



Universidade Federal de Ouro Preto  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas  
Departamento de Engenharia Elétrica



## **Trabalho de Conclusão de Curso**

# **Estudo de Estratégias para Adequação das Indústrias de Siderurgia aos Paradigmas da Indústria 4.0**

**Luisabelly de Castro Oliveira**

João Monlevade, MG  
2022

**Luisabelly de Castro Oliveira**

**Estudo de Estratégias para Adequação das  
Indústrias de Siderurgia aos Paradigmas da  
Indústria 4.0**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Feliciano Braga

Coorientador: Prof. Leonardo Pessoa Freitas e Silva

**Universidade Federal de Ouro Preto  
João Monlevade  
2022**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

O482e Oliveira, Luisabelly de Castro.

Estudo de estratégias para adequação das indústrias de siderurgia aos paradigmas da Indústria 4.0. [manuscrito] / Luisabelly de Castro Oliveira. - 2022.

47 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Marcio Feliciano Braga.

Coorientador: Leonardo Pessoa Freitas Silva.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia Elétrica .

1. Indústria 4.0. 2. Inovações tecnológicas. 3. Revolução Industrial. 4. Siderurgia. I. Silva, Leonardo Pessoa Freitas. II. Braga, Marcio Feliciano. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 681.5

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Luisabelly de Castro Oliveira**

### **Estudo de estratégias para adequação das indústrias de siderurgia aos paradigmas da indústria 4.0**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica

Aprovada em 20 de junho de 2022

#### Membros da banca

D.Sc. - Márcio Feliciano Braga - Orientador - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
M.Sc. - Leonardo Pessoa Freitas e Silva - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
D.Sc. - Wendy Yadira Eras Herrera - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
D.Sc. - Rodrigo Augusto Ricco - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Márcio Feliciano Braga, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 03/07/2022



Documento assinado eletronicamente por **Marcio Feliciano Braga**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/07/2022, às 18:25, 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](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0356059** e o código CRC **09538FA6**.

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus, à minha família, aos meus amigos e a todos que de alguma forma torceram por mim.*

# Agradecimentos

Se hoje estou aqui, é com a ajuda de todos que me deram apoio e incentivo. Por esse motivo, inicio os agradecimentos reconhecendo minha família, que sempre esteve ao meu lado.

Agradeço imensamente a paciência e dedicação do professor orientador Dr. Márcio Feliciano Braga, que com seus valiosos ensinamentos permitiram meu aprendizado e elaboração deste trabalho.

Agradeço também ao meu coorientador Leonardo Pessoa Freitas e Silva pela dedicação e conhecimentos compartilhados.

Por último, agradeço à Instituição Universidade Federal de Ouro Preto pela oportunidade concedida e também aos professores e amigos que me apoiaram nessa jornada.

*“Uma mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”*

*Albert Einstein*

# Resumo

As Revoluções Industriais são grandes marcos na história da humanidade e seus desdobramentos afetaram todo o mundo. Concomitantemente, a Primeira Revolução Industrial supriu a escassez de produtos de manufatura artesanal, a Segunda Revolução Industrial realizou o desenvolvimento da racionalização do trabalho e o aperfeiçoamento da divisão do trabalho em etapas múltiplas, e a Terceira Revolução Industrial promoveu uma produção enxuta, utilizando a automação. A partir disso, estamos vivendo hoje a Quarta Revolução Industrial que busca a disponibilidade de informações e a capacidade de obter o fluxo ótimo de valor agregado a qualquer momento, ligando pessoas, coisas e sistemas, de forma organizada e em tempo real. Sabendo que a automação da indústria se dá antes da existência da Indústria 4.0, ou seja, é uma pré-condição para a implementação do sistema de produção 4.0, este trabalho traz uma contribuição acadêmica no sentido de esclarecer conceitos relacionados à Quarta Revolução Industrial. Neste trabalho também é feita uma contextualização dos pilares da Quarta Revolução Industrial e uma discussão a respeito de outros temas que fazem parte do universo da Indústria 4.0. Por fim, para saber como a Indústria 4.0 se comporta na prática e diagnosticar o nível de sua implementação na siderurgia, identificando benefícios, dificuldades e desafios, foi aplicado um questionário em duas empresas do ramo siderúrgico situadas em Minas Gerais, Brasil, e as respostas obtidas foram analisadas.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0, Quarta Revolução Industrial, Siderurgia, Tecnologia.

# Abstract

The Industrial Revolutions are great milestones in the history of humanity and their developments have affected the whole world. Concurrently, the First Industrial Revolution met the shortage of artisanal manufacturing products, the Second Industrial Revolution carried out the development of the rationalization of labor and the improvement of the division of labor into multiple stages, and the Third Industrial Revolution promoted lean production, using automation. From this, we are living today the Fourth Industrial Revolution that seeks the availability of information and the ability to get optimal flow value-added at any time, connecting people, things and systems in an organized and real-time way. Knowing that the automation of the industry takes place before the existence of Industry 4.0, that is, it is a precondition for the implementation of the 4.0 production system, this work raises transformations that Industry 4.0 performs in automation. In addition, Industry 4.0 is formed by interconnecting elements and these elements, called pillars of Industry 4.0, are explained in this work. In this work is also made a contextualization of the pillars of the Fourth Industrial Revolution and a discussion about other themes that are part of the universe of Industry 4.0. Finally, to find out how Industry 4.0 can be implemented in practice and to diagnose the level of its implementation in the steel industry, identifying benefits, difficulties and challenges, a questionnaire was applied to two companies in the steel industry in Minas Gerais, Brazil, and the responses were analyzed.

**Keywords:** Fourth Industrial Revolution, Industry 4.0, Steel industry, Technology.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Características das revoluções industriais. . . . .	1
Figura 2 – Pilares da Indústria 4.0. . . . .	3
Figura 3 – Pirâmide da automação com quatro níveis. . . . .	10
Figura 4 – Pirâmide da automação com cinco níveis. . . . .	11
Figura 5 – Pirâmide da automação com seis níveis. . . . .	12
Figura 6 – Pirâmide da automação clássica e conectada. . . . .	13
Figura 7 – Interligação dos elementos formadores da Indústria 4.0. . . . .	17
Figura 8 – Relação entre CPS, IoT e IoS. . . . .	19
Figura 9 – Áreas de implementação da Indústria 4.0. . . . .	22
Figura 10 – Uso de sistemas em nuvem. . . . .	24
Figura 11 – Evolução temporal do ambiente de trabalho. . . . .	31
Figura 12 – Segmento siderúrgico no qual os respondentes atuam. . . . .	34
Figura 13 – Departamento no qual os respondentes atuam. . . . .	35
Figura 14 – Área na qual os respondentes atuam. . . . .	35
Figura 15 – Tecnologias digitais utilizadas. . . . .	36
Figura 16 – Tecnologias digitais que pretendem inserir. . . . .	36
Figura 17 – Relevância esperada pelos benefícios da implementação de tecnologias digitais. . . . .	37
Figura 18 – Barreiras internas que dificultam a adoção das tecnologias digitais. . . . .	38
Figura 19 – Impacto das tecnologias da Indústria 4.0 no dia a dia da empresa. . . . .	38
Figura 20 – Conhecimento das pessoas que trabalham na empresa sobre o conceito de Indústria 4.0. . . . .	39

