir bens essenciais afastaram os consumidores de vários serviços (GOOLSBEE, SYVERSON, 2021).

A queda no consumo e posteriormente a falta de insumos, levou muitas empresas a revisarem o planejamento da produção, adequando suas linhas e seus serviços a uma nova realidade, trabalho remoto e testagem constante dos trabalhadores foram algumas das primeiras medidas adotadas. De acordo com o IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2020), a crise desencadeada pela pandemia de Covid-19 fez a produção industrial cair 10,9% no primeiro trimestre de 2020 em comparação com o mesmo período de 2019 e 4,5% em comparação com todo o ano. Os setores que mais puxaram a queda foram a indústria automobilística com 43,50% e a produção de outros equipamentos de transporte com 36,0%. A tabela 2 mostra o desempenho da produção industrial do ano de 2020 de acordo com as seções e atividades de indústria, em comparação com o ano de 2019 pré-pandemia.

As iniciativas governamentais como o Auxílio Emergencial e o Programa Emergencial de Manutenção do Emprego e Renda, oferecendo complementação à renda do trabalhador quando houver redução proporcional da jornada de trabalho e salário ou suspensão temporária

do contrato de trabalho, serviram como forma de atenuar impactos ainda mais avassaladores à economia.

Tabela 2: Produção industrial, segundo as seções e atividades de indústria.

Tabela 2 - Produção Industrial, segundo as seções e atividades de indústria 2019-2020

Seções e atividades de indústria	Produção Industrial			
	2019		2020	
	Total	1º Semestre	Total	1º Semestre
Indústria Geral	(-) 1,10	(-) 1,30	(-) 4,50	(-) 10,90
Indústria extrativa	(-) 9,70	(-) 12,50	(-) 3,40	(-) 2,80
Indústria de Transformação	0,20	0,30	(-) 4,60	(-) 11,90
Produtos de minerais não metálicos	1,10	3,00	(-) 2,30	(-) 13,90
Metalurgia	(-) 2,90	0,10	(-) 7,20	(-) 15,70
Produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	4,90	6,70	(-) 0,20	(-) 11,60
Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	(-) 0,70	(-) 6,60	(-) 1,60	(-) 15,40
Máquinas , aparelhos e materiais elétricos	0,80	0,90	(-) 2,60	(-) 14,40
Máquinas e equipamentos	0,30	0,90	(-) 4,20	(-) 16,60
Veículos automotores, reboques e carrocerias	2,20	3,80	(-) 28,10	(-) 43,50
Outros equipamentos de transporte	(-) 8,60	(-) 11,10	(-) 29,10	(-) 36,00
Móveis	0,10	(-)2,10	(-) 3,80	(-) 18,80
Produtos diversos	3,30	3,20	(-) 16,70	(-) 25,30
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	(-) 9,40	(-) 10,10	(-) 16,00	(-) 15,50

Fonte: Adaptado de IPEA (2020).

De alguma forma todos os setores da economia sentiram de imediato os efeitos da pandemia de Covid-19. De acordo com o SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (2021), 65% das empresas pesquisadas tiveram faturamento anual pior em 2020 em comparação com 2019, e aproximadamente 64% das micro e pequenas empresas pesquisadas haviam mudado a forma de funcionamento em função da crise sanitária. Com relação ao faturamento, 79% afirmaram que tiveram queda em suas receitas mensais (SEBRAE, 2021).

A pandemia de Covid-19 e o atraso brasileiro em relação à I4.0 tem levado o governo, a sociedade, setores produtivos e instituições de pesquisa a um amplo debate acerca de uma agenda que possa apresentar soluções a curto, médio e logo prazos. O Decreto nº 10.534, de

2020 que Institui a Política Nacional de Inovação, a Câmara Brasileira da Indústria 4.0, a instituição da Câmara de Inovação e recentemente o leilão da tecnologia do 5G demonstram a iniciativa, mesmo que tardia, de implementação de uma política pública de inovação tecnológica.

4.2 Oportunidades em meio à pandemia de covid-19

De acordo com a ABIMAQ – Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos (2021), para que o Brasil possa sair da crise econômica em que se encontra, será necessária a superação da crise sanitária e ao mesmo tempo iniciar uma política de crescimento sustentável, ampliando investimentos em infraestrutura, modernização e desenvolvimento da indústria.

A ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2021) estima que adotando os conceitos da I4.0, o país poderia alcançar ganhos estimados em 39 bilhões de dólares até 2030, caso crie condições favoráveis para implementação dessas tecnologias como investimento em infraestrutura, linhas de crédito e programas de incentivo, esses ganhos poderiam chegar a 210 bilhões de dólares. Sendo assim, a figura 4, apresenta o resultado da pesquisa realizada pela CNI (2020) com 509 empresas de pequeno, médio e grande porte, onde é demonstrado o percentual de empresas que adotam alguma das tecnologias da indústria 4.0 para enfrentamento da pandemia. Após a pesquisa, foi aplicado um fator de ponderação para corrigir eventuais distorções em relação ao plano amostral. Devido ao arredondamento, as somas dos percentuais podem variar de 99 % a 101 %.