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Benefícios da Indústria 4.0. . . . .	3
Tabela 2 – Nível tecnológico da indústria por fase. . . . .	7
Tabela 3 – Evolução da educação corporativa e as revoluções industriais. . . . .	27
Tabela 4 – Parte sobre Segmentação do questionário. . . . .	45
Tabela 5 – Parte sobre Tecnologias Digitais do questionário. . . . .	46
Tabela 6 – Segunda parte sobre Tecnologias Digitais do questionário. . . . .	47
Tabela 7 – Parte sobre Indústria 4.0 do questionário. . . . .	48

# Lista de Siglas

<b>ANSI/ISA</b>	Sociedade Internacional de Automação, do inglês <i>American National Standard Institute/International Society of Automation</i>
<b>CLPs</b>	Controladores Lógicos Programáveis
<b>CPS</b>	Sistemas Ciberfísicos, do inglês <i>cyber-physical systems</i>
<b>IoS</b>	Internet dos Serviços, do inglês <i>Internet of Services</i>
<b>IoT</b>	Internet das Coisas, do inglês <i>Internet of Things</i>
<b>ERP</b>	Sistema de Gestão Integrado, do inglês <i>Enterprise Resources Planning</i>
<b>M2M</b>	Máquina para máquina, do inglês <i>Machine to Machine</i>
<b>MEMS</b>	Sistemas Microeletromecânicos
<b>MES</b>	Sistema de Gerenciamento de Processos Produtivos, do inglês <i>Manufacturing Execution Systems</i>
<b>MRP</b>	Planejamento de Necessidades de Materiais, do inglês <i>Material Requirements Planning</i>
<b>MRP II</b>	Planejamento de Recursos de Manufatura, do inglês <i>Manufacturing Resources Planning</i>
<b>PCs</b>	Computadores Pessoais
<b>SERP</b>	Sistema Inteligente de Gestão Integrado, do inglês <i>Smart Enterprise Resources Planning</i>
<b>SOA</b>	Arquitetura Orientada a Serviços, do inglês <i>Service Oriented Architecture</i>
<b>TI</b>	Tecnologia da Informação
<b>TIC</b>	Tecnologia da Informação e Comunicação
<b>IHM</b>	Interface Homem-Máquina

# Sumário

1	<b>INTRODUÇÃO</b>	1
1.1	Motivação	4
1.2	Metodologia	4
1.3	Objetivos	5
1.3.1	Objetivos Específicos	5
1.4	Organização do Texto	5
2	<b>REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS E A AUTOMAÇÃO</b>	7
2.1	Introdução	7
2.2	Revoluções Industriais	8
2.3	Pirâmide de Automação na Indústria 3.0	10
2.4	Pirâmide de Automação na Indústria 4.0	13
2.5	Integração horizontal, integração vertical e integração de ponta a ponta	14
3	<b>PILARES DA INDÚSTRIA 4.0</b>	16
3.1	Introdução	16
3.2	<i>Big Data</i>	17
3.3	IoT e IoS	18
3.4	Sistemas Ciber Físicos	18
3.5	Computação em nuvem	19
3.6	Materiais Inteligentes, Produtos Inteligentes e Fábricas Inteligentes	20
3.7	Máquina para Máquina (M2M)	21
4	<b>ELEMENTOS DA INDÚSTRIA 4.0</b>	22
4.1	Introdução	22
4.2	Cooperação	22
4.3	A Internet na Indústria 4.0	23
4.4	Sistema de Gestão Integrado e inteligência nos negócios	25
4.5	Conhecimento sobre a Indústria 4.0	25
4.6	Padronização de sistemas	26
4.7	Aplicação de tecnologia de informação	26
4.8	Robótica Inteligente	28
4.9	Análise de <i>Big Data</i>	29
4.10	Fabricação virtual	30
4.11	Organização do trabalho	30

4.12	Comunicação entre dispositivos . . . . .	32
5	<b>A INDÚSTRIA 4.0 NA PRÁTICA . . . . .</b>	<b>34</b>
5.1	<b>Introdução . . . . .</b>	<b>34</b>
5.2	<b>Respostas obtidas . . . . .</b>	<b>34</b>
5.2.1	Segmentação . . . . .	34
5.2.2	Tecnologias Digitais . . . . .	35
5.2.3	Impacto da Indústria 4.0 no dia a dia da empresa . . . . .	37
5.3	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>39</b>
6	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>40</b>
6.1	<b>Trabalhos Futuros . . . . .</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>41</b>
A	<b>QUESTIONÁRIO APLICADO EM DUAS INDÚSTRIAS SIDERÚRGICAS . . . . .</b>	<b>45</b>

# 1 Introdução

Segundo Pasquini (2020), as Revoluções Industriais são grandes marcos na história da humanidade porque seus desdobramentos afetaram todo o mundo. Portanto, foi um acontecimento extremamente importante para a humanidade, pois os produtos deixaram de ser manufaturados e passaram a ser maquinofaturados, o que permitiu a produção em massa. Essa passagem do capitalismo comercial para o industrial provocou grande abalo na sociedade da época, transformando seu modo de vida e o trabalho. A Revolução Industrial foi a base para a revolução tecnológica presente nos dias atuais. Na Figura 1 podemos observar características das Revoluções Industriais. Além disso é importante salientar que os termos "Quarta Revolução Industrial" e "Indústria 4.0" são considerados sinônimos neste trabalho.

Figura 1 – Características das revoluções industriais.



Fonte: Adaptado de Kagermann, Wahlster e Helbig (2013).

A Primeira Revolução Industrial surge para suprir a escassez de produtos de manufatura artesanal. A Segunda Revolução Industrial foi marcada pelo desenvolvimento da racionalização do trabalho e aperfeiçoamento da divisão do trabalho em etapas múltiplas, realizado por Frederick Taylor (SACOMANO et al., 2018). A Terceira Revolução Industrial é caracterizada por uma produção enxuta, automação e uso intensivo da Tecnologia da Informação (TI) e trouxe ganhos para a indústria em geral.

De acordo com Zhou, Liu e Taigang (2015), a Quarta Revolução Industrial se deu quando o conceito Indústria 4.0 apareceu, pela primeira vez, em um artigo publicado pelo governo alemão em novembro de 2011, como uma estratégia de alta tecnologia para 2020. Em abril de 2013, o termo Indústria 4.0 apareceu novamente em uma feira industrial

em Hannover, na Alemanha, e rapidamente se tornou a estratégia nacional alemã. Nos últimos anos, a Indústria 4.0 tem sido amplamente discutida e se tornou um ponto de acesso para a maioria das indústrias globais e a indústria da informação.

A Indústria 4.0 é melhor entendida como um novo nível de organização e controle sobre toda a cadeia de valor (rede de empresas colaborativas) do ciclo de vida dos produtos (NAKAYAMA, 2017). De acordo com isso, uma cadeia de valor não se trata apenas de transformar a matéria-prima em outra coisa, e sim de saber agregar valor em cada uma das etapas desse processo. Esse ciclo começa na ideia do produto, abrange a colocação do pedido, o desenvolvimento, a fabricação, até a entrega do produto para o cliente, além de concluir com a reciclagem.

A base para a quarta revolução industrial é a disponibilidade de informações relevantes em tempo real, interligando todas as instâncias envolvidas na cadeia de valor. Outra característica vital é a capacidade de obter o fluxo ótimo de valor agregado a qualquer momento a partir dos dados, ou seja, a ligação de pessoas, coisas e sistemas cria conexões dinâmicas, auto-organizadas, em tempo real e otimizadas, dentro e entre empresas (SACOMANO et al., 2018).

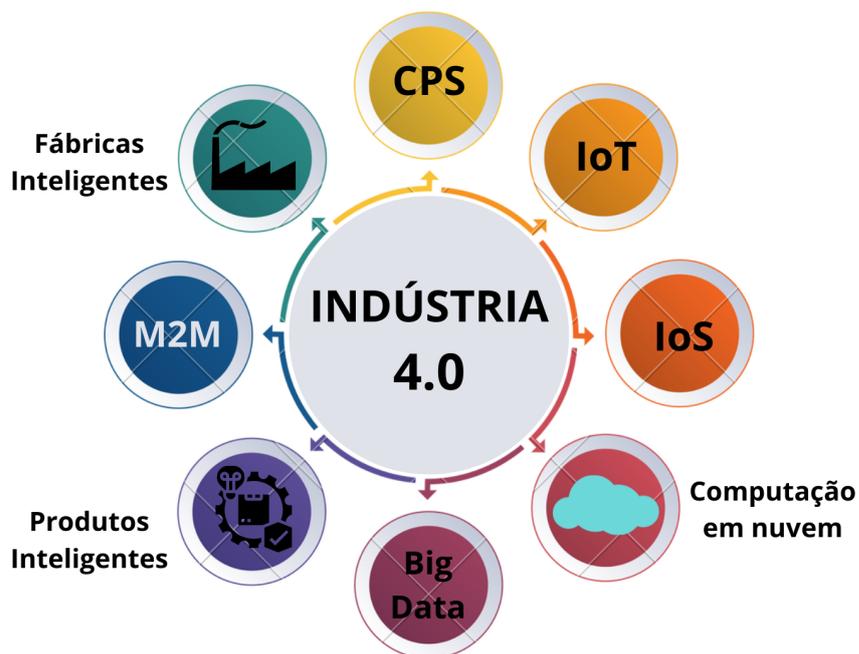
Segundo Hermann et al. (2015), existem quatro componentes principais da Indústria 4.0: Sistemas Ciberfísicos, do inglês *cyber-physical systems* (CPS), Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT), Internet dos Serviços, do inglês *Internet of Services* (IoS), e Fábricas Inteligentes, do inglês *Smart Factories*. A comunicação Máquina para máquina, do inglês *Machine to Machine* (M2M), e os Produtos Inteligentes, do inglês *Smart Products*, não são considerados componentes independentes da Indústria 4.0, mas o M2M é um facilitador da IoT e os Produtos Inteligentes são um subcomponente dos CPS. Da mesma forma, o *Big Data*, ou grande quantidade de dados, e a Computação em Nuvem são serviços que utilizam os dados gerados em implementações da Indústria 4.0. Atrelado a isso, apresenta-se na Figura 2 os pilares que sustentam o conceito de Indústria 4.0.

Gomes, dos Santos e Campos (2018) afirma que, do ponto de vista econômico, os conceitos da Indústria 4.0 impulsionam a produtividade e tornam as indústrias mais flexíveis, eficientes, aptas e ágeis para enfrentar ambientes mutantes e competitivos. Na Tabela 1, podemos observar alguns benefícios da Quarta Revolução Industrial.

Ao mesmo tempo, um dos maiores impactos da Indústria 4.0 será a criação de novos modelos de negócios, além da modificação dos métodos de trabalho, com o uso de sistemas e sensores inteligentes (GOMES; DOS SANTOS; CAMPOS, 2018). Além disso, existem impactos que influenciam diretamente as relações trabalhistas e habilidades exigidas dos profissionais. Os profissionais terão que se especializar e, nesse cenário, ganha espaço quem tiver visão macro do mercado (GOMES; DOS SANTOS; CAMPOS, 2018).

A Quarta Revolução Industrial encapsula as tendências futuras de desenvolvimento da indústria para alcançar processos de fabricação mais inteligentes, incluindo a

Figura 2 – Pilares da Indústria 4.0.



Fonte: Autor.

Tabela 1 – Benefícios da Indústria 4.0.

Benefício	Motivo
Redução de Custos	Automação das fábricas e máquinas tendo capacidade e autonomia para programar manutenções
Economia de energia	Tecnologias e melhoria na eficiência da captação e geração de energia
Aumento da segurança	Máquinas conectadas em rede e com monitoramento da produção por meio de sensores
Redução de erros	Máquinas calibradas para manter acertos
Transparência nos negócios	Maior controle das informações geradas pela produção

Fonte: Adaptado de Gomes, dos Santos e Campos (2018).

dependência de CPS e implementação e operação de fábricas inteligentes (ZHOU; LIU; TAIGANG, 2015).

De acordo com Silva (2019), apesar da Indústria 4.0 ser considerada um novo estágio industrial com foco na integração dos processos de manufatura vertical e horizontal e na conectividade de produtos, pesquisas como UNCTAD (2017) e Backer e Flaig (2017) indicam que países emergentes, como o Brasil, apresentam baixa maturidade em relação à automação e ao uso de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). Atrélado a

isso, Storolli et al. (2018) afirma que o segmento de autopeças brasileiro está com um grau de maturidade em nível inicial de implementação dos conceitos da Indústria 4.0. Dessa forma, pouco se sabe sobre a forma com que as indústrias, especialmente de países emergentes veem a potencial contribuição das tecnologias relacionadas ao setor 4.0 para o desempenho industrial.

## 1.1 Motivação

Estamos hoje vivenciando a Quarta Revolução Industrial, juntamente com a busca por sua implementação e com seus impactos. De acordo com a pesquisa realizada pela Confederação Nacional das Indústrias — CNI, (ANDRADE et al., 2016), o conhecimento da indústria brasileira sobre tecnologias digitais e a sua incorporação à produção, que são pré-condições para avanço da Indústria 4.0, ainda é pouco difundido (SILVA, 2019). Ao mesmo tempo, Manyika et al. (2015) afirma que até 2025 as atividades relacionados à Indústria 4.0 poderão reduzir custos de manutenção em 10% a 40%, o consumo de energia em 10% a 20% e aumentar a eficiência do trabalho em 10% a 25%.

Esse novo conceito de indústria surgiu recentemente na Europa e sua difusão no Brasil ainda é limitada, embora seja um estratégia a ser adotada por grandes indústrias como forma de vencer a competitividade (SAKURAI; ZUCHI, 2018). Além disso, por ser uma nova proposta que demanda mão-de-obra qualificada e altos custos para implantação, é possível que a Indústria 4.0 demore para alcançar o setor industrial de forma significativa no Brasil (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

De acordo com isso e por ser indispensável entender os conceitos relacionados a esse tema, a fim de impulsionar sua correta implementação nas atividades de produção, este trabalho levanta conceitos relacionados à Indústria 4.0 e trata das tecnologias aplicadas na indústria no contexto da Quarta Revolução Industrial.