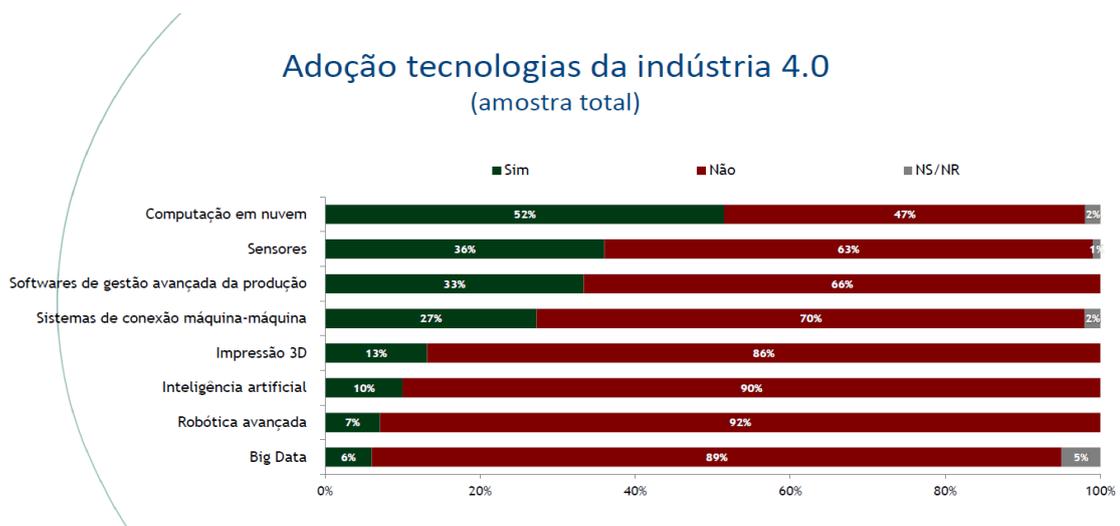


Figura 4: Adoção de tecnologias da indústria 4.0.

Fonte: CNI (2020).

Nesse sentido, a CNI (2020) diz que as empresas que utilizaram tecnologias da indústria 4.0 conseguiram se sair melhor em meio à pandemia de coronavírus. Entre as empresas que utilizaram quatro ou mais tecnologias da I4.0, 50% registraram lucro, entre as que utilizaram até três das tecnologias apresentadas, mais da metade, ou seja, 54% já registraram lucro igual ou maior ao período pré-pandemia. Em relação às empresas que ainda não utilizam nenhuma tecnologia esse índice é de 47%. A figura 5 mostra o cruzamento de dados entre as empresas que adotaram tecnologias da I4.0 e as empresas que não adotaram.

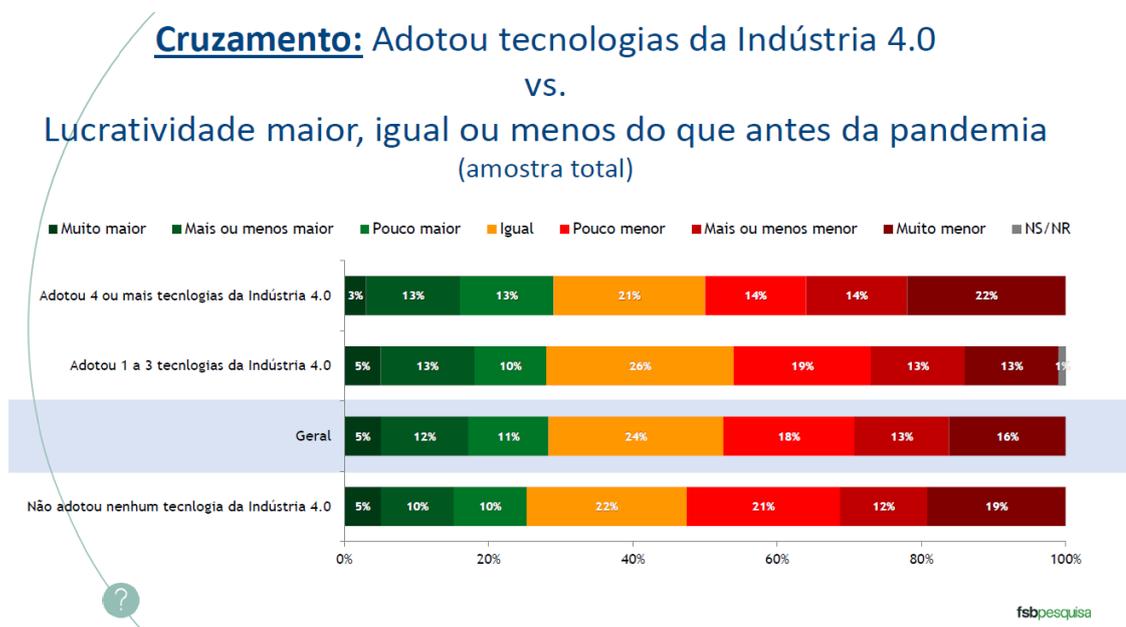


Figura 5: Cruzamento de dados, adoção de tecnologias x lucratividade.

Fonte: CNI (2020).

Uma das grandes oportunidades que a indústria 4.0 oferece está obviamente no aumento de receitas, uma maior produtividade pode ser conseguida a partir do momento em que o processo de produção é mais confiável, aumentando também a competitividade. Tomadas de decisões assertivas evitam desperdícios e diminuem o tempo ocioso de máquinas e equipamentos, o trabalho remoto e o aumento da segurança no ambiente de trabalho também são evidenciados.

Pesquisa realizada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações com 500 empresas revelou que 79,7% delas acreditam que a manufatura avançada é uma grande alternativa para o desenvolvimento dos sistemas produtivos e também da sociedade como um todo. Entretanto, a figura 6 mostra como é baixo o índice de empresas que acreditam no potencial

de protagonismo brasileiro em relação à essa tecnologia, tanto na América Latina quanto a nível mundial (BRASIL, 2017).