## 1.2 Metodologia

A metodologia inicial utilizada para desenvolvimento deste trabalho é a pesquisa exploratória e o procedimento de tratamento da pesquisa é a revisão bibliográfica. Foram consultados livros, artigos, teses, monografias e revistas. Concomitantemente, os documentos têm como foco as Revoluções Industriais, a Indústria 4.0, a automação, as tecnologias formadoras da Quarta Revolução Industrial entre outros temas que fazem parte do universo da Indústria 4.0.

Em seguida, na segunda parte do trabalho foi realizada uma pesquisa descritiva com estudo de caso. De acordo com isso, foi estudada a forma como os conceitos de Indústria 4.0 são inseridos na realidade de duas indústrias situadas em Minas Gerais, Brasil. O procedimento de tratamento da pesquisa foi entrevista.

## 1.3 Objetivos

No presente trabalho, é realizado um levantamento teórico generalista das técnicas necessárias para que uma dada indústria se enquadre no conceito de Indústria 4.0, além de apresentar uma discussão a respeito das vantagens e desvantagens do uso das tecnologias relacionadas a esse conceito.

### 1.3.1 Objetivos Específicos

- Realização de pesquisa sobre as definições da Indústria 4.0;
- Levantamento da história das Revoluções Industriais;
- Apresentação de características da pirâmide de automação clássica e da pirâmide de automação conectada;
- Apresentação de possíveis soluções para integração de sistemas de gerenciamento de informações;
- Contextualização dos itens apontados como pilares da Indústria 4.0 e discussão de temas que fazem parte do universo da Quarta Revolução Industrial.
- Observação do nível de implantação, benefícios, dificuldades e desafios da Indústria 4.0 em empresas do ramo siderúrgico.

## 1.4 Organização do Texto

No Capítulo 1, é explicitado de maneira geral o que será abordado neste trabalho. Além disso, apresentam-se a motivação, que enfatiza a importância da realização deste estudo, a metodologia, que trata da forma como as informações foram coletadas, os objetivos, que traz o que é almejado atingir. E por fim, esta seção, que mostra a forma como o trabalho é estruturado.

No Capítulo 2, as conexões entre as Revoluções Industriais atreladas à Automação são ressaltadas. Na primeira seção desse capítulo, é realizada uma introdução ao assunto, explicitando a evolução da automação no decorrer das Revoluções Industriais, na segunda seção, a Pirâmide de Automação na Indústria 3.0 é abordada e, a terceira seção trata da Pirâmide de Automação na Indústria 4.0.

O Capítulo 3 trata dos elementos que formam uma indústria do tipo 4.0. Inicialmente, é trazida uma introdução que aborda como esses elementos surgiram e como cooperam para a Quarta Revolução Industrial. Nas seções seguintes, os elementos formadores são levantados e explicados.

No Capítulo 4 é feita uma contextualização dos pilares da Indústria 4.0 presentes no Capítulo 3, além de explicitar outros temas que fazem parte do universo da Quarta Revolução Industrial.

O Capítulo 5 traz um questionário que foi aplicado em duas siderúrgicas brasileiras, a fim de diagnosticar o nível de implementação da Indústria 4.0, juntamente com seus benefícios, dificuldades e desafios. Além disso, as respostas obtidas nesse questionário foram analisadas e o desempenho da Indústria 4.0 na prática foi discutido.

O Capítulo 6 trata da conclusão, em que é realizada uma síntese do problema tratado no decorrer do texto. Ressalta-se também uma sugestão de trabalhos futuros.

## 2 Revoluções Industriais e a Automação

### 2.1 Introdução

A automação usa tecnologia a fim de substituir, por um sistema artificial, funções realizadas pelo ser humano. Ao mesmo tempo, a automação pode variar em níveis, desde baixo nível de desempenho, manual, até mais alto nível, automação completa (PARASURAMAN, 2000). Por outro lado, a automação industrial representa o que é automatizado para aplicações manufatureiras dentro da indústria. Simultaneamente, a utilização de robôs tem especial significado em tarefas que exigem grande velocidade, precisão de execução e apresentam risco ao trabalhador, ou seja, possibilita poupar o homem do perigo, atendendo à demanda de consumo (SACOMANO et al., 2018).

De acordo com Drath e Horch (2014), a primeira revolução industrial foi desencadeada pela Mecanização, a segunda revolução industrial se deu a partir da eletrificação, a terceira revolução pelo processamento digital (Digitalização) e a quarta revolução foi formada a partir da Comunicação Digital (tecnologias para Internet). Para melhor entendimento, na Tabela 2 estão explicitados os níveis tecnológicos da indústria em cada fase da Revolução Industrial.

Tabela 2 – Nível tecnológico da indústria por fase.

Fases da Evolução Industrial	Nível Tecnológico da Indústria
Indústria 0.0	Antes da primeira Revolução Industrial, quando a manufatura era uma atividade artesanal
Indústria 1.0	Primeira Revolução Industrial, utiliza a energia a vapor
Indústria 2.0	Segunda Revolução Industrial, utiliza a energia elétrica
Indústria 3.0	Terceira Revolução Industrial, utiliza aparelhos e dispositivos automatizados, eletrônica digital e computadores.
Indústria 4.0	Quarta Revolução Industrial, utiliza tecnologias de Internet

Fonte: Adaptado de Nakayama (2017).

Por fim, a automação da indústria se dá antes da existência da Indústria 4.0, ou

seja, é uma pré-condição para a implementação do sistema de produção 4.0. Uma empresa que não tenha linhas de produção ou processos produtivos automatizados ou, no mínimo, semiautomatizados, tem a necessidade de se adequar ao processo com automatização como passo inicial para utilizar toda a potencialidade da Indústria 4.0 (SACOMANO et al., 2018). Atrelado a isso, existem unidades industriais implantadas ou experimentais em que máquinas e robôs se relacionam com a mão de obra humana. Por fim, nesse capítulo trataremos dos acontecimentos, tecnologias e processos que interligam a automação com as Revoluções Industriais.

## 2.2 Revoluções Industriais

Em 1785, Edmund Cartwright inventou o tear mecânico, o qual podia ser operado por mão de obra não especializada, o que marcou o início da tecelagem industrial na Inglaterra, chamada de Primeira Revolução Industrial (SACOMANO et al., 2018). Boettcher (2015) afirma que na Indústria 1.0, após a ciência descobrir a utilidade do carvão como fonte de energia e então criar a máquina a vapor e a locomotiva, James Watt aperfeiçoou esta máquina a vapor. De acordo com isso, a indústria têxtil foi a primeira a utilizar essa nova tecnologia.

De acordo com Sacomano et al. (2018), posteriormente, outros setores passaram a utilizar o meio de automação de processos, inserindo máquinas à produção. Atrelado a isso, as empresas familiares passaram a trabalhar para os donos dos meios de produção, os capitalistas. Ao mesmo tempo, a classe operária surgiu, com jornadas de trabalho que chegavam a dezesseis horas por dia e crianças e adolescentes eram empregados, ganhando baixos salários.