Visão futura dos efeitos da manufatura avançada.

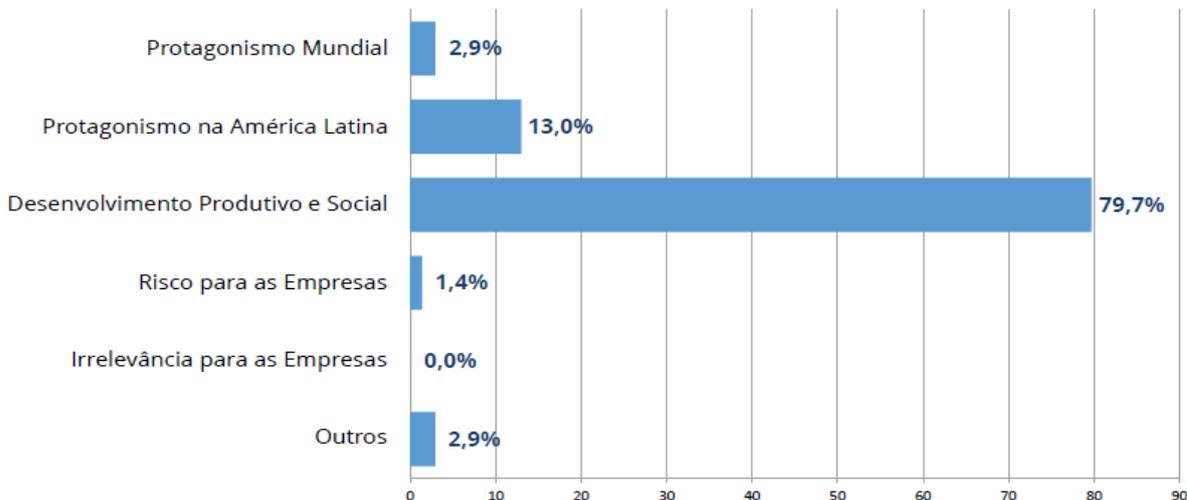


Figura 6: Visão futura dos efeitos da manufatura avançada.

Fonte: BRASIL (2017).

Por outro lado, a figura 7 mostra que essas empresas acreditam que a manufatura avançada tem potencial para melhorar questões relacionadas a temas sociais como proteção ambiental 34%, condições de emprego 23,9%, segurança alimentar 29,9% e eficiência energética 64,2%.

Vantagens da manufatura avançada para o Brasil.

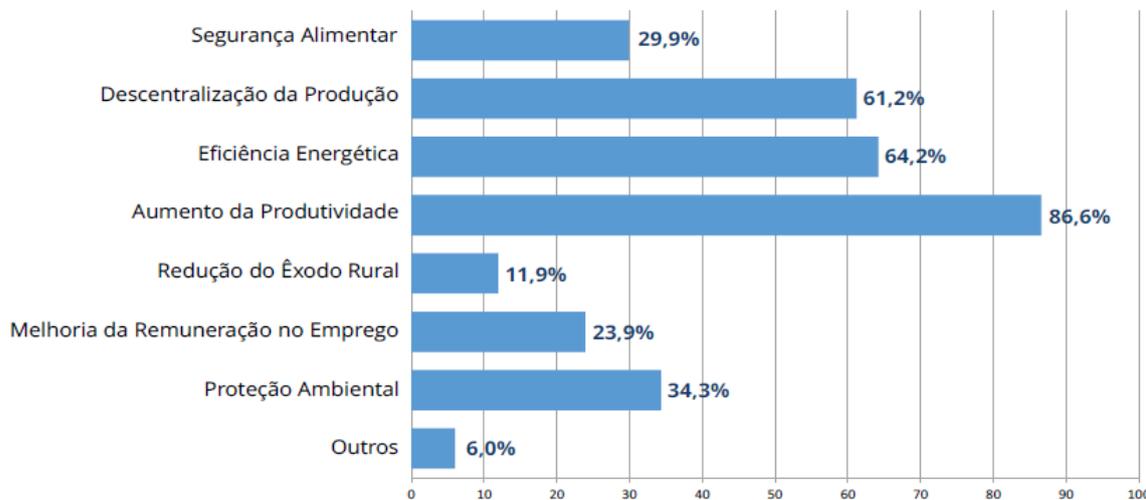


Figura 7: Vantagens da manufatura avançada para o Brasil.

Fonte: BRASIL (2017).

Já a UNIDO - Organização das Nações Unidas Para o Desenvolvimento Industrial (2019) corrobora com a afirmação de que a manufatura avançada e o emprego de novas tecnologias trarão benefícios ambientais jamais vistos, como melhor utilização da água e eletricidade, redução na emissão de gases tóxicos e outros poluentes e a adoção de uma produção verde baseada em sustentabilidade.

Bughin *et al.* (2019) afirmam que as tecnologias avançadas além de aumentar a produtividade a competitividade e as riquezas de um país, podem também se traduzir em bem-estar de uma forma mais ampla como melhorias nos aspectos humanos, aprimoramento da criatividade e da inovação, desenvolvimento dos sistemas de educação, melhoria da segurança alimentar e da saúde.