Frente a uma nova demanda tecnológica e movido pelas inovações, em 1870 surge a Segunda Revolução Industrial. O período foi marcado pela descoberta da transformação do ferro em aço, a eletricidade, o avanço dos meios de comunicação, o surgimento e modernização dos meios de transporte e o desenvolvimento da indústria química (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

Entre 1825 e 1870, a cidade de Cincinnati, em Ohio, tornou-se o maior centro de manufatura e comercial do oeste dos Estados Unidos. Quando as empresas se tornaram especialistas em produzir determinados produtos, elas também adotaram a divisão e a especialização do trabalho, gerando, assim, a produção em massa. Após conhecer o que acontecia em Cincinnati, Henry Ford teve a ideia de adaptar a manufatura artesanal de produção de carros para essa nova manufatura em massa (SACOMANO et al., 2018). Essa nova forma de produzir, reduziu os custos de produção e, conseqüentemente, o preço do produto ao consumidor, além de padronizar os itens produzidos. Ao mesmo tempo, como o objetivo era produzir sempre do mesmo bem e cada vez mais, havia pouca preocupação com a qualidade.

Nesse contexto, o Fordismo — termo criado por Henry Ford em 1914 — tomou forma e tinha como foco a racionalização da produção capitalista por meio de inovações, em que havia produção e consumo em massa (BOETTCHER, 2015). Concomitantemente, Henry Ford criou o processo de semiautomação, causador da revolução na indústria automobilística. Em 1914, Ford introduziu a primeira linha de montagem automatizada com esteiras rolantes (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

Em vista das grandes inovações e descobertas tecnológicas, a Terceira Revolução Industrial foi formada pelos avanços no campo da robótica, informática, biotecnologia, química fina, nanotecnologia, transportes e telecomunicações (BOETTCHER, 2015). A Revolução 3.0, também chamada de Revolução Técnico-Científica e Informacional, teve como características a utilização de diversas fontes de energia, o uso crescente de recursos de informática, o aumento da consciência ambiental, a substituição crescente da mão-de-obra por máquinas cada vez mais modernas, o surgimento de potências industriais e a massificação dos produtos tecnológicos (FERRAZ, 2021).

Simultaneamente, o Japão encontrava-se devastado e com poucos recursos no fim da Segunda Guerra Mundial e, por isso, o governo japonês incentivou toda a nação a reduzir o desperdício (PASQUINI, 2020). Por esse motivo, a Toyota não tinha como copiar o sistema de produção em massa de Ford, no entanto, criou o Sistema Toyota de Produção. Esse sistema assenta-se na ideia da redução de desperdícios ao mínimo, preocupação com a qualidade, produção conforme a demanda dos clientes, padronização e automação.

Atrelado a isso, no fim dos anos 1960, surgem os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), facilitando a automação industrial. Pode-se citar, por exemplo, o uso do Planejamento de Necessidades de Materiais (MRP, do inglês *Material Requirements Planning*), para controle da necessidade de componentes/matéria-prima, do Planejamento de Recursos de Manufatura (MRP II, do inglês *Manufacturing Resources Planning*), que, além do controle de materiais, gerencia os recursos industriais, e do Sistema de Gestão Integrado (ERP, do inglês *Enterprise Resources Planning*), que integra todo o processo industrial à empresa (SACOMANO et al., 2018).

Na Indústria 3.0, o processo de automação de tarefas rotineiras resultou em mudança na força de trabalho, ao passo que diminuiu a quantidade de trabalhadores. Apesar disso, a automação passou a necessitar de um perfil mais qualificado de profissional para atividades de controle e correção de problemas de produção (SACOMANO et al., 2018).

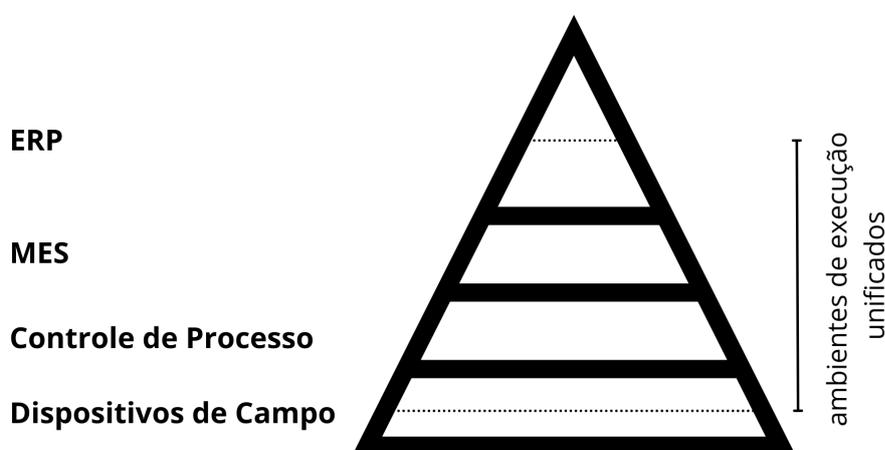
Em conformidade com essa intensa modernização, o homem continuou investindo em desenvolvimento tecnológico e assim nasce a Indústria 4.0. Zawadzki e Żywicki (2016) afirma que esse modelo de indústria é a junção das conquistas tecnológicas dos últimos anos com o olhar de um futuro com sistemas de produção automatizados e inteligentes, em que o universo real é ligado ao virtual.

De acordo com Vaidya, Ambad e Bhosle (2018), o paradigma da Indústria 4.0

promove a conexão de itens físicos como sensores, dispositivos e funcionários corporativos, tanto entre si e para a Internet. Além disso, o processo de produção é dividido em pequenas unidades orientadas a valor que compartilham informações das etapas consecutivas do processo, aumentando a flexibilidade e resultando na redução da complexidade da coordenação.

## 2.3 Pirâmide de Automação na Indústria 3.0

Figura 3 – Pirâmide da automação com quatro níveis.



Fonte: Adaptado de Yu, Grüner e Epple (2013).

Na Figura 3, temos uma representação hierárquica, chamada pirâmide de automação, dos vários níveis pelos quais a informação circula dentro de um sistema de automação da manufatura. Essa representação propõem uma pirâmide de quatro níveis.

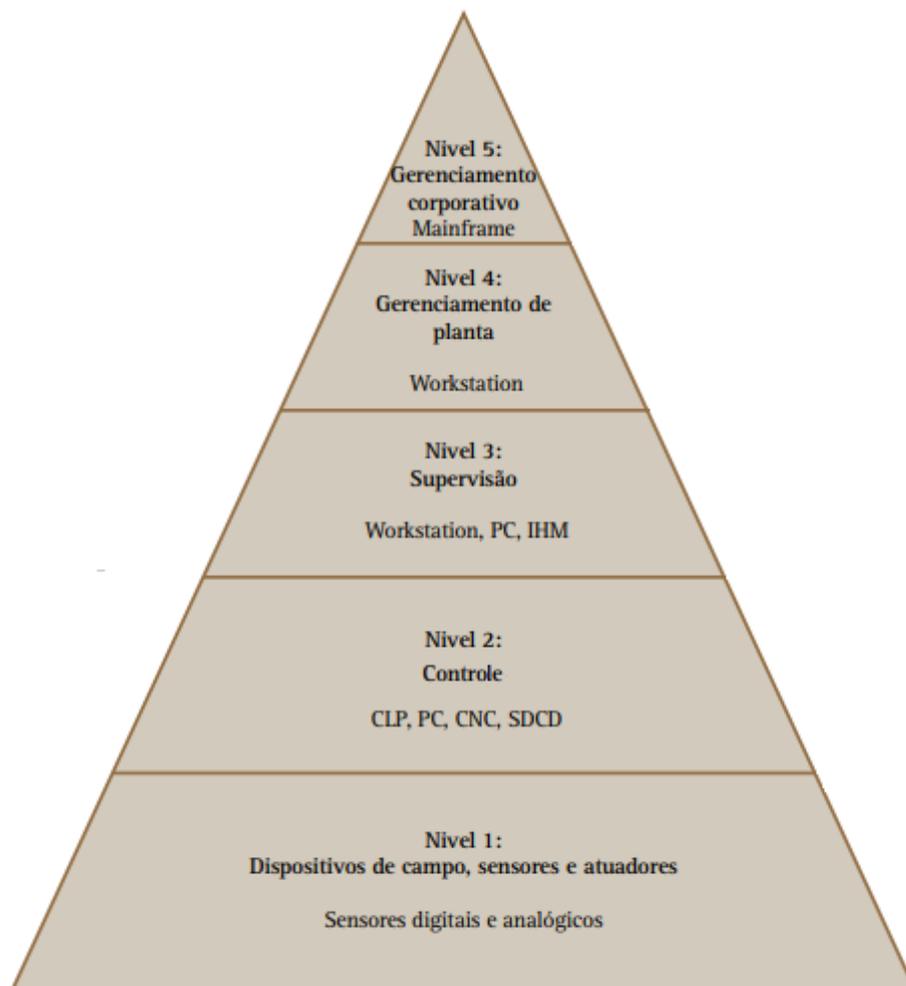
Nakayama (2017) apresenta que, a partir do nível do dispositivo de campo (1), a pirâmide contém o nível de controle de processo (2), o Sistema de Gerenciamento de Processos Produtivos, do inglês *Manufacturing Execution Systems* (MES) (3) e, em sua parte superior, o ERP (4). Segundo Bojorge (2017), no nível do dispositivos de campo, também chamado de nível de chão de fábrica, estão presentes máquinas, componentes da planta e equipamentos que executam controle automático distribuído. Sensores digitais, sensores analógicos e atuadores são alguns exemplos. No nível de controle de processo existem equipamentos que executam o controle automático, centralizado ou não, das atividades da planta, como CLPs e PCs (BOJORGE, 2017). O nível quatro é responsável pela programação e pelo planejamento de produção, realizando o controle, agendamento e a logística de suprimentos (BOJORGE, 2017). O nível cinco é responsável pela administração de recursos da empresa e é aqui que se encontram *softwares* de gestão de vendas

e financeira (BOJORGE, 2017). Ao mesmo tempo, parte do nível de dispositivos de controle, o nível de Controle de Processo e parte do nível de ERP, têm tempos de execução unificados, ou seja, simultâneos, como ilustrado na delimitação tracejada da Figura 3.

Sistemas construídos em volta do processo de manufatura se tornam alvos da automatização e são englobados no termo geral de MES (SEIXAS FILHO, 2000). Isso porque existem processos e dados que descrevem comportamentos e é preciso transformá-los em informação de negócio. Hoje, o MES é visto como uma das etapas de um modelo maior que representa a cadeia de suprimentos, em inglês *Supply Chain*.

Segundo Seixas Filho (2000), o ERP precisa ser alimentado com dados reais dos processos. Apoiado a isso, o módulo de gerenciamento de materiais precisa conhecer todo o movimento interno de matérias-primas e o sistema de recursos humanos tem que realizar o controle de acesso às áreas da empresa, por exemplo. Tudo isso requer equipamentos especializados e automação.

Figura 4 – Pirâmide da automação com cinco níveis.



Fonte: Adaptado de Goeking (2010).

Figura 5 – Pirâmide da automação com seis níveis.



Fonte: Retirado de Nakayama (2017).

A Sociedade Internacional de Automação, do inglês *American National Standard Institute/International Society of Automation* (ANSI/ISA) trabalha na elaboração e adequação da Pirâmide de Automação. O modelo de pirâmide de automação ANSI/ISA-95, presente na Figura 4, foi desenvolvido nos EUA e serviu para empresas de manufatura como modelo de referência padrão e para a organização de atividades de produção e automação na Indústria 3.0, incluindo: terminologias, integração e modelos de processos (MENDES; BORTOLI; COSTA, 2021).

Na representação da Figura 4, comparando com a representação em quatro níveis, presente na Figura 3, foi realizada a inclusão do nível de Supervisão (3). Esse nível permite a supervisão e otimização do processo e normalmente possui banco de dados com informações relativas ao processo (GOEKING, 2010). O trabalho realizado no nível três é geralmente executado com a ajuda de Interface Homem-Máquina (IHM) e PCs e corresponde ao gerenciamento das operações de fabricação (MENDES; BORTOLI; COSTA, 2021).

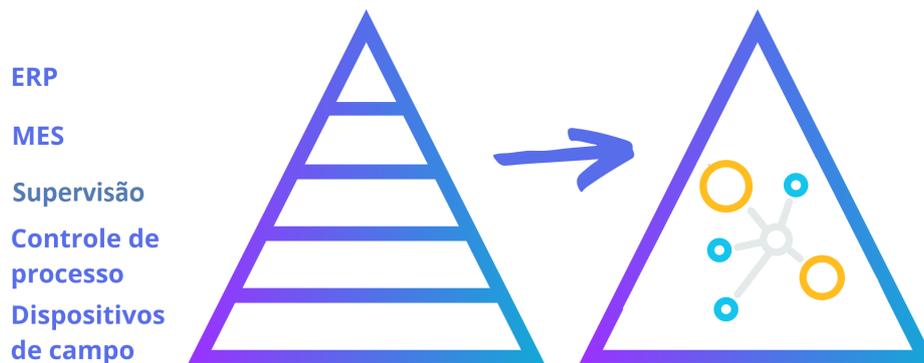
Segundo Mendes, Bortoli e Costa (2021), o sistema de supervisão SCADA é usado para sistemas de automação industrial, que possuem um alto fluxo de informações e requerem o uso de um banco de dados. O sistema SCADA é composto de hardware e *software* específico, que supervisionam e controlam um processo de produção de uma célula de fabricação integrada. Na arquitetura do modelo ISA-95, disponível na Figura 4, o sistema SCADA está inserido no nível dois da pirâmide de automação e é responsável pela supervisão do sistema de produção. Ao contrário do padrão ISA-95, com a inserção dos conceitos de indústria 4.0, os sistemas SCADA são integrados aos sistemas armazenados na computação em nuvem. Com o uso da computação em nuvem em áreas industriais, os sistemas SCADA não precisam ter um servidor físico, podendo armazenar dados vir-

tualmente. Com a implementação da Arquitetura Orientada a Serviços, do inglês *Service Oriented Architecture* (SOA), a computação em nuvem pode atender aos requisitos industriais, pois esses serviços contribuem com suporte, oferecem agilidade e operam em um ambiente heterogêneo.