Para a CNI (2017) a utilização dessas tecnologias na indústria nacional trarão ganhos como redução das vantagens comparativas entre as empresas, uma maior cooperação entre os agentes econômicos, integração entre fornecedores, otimização logística, sistemas produtivos mais competitivos e com maior produtividade, surgimento de novas profissões e atividades com reflexos nas estruturas internas das empresas, além da criação de ambientes com maior interação e autonomia. Linhas de produção flexibilizadas contribuiriam para a customização em massa, permitindo a produção ajustável a diferentes exigências e necessidades dos consumidores além do incremento de vários serviços aos produtos produzidos (CNI, 2020).

Entretanto, Bughin *et al.* (2019) salientam que para que a indústria nacional alcance esses benefícios, será necessário além de um crescimento pautado em inovação o gerenciamento da força de trabalho com a consequente difusão e incorporação de várias tecnologias.

Sendo assim, a figura 8 mostra que a maior parte das indústrias pesquisadas adotou alguma tecnologia em seus processos produtivos como forma de inovação para combater os impactos da pandemia e aumentar o seu faturamento. Já a figura 9, demonstra a relação entre a adoção de tecnologias da I4.0 e o aumento no faturamento esperado para o ano de 2021.

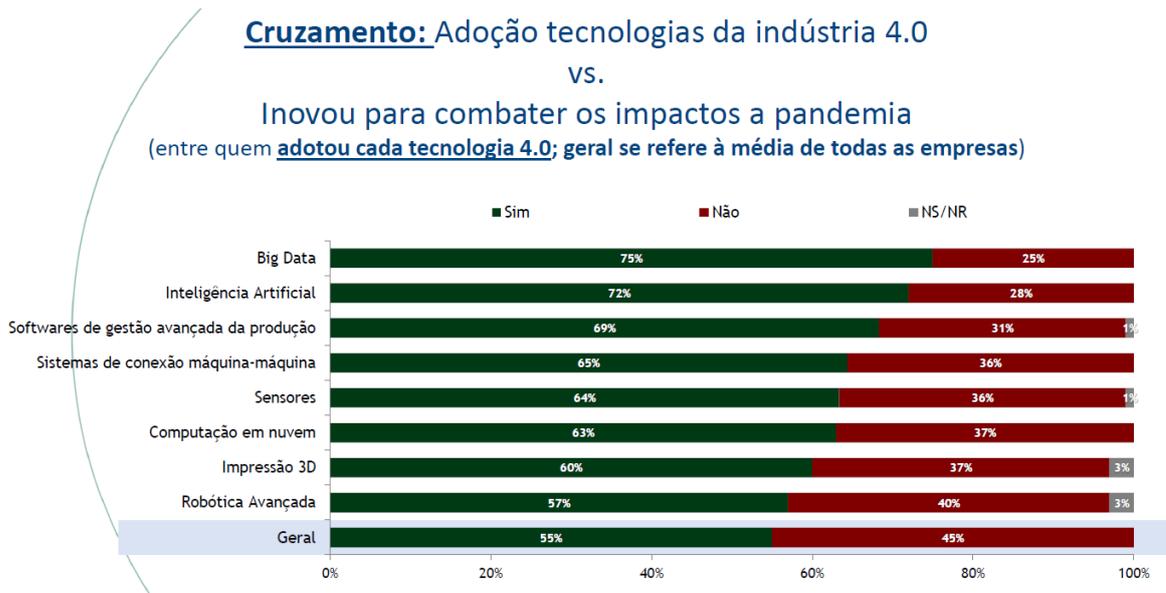


Figura 8: Cruzamento de dados, adoção de tecnologias x inovação.

Fonte: CNI (2020).

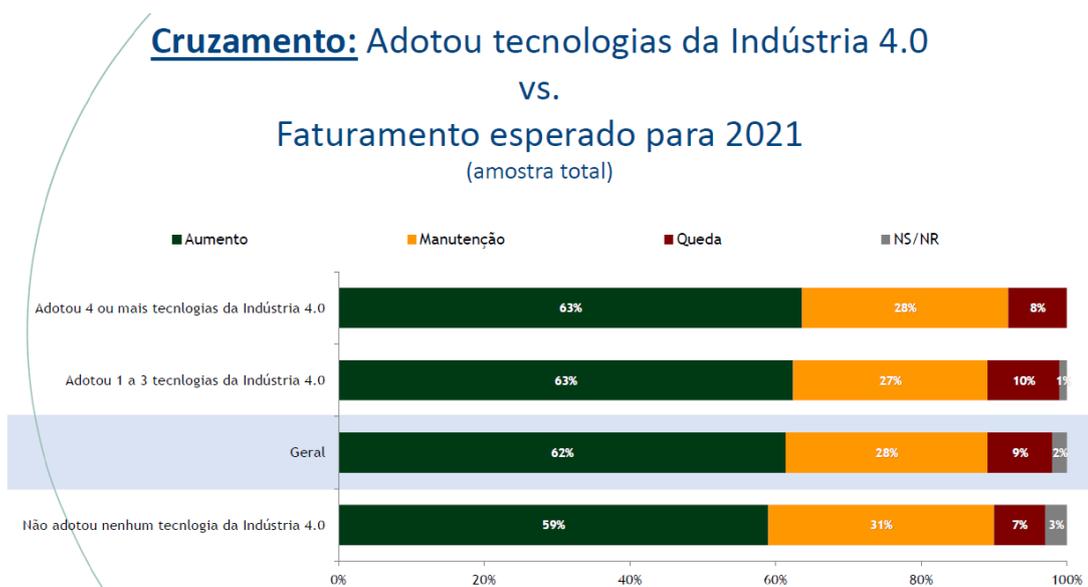


Figura 9: Cruzamento e dados, Adoção de tecnologias x faturamento esperado.

Fonte: CNI (2020).

Por fim, de acordo com a CNI (2020) a integração das tecnologias da Indústria 4.0 irá proporcionar e favorecer a conexão das cadeias de valor da indústria nacional desde o projeto, desenvolvimento e produção de novos produtos até a etapa de pós-venda.

Mckinsey (2021) afirma que as empresas que não haviam implementado nenhuma tecnologia da I4.0 antes da pandemia de Covid-19 tiveram maiores dificuldades em comparação às empresas que já a utilizavam, 56% dos pesquisados disseram que se viram em condições limitadas para responder de forma efetiva à pandemia, justamente por não utilizarem nenhuma tecnologia. Ao contrário, empresas que haviam implantado alguma tecnologia da I4.0 se viram mais bem preparadas para enfrentamento da crise. A utilização de dados do *big data*, realidade aumentada, *e-commerce*, trabalho remoto, automatização de processos e inteligência artificial são algumas inovações que ajudaram na resposta à crise (MCKINSEY, 2021).

A figura 10 mostra a percepção dos entrevistados com relação ao valor que representa a I4.0 para o enfrentamento da pandemia de covid-19. Destes, 65% disseram que a I4.0 é mais valiosa desde o início da pandemia, e apenas 12% disseram que as tecnologias da Indústria 4.0 são menos valiosas.

As empresas com implementação de Indústria 4.0 mais madura afirmam ter uma maior capacidade de responder à crise.

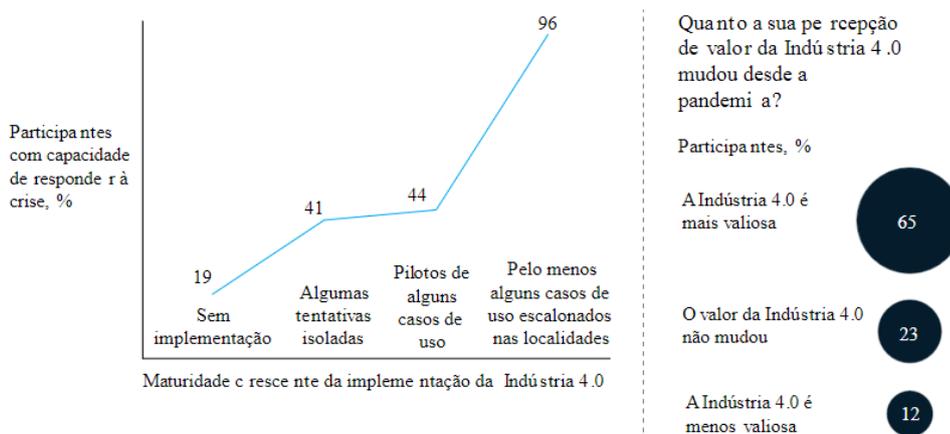


Figura 10: Implementação da indústria 4.0 antes da pandemia.

Fonte: Mckinsey (2021).

Segundo o IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2020), observa-se que as empresas e as tecnologias da I4.0 utilizadas no Brasil atualmente são forçadas a seguir um caminho de desenvolvimento cada vez mais rápido, tendo em vista as necessidades impostas pela crise econômica e pela pandemia de Covid-19. A adoção de novas tecnologias da I4.0 para superação dos atuais obstáculos é favorecida pela tendência de descentralização da atividade industrial (IPEA, 2020).

Já Araújo (2020) afirma que a utilização das tecnologias de *big data*, inteligência artificial, computação em nuvem e impressão 3D são exemplos de inovações nas quais a indústria nacional pode se amparar para lidar com a situação atual de pandemia e crise econômica, desenvolvendo novos equipamentos, repondo estoques e diminuindo a falta de insumos, além de atuar no desenvolvimento e treinamento de mão de obra qualificada, tendo em vista a crescente demanda por profissionais bem treinados e capacitados.

A pandemia de Covid-19 afetou todos os setores industriais. Em maior ou menor escala, todos sentiram os seus efeitos, exigindo das empresas uma reformulação em sua estratégia de produção e gestão de riscos, buscando acima de tudo a manutenção da saúde do trabalhador e a continuidade operacional. Paralelo a isso a Quarta Revolução vem modificando a manufatura tradicional, criando oportunidades e desenvolvendo novos métodos de produção, capazes de sobreviver a novas crises.

Nesse sentido, a UNIDO – Organização das Nações Unidas Para Desenvolvimento Industrial (2020) salienta que as novas tecnologias podem ser amplamente utilizadas como respostas rápidas à crise sanitária, como por exemplo, o uso de drones na otimização de entrega de serviços e suprimentos médicos proporcionando maior rapidez e economia, além de controle de áreas; robótica avançada para auxiliar no acompanhamento de pacientes, e também no diagnóstico, inspeção, manutenção ou reparação industrial de forma remota; impressão 3D para suprir a falta de produtos médicos, insumos e criação de protótipos; *big data* e inteligência artificial para avaliação de tendências e demandas, analisando dados de saúde pública por exemplo. A figura 11 traz um resumo da utilização das novas tecnologias contra a pandemia de Covid-19 e a crise econômica.