Existem outras formas de representação da pirâmide de automação, como a presente na Figura 5, em que existem seis níveis e são incluídos, comparando com a representação em quatro níveis, presente na Figura 3, o Processo (1) e o Controle de Grupo (3). Assim, o nível de Processo é referente a dispositivos que podem ser controlados, como robôs, motores e comutadores. E, no nível de Controle de grupo, encontramos dispositivos controladores e aplicativos.

## 2.4 Pirâmide de Automação na Indústria 4.0

Figura 6 – Pirâmide da automação clássica e conectada.



Fonte: Adaptado de Brettel et al. (2017)

A pirâmide de automação da Indústria 4.0, representada na Figura 6, propõe um sistema interligado, em que os níveis não são divididos mas são conectados entre si. Ou seja, o nível MES (4), pode trabalhar em conjunto com o nível de dispositivos de campo (1) sem haver a necessidade de comunicação com o nível de Controle de Processo.

Um sistema integrado, como o apresentado na Figura 6, é capaz de modificar-se rapidamente, o que possibilita a abertura de possibilidades de redução dos tamanhos de lotes, sem aumentar os custos de produção, além de viabilizar a rápida implantação de linhas de produção de novos produtos lançados no mercado. Ou seja, a integração dos sistemas realizadas através da conectividade entre máquinas, pessoas e coisas enseja uma nova visão estratégica em que o crescimento da eficiência na produção se adiciona aos ganhos de valor pela personalização do produto e inovação (SACOMANO et al., 2018).

A integração de negócios e manufatura exige que o processo de negócios e o processo de fabricação troquem informações relevantes. Isso deve ser realizado sem impacto desnecessário aos processos de negócios ou processos de fabricação existentes (NAKAYAMA, 2017). Logo, é necessária a padronização para definir as ferramentas e métodos para a transferência de dados entre os vários níveis de uma empresa integrada (NAKAYAMA, 2017).

Nakayama (2017) aponta que, apesar de os sistemas Sistema de Gestão Integrado, do inglês *Enterprise Resources Planning* (ERP) e MES permitirem integrar o chão de fábrica com os sistemas corporativos, esses sistemas adotam uma estrutura centralizada e monolítica. Por isso, essa integração não tem permitido uma comunicação bilateral eficiente entre os níveis de chão de fábrica e os sistemas de negócio.

Tendo as mudanças como única constante nos negócios, um Sistema de Produção precisa seguir uma arquitetura orientada a serviços, aberta e distribuída, para que processos possam ser adaptados de acordo com as necessidades de cada empresa e com as demandas do mercado (NAKAYAMA, 2017). Ao mesmo tempo, a Indústria 4.0 poderá intervir neste cenário através da conectividade com sistemas CPS e IoT (NAKAYAMA, 2017). A IoT permitirá uma comunicação direta entre o ERP, os CPS e Smart Products (novas linhas de produtos desenvolvidas para a área de entretenimento) e a nova geração de ERP permitirá ainda o uso de computação em nuvem para acessar a IoS (NAKAYAMA, 2017).

## 2.5 Integração horizontal, integração vertical e integração de ponta a ponta

A integração é um dos principais mecanismos utilizados na organização industrial e, em uma Indústria do tipo 4.0, existem 3 tipos de integração (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018).

Integração horizontal refere-se à integração entre um recurso e uma rede de informações dentro da cadeia de valor, a fim de alcançar a cooperação perfeita entre empresas e fornecer um produto e serviço em tempo real (ZHOU; LIU; TAIGANG, 2015). De acordo com isso, integração horizontal está presente em toda a rede de criação de valor (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018).

Integração vertical refere-se a sistemas de fabricação em rede dentro das fábricas inteligentes do futuro e fabricação personalizada como alternativas aos processos tradicionais de produção fixa, como produção em linha de montagem (ZHOU; LIU; TAIGANG, 2015). Arelado a isso, a integração vertical está presente em sistemas de manufatura em rede (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018).

Integração de ponta a ponta significa integração projetada em toda a cadeia de valor, que é implementada na premissa de cada terminal ter uma cadeia de valor digital

com integração entre diferentes empresas, o que maximizará a personalização (ZHOU; LIU; TAIGANG, 2015). Ao mesmo tempo, a integração de ponta a ponta está presente em todo o ciclo de vida do produto (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018).

Em resumo, a integração horizontal diz respeito à cooperação entre empresas ao longo de uma cadeia de valor, a integração vertical se refere à ampla automação dentro de uma única empresa e a integração de ponta a ponta prevê conexões através das cadeias de valor entre participantes habilitados digitalmente — M2M, humano para máquina ou humano para humano (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2019).

## 3 Pilares da Indústria 4.0

### 3.1 Introdução

Dentre várias transformações, no início do século XXI, é possível ver o surgimento do fenômeno da digitalização, que tem como características a onipresença de computadores, *tablets* e *smartphones*, a conexão à internet de amplo acesso e a convergência das mídias de comunicação para o formato digital (SOCIAL et al., 2017).

Segundo Sacomano et al. (2018), a base existente de automação informatizada e uma visão de negócios voltada à transformação digital, no caso da Indústria, faz o conceito de Indústria 4.0 evoluir. Esse conceito assenta-se na integração de tecnologias de comunicação e informação que possibilitam o alcance de novos patamares de flexibilidade, produtividade, gerenciamento e qualidade, ou seja, proporciona a geração de novos modelos de negócios e estratégias para a indústria.

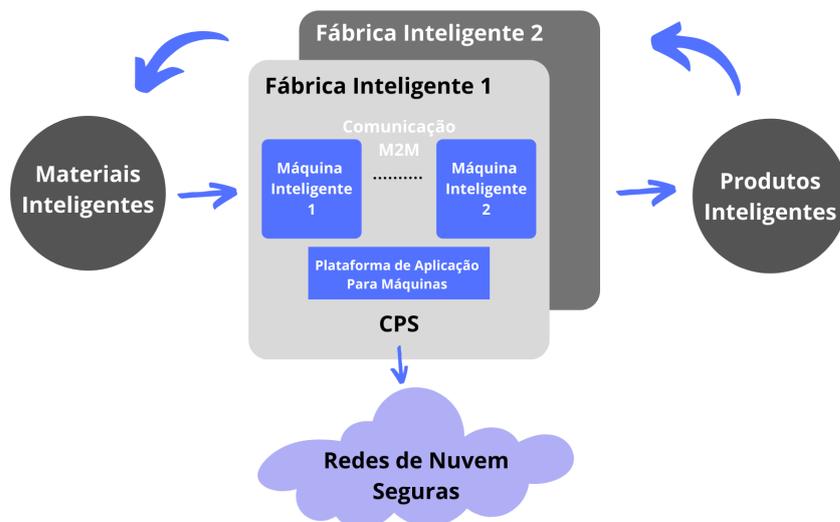
Além disso, a Indústria 4.0 pode ser definida como um sistema produtivo, formado por computador e dispositivos móveis interligados à internet ou à intranet, possibilitando o gerenciamento, a programação, o controle, a cooperação e a interação com o sistema produtivo de qualquer lugar do mundo que tenha acesso à internet ou à intranet, focando na otimização de um sistema e toda a sua rede de valor (SACOMANO et al., 2018).