	RESPOSTAS À PADEMIA DE COVID-19	RESPOSTAS À CRISE ECONÔMICA
Drones 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Entrega de suprimentos críticos ➢ Desinfecção de espaços públicos ➢ Medição de temperatura corporal ➢ aplicação de controles de quarentena 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Maior eficiência na entrega de serviços ➢ Digitalizar áreas extensas e altamente povoadas e informações de transmissão
Robótica 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Acompanhamento e assistência a pacientes ➢ Otimização de estoque médico ➢ Entrega de remédios e comida 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Remoção de inspeção, reparo e manutenção ➢ Operações semi-autônomas
Impressão 3D 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Produção de equipamentos médicos e componentes essenciais 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Combater a escassez de componentes ➢ Projetar e testar protótipos para novos produtos
Blockchain 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Identidade digital, incluindo saúde ➢ Rastreamento de segurança de medicamentos ➢ Gestão de reclamações de saúde 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Resiliência das cadeias de abastecimento ➢ Rastreabilidade e transparência sobre a origem e processo de transformação
Big Data / IA 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Analisar dados e modelo de surtos virais ➢ Auxiliar no desenvolvimento de vacinas ➢ Analisar padrões para melhorar o controle 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Conexão digital de instalações industriais para permitir a troca rápida de linhas de produção ➢ Análise de dados e tendências para prever mudanças de demanda e avaliar impactos
IoT 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Coleta de dados de saúde pública ➢ Analisar a qualidade do ar em edifícios ➢ Auxiliar no transporte de mercadorias críticas 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Melhorar a precisão e o tempo de resposta ➢ Melhorar a compreensão das preferências e necessidades dos consumidores

Figura 11: Uso das novas tecnologias contra a pandemia de Covid-19.

Fonte: Adaptado de UNIDO (2020).

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se uma revisão bibliográfica com ênfase na 4ª Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, suas tecnologias e suas implicações no Brasil, bem como seus desafios e oportunidades em meio à pandemia de Covid-19. Verificou-se que o atual nível de competitividade vivenciado pela indústria global tem trazido à tona a urgente necessidade das empresas brasileiras em se modernizarem, ao risco de ficarem marginalizadas no cenário mundial. Esse impacto que tem trazido mudanças significativas em todo planeta é dinâmico, e impõe uma série de desafios a toda sociedade, pois suas disrupções sinalizam novas tendências e novos paradigmas mundiais.

A integração da indústria brasileira nas cadeias globais de valor só será sustentada com a urgente assimilação das tecnologias associadas à Indústria 4.0. Nesse sentido, observou-se que as empresas que utilizaram essas tecnologias conseguiram se sobressair melhor à pandemia de Covid-19 em comparação com aquelas que não a utilizaram. Ainda nesse contexto, é comprovado que os benefícios alcançados pela manufatura avançada abrangem não somente os setores industriais, mas também proporcionam benefícios humanos, sociais e ambientais, estendendo o conceito de Indústria 4.0 a uma gama de aplicações e a toda sociedade. Portanto, é urgente o planejamento, a disseminação e implementação de uma política que envolva todos os agentes públicos e privados, bem como acadêmicos em busca de propostas e soluções sobre o tema e sua implementação de forma mais rápida aos setores produtivos do país.

Como perspectiva para futuros trabalhos, tem-se como motivação a Política Nacional de Inovação, instituída pelo Decreto nº 10.534 de 28 de outubro de 2020, cujo objetivo, de forma mais ampla, é articular as estratégias e ações de fomento à inovação no setor produtivo. Outro tema relevante é o início da implementação do 5G em 2022, que irá impactar de forma significativa a difusão da Internet das Coisas, bem como outras tecnologias da I4.0.

REFERÊNCIAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Conhecimento. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/noticias/>. Acesso em 05 de novembro de 2021.

ABIMAQ – Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos. Agenda de Competitividade 2021. Disponível em: <https://abimaq.org.br/blogmaq/247/agenda-de-competitividade-2021>. Acesso em 01 novembro de 2021.

ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de; ALEXANDRIA, Auzuir Ripardo de. Redes Industriais: aplicações em sistemas digitais de controle distribuído. Editora Ensino Profissional. 2a edição, 2009.

ALMEIDA, P. R. O Brasil e a nanotecnologia: rumo à quarta revolução industrial. 2005. Espaço Acadêmico, Maringá, a. VI, n. 52, set. 2005.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. Indústria 4.0: princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial. São Paulo: Érica, 2019.

ALTUS, O que é a Ethernet. Disponível em: <https://www.altus.com.br/post/215/o-que-e-a-ethernet-industrial-e-qual-sua-importancia-para-a-industria-4-0-3F>. Acesso em 19 de agosto de 2021.

ANTONIO, D. S. *et al* . A INDÚSTRIA 4.0 E SEUS IMPACTOS NA SOCIEDADE. Pesquisa e Ação, Volume 4. Nº3. 2018.

ARAÚJO, A.; CHAGAS, C.; FERNANDES, R. Uma rápida análise sobre automação industrial. Redes para Automação Industrial, 2003.

ARAÚJO, Tiago. **Como a Indústria 4.0 pode ajudar a combater a pandemia do novo coronavírus**. SENAI Ceará, 2020. Disponível em: <<https://www.senai-ce.org.br/blog/como-a-industria-4-0-pode-ajudar-a-combater-a-pandemia-do-novo-coronavirus/>>

ARBIX, Glauco; SALERNO, Mario Sérgio, ZANCUL, Eduardo; AMARAL, Guilherme; LINS, Leonardo Melo. O BRASIL E A NOVA ONDA DE MANUFATURA AVANÇADA: O que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. **Novos estud. CEBRAP**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 29-49, Nov. 2017. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010133002017000300029&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 10 de outubro de 2021.

AZURE. A nuvem para inovar em qualquer lugar e criar qualquer coisa. Disponível em: <https://azure.microsoft.com/pt-br/>. Acesso em 08 de setembro de 2021.

BOSCHERT, S.; ROSEN, R. Digital Twin—The Simulation Aspect. In: HEHENBERGER, P.; BRADLEY, D. (eds) Mechatronic Futures. Cham: Springer, 2016. Cap.5, p. 59–74.

BRANDÃO, Alexandre; NEVES, Rodolpho. **Agricultura e indústria 4.0**. : automação e controle de processos agrícolas e industriais. Viçosa, MG : UFV, CEAD, 2021.1 apostila eletrônica (87 p.).

BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Profuturo**: produção do futuro, 2017, 68 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. Global Innovation Index 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2021/09/brasil-avanca-5-posicoes-no-global-innovation-index-2021>. Acesso em: 05 de novembro de 2021.

BRUCIAPAGLIA, A. H.; FARINES, J.-M.; CURY, J. E. R. A automação no processo produtivo: desafios e perspectivas. Departamento de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 1999.

BRUNO, Flavio da Silveira. A quarta revolução industrial do setor têxtil e de confecção : a visão de futuro para 2030 /Flavio da Silveira Bruno. – 1. ed. – São Paulo : Estação das Letras e Cores, 2016.

BUGHIN, Jacques *et al.* **Tech for good: Smoothing disruption, improving well-being.** Bruxelas: McKinsey Global Institute, 2019, 80 p. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/featured%20insights/future%20of%20organizations/tech%20for%20good%20using%20technology%20to%20smooth%20disruption%20and%20improve%20well%20being/tech-for-good-mgi-discussion-paper.pdf>>. Acesso em 18 de novembro de 2021.

CARVALHO, F. B., S., T. B., Fonseca, M. O. and Seixas Filho, C. (2005). Sistemas PIMS – Conceituação, Usos e Benefícios, Tecnologia em Metalurgia e Materiais, Vol 4, Abr-Jun.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Sondagem especial: indústria 4.0, Brasília, v. 17, n. 2, abr. 2016. Disponível em: <<http://www.cni.com.br/sondespecial>>. Acesso em: 4 junho de 2021.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Oportunidades para a indústria 4.0:** aspectos da demanda e oferta no Brasil. Brasília: CNI, 2017, 58 p.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Investimentos na Indústria. Ano 9. Número 1. Brasília: CNI, 2018. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/investimentos-na-industria/>>. Acesso em: 29 de agosto de 2021.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. A Indústria 4.0 e a pandemia. Brasília: CNI, 2020. Disponível em: <https://static.portaldaindustria.com.br/portaldaindustria/noticias/media/filer_public/de/cc/decc6afa-ae64-4160-9b3c-87d7dcd4b3d6/a_industria_40_e_a_pandemia.pdf>. Acesso em: 08 de setembro de 2021.

CONCEIÇÃO, C. S. Da revolução industrial à revolução da informação: uma análise evolucionária da industrialização da América Latina. 2012.

COPADATA - O que é SCADA. Disponível em: <https://www.copadata.com/pt/produtos/zenon-software-platform/visualizacao-controle/o-que-e-o-scada/>. Acesso em 13 de julho de 2021.

FIRJAN - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Indústria 4.0:** internet das coisas. Rio de Janeiro: Cadernos SENAI de inovação, 2016, 38 p. Disponível em: <
<https://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF01557E033FAC372E&inline=1>> Acesso em 08 de setembro de 2021.

FIRJAN - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Indústria 4.0 no Brasil:** oportunidades, perspectivas e desafios, 2019, 65 p. Disponível em: <
<https://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A6895B4030168EC48A78E023D>> Acesso em 08 de setembro de 2021.

GIL, A. C. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. Editora Atlas S.A. 4ª Edição. São Paulo, 2002.

GLAESSGEN, E.; STARGEL, D. The digital twin paradigm for future nasa and us air force vehicles. In: *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 14th AIAA*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1818.

GOMES, J. O. et al (2016). *Desafios Para a Indústria 4.0 no Brasil*. Brasília: Confederação Nacional da Indústria.

GOOLSBEE, Austan; SYVERSON, Chad. Fear, lockdown, and diversion: comparing drivers of pandemic economic decline 2020. *Journal of Public Economics*, v. 193, Jan. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-public-economics/issues>. Acesso em: 26 de setembro de 2021.

HERMANN, M., Pentek, T., Otto, B., 2015. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Technische Universität Dortmund: working paper 01/2015.

IEDI - INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **A indústria do futuro no Brasil e no mundo**, 2019, 622 p. Disponível em: <
https://iedi.org.br/media/site/artigos/20190311_industria_do_futuro_no_brasil_e_no_mundo.pdf>. Acesso em 14 de novembro de 2021.

IEDI - INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Desaceleração da exportação industrial de maior intensidade tecnológica, 2021, 41 p. Disponível em: <
https://iedi.org.br/artigos/top/estudos_industria/20211029_balcom_2021T3.html>. Acesso em 14 de novembro de 2021.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Brasil pós-COVID-19: contribuições do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. Brasília: IPEA, 2020. Disponível em: <
https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatorio_institucional/200724_ri_o%20brazil_pos_covid_19.pdf> Acesso em 15 de novembro de 2021.

LU, Yang. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1-10, 2017.

LUGLI, Alexandre B.; SANTOS, Max M.D. **Sistemas Fieldbus para automação industrial: DeviceNet, CANopen, SDS e Ethernet**. 1ª Edição, 4ª reimpressão. São Paulo: Érica, 2009.

MARTINS, Geomar, **Princípios de Automação Industrial**. 2012. Apostila de Automação. UFSM, 2012.

MCKINSEY - Covid-19 um ponto de inflexão para a indústria 4.0. Disponível em: <
<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/covid-19-an-inflection-point-for-industry-40/pt-br>>. Acesso em 05 de novembro de 2021.

MICHEL, J. C.; STRINGARI, S. Protótipo de Rede Industrial Utilizando o Padrão Serial RS485 e Protocolo Modbus, I Congresso Brasileiro de Computação - CBComp 2001, Blumenau – SC, 2001.

NATALE, Ferdinando. Automação industrial. São Paulo: Érica, 2000.

NEGRI, E.; FUMAGALLI, L.; MACCHI, M. A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems. *Procedia Manufacturing*, v. 11, n. June, p. 939–948, 2017.

NIST. *Big Data Interoperability Framework: Volume 1, Definitions*. V1, p32, 2015.

PASQUALOTTO, Adalberto de Souza; BUBLITZ, Michelle Dias. Desafios do presente e do futuro para as relações de consumo ante Indústria 4.0 e a economia colaborativa. **Revista de Direito, Globalização e Responsabilidade nas Relações de Consumo**, Maranhão, v. 3, n. 2, p. 62-81, Jul/Dez. 2017.

SANTOS, B. P. et al. (2016). *Internet das Coisas: da Teoria à Prática*. Departamento de Ciência da Computação Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Belo Horizonte, MG, Brasil.

SAP - Systemanalysis Programmentwicklung. O que é Internet das Coisas. Disponível em: <https://www.sap.com/brazil/insights/what-is-iot-internet-of-things.html>. Acesso em 22 de agosto de 2021.

SAP - Systemanalysis Programmentwicklung. Como Funciona Um sistema ERP. Disponível em: <https://www.sap.com/brazil/insights/what-is-erp.html>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

SCHUH, Günther et al. Hypotheses for a Theory of Production in the Context of Industrie 4.0. In: *Advances in Production Technology*. Springer International Publishing, 2015. p. 11-23

SCHWAB, Klaus. The Fourth Industrial Revolution: what it means and how to respond. *Snapshot*, n. 12, December/2015.

SCHWAB, K. (2019). *A Quarta Revolução Industrial*. Livro eletrônico, Edipro, v1, 1 ed, 2019.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO A MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. O impacto da pandemia de coronavirus nos pequenos negócios, - 10ª Edição do SEBRAE, Março 2021. Disponível em: < <https://fgvprojetos.fgv.br/artigos/o-impacto-da-pandemia-de-coronavirus-nos-pequenos-negocios-10a-edicao-do-sebrae-marco-2021>>. Acesso em 03 de novembro de 2021.

SIEMENS. Manufatura Aditiva, digitalize a manufatura. Disponível em: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/pt/products/tecnomatix/>. Acesso em 21 de setembro de 2021.

SILVA, D. B.; SILVA, R. M.; GOMES, M. L. B. O reflexo da terceira revolução industrial da sociedade. Ln: ECONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22, 2002, Curitiba, 2002.

SILVEIRA, C. O. *O Que é Indústria 4.0 e Como Ela Vai Impactar o Mundo* . 2015. Disponível em: <<http://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>> Acesso em: 22 de setembro de 2021.

SINGER, P. Desenvolvimento capitalista e desenvolvimento solidário. Estudos avançados, v. 18, n. 51, p. 7-22, 2004.

UNASUS – Universidade Aberta do Sistema Único de Saúde. Coronavírus: Brasil confirma primeiro caso da doença. Disponível em: <https://www.unasus.gov.br/noticia/coronavirus-brasil-confirma-primeiro-caso-da-doenca>. Acesso em 01 de outubro de 2021.

UNIDO - UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. **Industrial Development Report 2020: Industrializing in the digital age.** Vienna: United Nations Publications, 2019b, 42 p. Disponível em: < https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/UNIDO_IDR2020-English_overview.pdf>. Acesso em 18 de novembro de 2021.

UNIDO - UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. **COVID-19 implications & responses: digital transformation & industrial recovery.** Vienna: United Nations Publications, 2020, 23 p. Disponível em: <

https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-07/UNIDO_COVID_Digital_Transformation_0.pdf >. Acesso em 18 de novembro de 2021.

VENTURELLI, M. *Cibersegurança na Indústria 4.0*. 2018. Disponível em <<https://www.automacaoindustrial.info/artigos/> > Acesso em 02 de setembro de 2021.

VIERA, A. F. G. et al. Tecnologia de Identificação por Radiofrequência: Fundamentos e aplicações em automação de bibliotecas. Enc. Bibli: R. Eletr. Bibliotecon. Ci. Inf., Florianópolis, n. 24, p. 182-202, 2007.

VOLPATO, N. **Manufatura Aditiva**: Tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo (SP): Edgard Blücher, 2017.

WAN, K.; HUGHES, D.; MAN, K. L.; KRILAVICIUS, T.; ZOU, S. Investigation on composition mechanisms for cyber physical systems. INTERNATIONAL JOURNAL OF DESIGN, ANALYSIS AND TOOLS FOR CIRCUITS AND SYSTEMS, v. 2, n. 1, p. 30 – 40, 2011.

WAZLAWICK, Raul Sidnei. Engenharia de Software: conceitos e práticas. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.