Concomitantemente, a Indústria 4.0 é formada por elementos que se interligam da forma como é demonstrado na Figura 7, em que Materiais Inteligentes se comunicam com os Produtos Inteligentes, através das Fábricas Inteligentes. Essas Fábricas Inteligente são formadas por CPS e comunicações entre máquinas, e os dados gerados são armazenados em computação em nuvem. Um exemplo, de acordo com Sacomano et al. (2018), seria um sensor de temperatura inteligente, que possuindo capacidade de processamento, pode captar a temperatura de um forno industrial, comparar o valor da temperatura coletada com padrões programados e, dependendo do valor da temperatura, emitir alertas ou comandar atuadores, via internet ou intranet. Tudo isso sem qualquer intervenção humana.

De acordo com Hermann et al. (2015), dentro da estrutura das Fábricas Inteligentes da Indústria 4.0, o monitoramento de processos físicos é realizado por CPS, que criam uma cópia virtual do mundo físico, podendo realizar a tomada de decisões descentralizadas. Através da IoT, CPS em tempo real comunicam-se e cooperam com os humanos e uns com os outros. Ao mesmo tempo, serviços internos e externos à organização, via IoS, são oferecidos e utilizados pelos participantes da cadeia de valor.

Atrelado a isso, seguindo o que Hermann et al. (2015) defende, existem oito pilares para a Indústria 4.0, que são: CPS, IoT, IoS, Fábricas Inteligentes, Produtos Inteligentes, comunicação M2M, *Big Data* e Computação em Nuvem. Esses oito pilares da Quarta

Figura 7 – Interligação dos elementos formadores da Indústria 4.0.



Fonte: Adaptado de Oztemel e Gursev (2020)

Revolução Industrial serão explicados nesse capítulo.

### 3.2 *Big Data*

Grande quantidade de dados, chamados de *Big Data*, são gerados por uma estrutura de objetos inteligentes interconectados. A análise desses dados pode orientar a tomada de decisões estratégicas e aprimorar a gestão em uma empresa (SACOMANO et al., 2018).

Silva (2019) afirma que *Big Data* pode ser definido por volume, variedade, velocidade e valor. Volume traz o significado dessa grande quantidade de dados. Variedade significa que o tamanho, o conteúdo, o formato e os aplicativos dos dados são diversificados e a variedade de informações é escalonada por dados estruturados, semiestruturados e não estruturados (SILVA, 2019). A velocidade quer dizer que a geração de dados é rápida e o processamento dos dados precisa de alta pontualidade. O valor significa que, apesar da grande quantidade de dados, é preciso entender a melhor forma de extrair o valor e analisar corretamente todo o processo (SILVA, 2019).

De acordo com Sacomano et al. (2018), em 2012 a quantidade de dados armazenada no mundo era de cerca de 2,8 Zettabytes<sup>1</sup>, enquanto que em 2020 se estima que tenha aumentado em cerca de cinquenta vezes.

<sup>1</sup> 1 Zettabyte equivale a  $10^{21}$  bytes.

### 3.3 IoT e IoS

Silva (2019) afirma que a IoT, formada por máquinas e dispositivos capazes de interagir entre si, é um paradigma inovador e seu valor para empresas pode ser percebido quando dispositivos conectados conseguem comunicar entre si e se integram a sistemas gerenciados por fornecedores, sistemas de suporte ao cliente e aplicativos de análise e gerenciamento de informações. Na comunicação da internet convencional, os emissores e receptores são humanos. Em contrapartida, na IoT, o emissor e/ou o receptor são coisas, assim dizendo, objetos que utilizam a internet como canal de comunicação (SACOMANO et al., 2018). Ao mesmo tempo, Silva (2019) explicita que a criação de dispositivos embarcados, como sensores e atuadores, foi impulsionada em decorrência dos elevados avanços em Sistemas Microeletromecânicos (MEMS), e a capacidade de comunicação desses dispositivos os permitiram interagir com o mundo virtual. De acordo com Nakayama (2017), IoT é composta de CPS conectada por uma rede inteligente semântica. Ou seja, a combinação das tecnologias de CPS e infraestrutura baseada em SOA e *Web Services* permite avistar possibilidades para a internet, em que dispositivos físicos podem se conectar autonomamente entre eles.

Atrelado a isso, novos serviços são disponibilizados por meio da IoS, como alertas de celular avisando que o carro precisa de revisão ou que chegou o período de trocar os pneus (SACOMANO et al., 2018). O objetivo da IoS é permitir que os fornecedores de serviços ofereçam seus serviços via internet e, dependendo do grau de digitalização, os serviços podem ser oferecidos e demandados em todo o mundo.

A Tesla, empresa automotiva e de armazenamento de energia norte americana, por exemplo, tem veículos com *hardware* e *software* que podem ser atualizados. Os sensores e atualizações de *software* fornecerão inteligência extra via internet e assim, ao pagar pelos *upgrades*, o cliente gera receita para a Tesla (MENA, 2018). Por outro lado, a Otis, empresa norte-americana fabricante de elevadores, escadas rolantes e esteiras rolantes, tem elevadores com sensores que enviam dados para a nuvem e essas informações são analisadas e a empresa vende um pacote de serviços de manutenção preditiva (MENA, 2018).

Em simultâneo, no lugar da compra de uma máquina, por exemplo, uma indústria pode comprar somente o serviço que ela oferece, ou seja, esses serviços poderiam ser solicitados diretamente pelo equipamento que os necessita (SACOMANO et al., 2018).

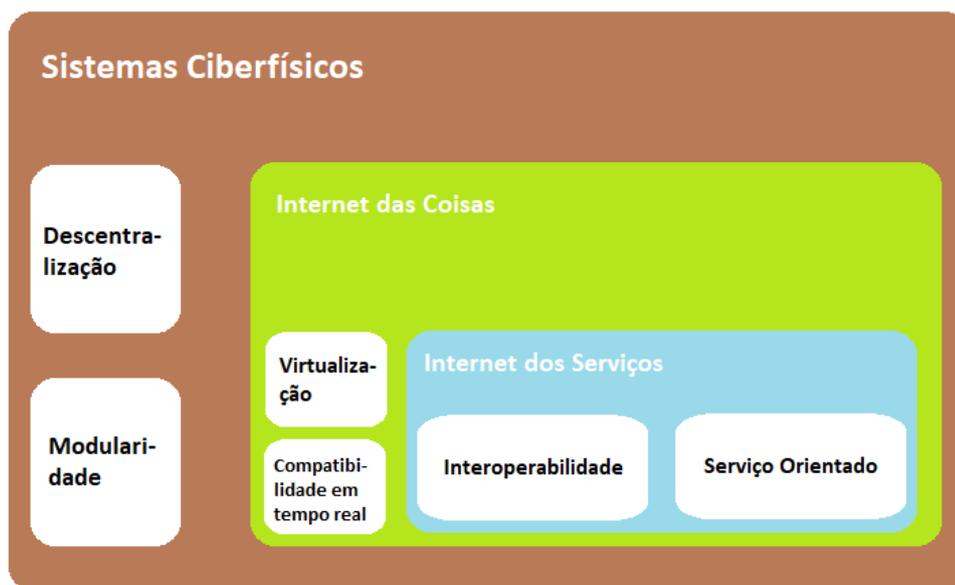
### 3.4 Sistemas Ciber Físicos

De acordo com Sacomano et al. (2018), CPS são construídos e dependem da integração perfeita entre componentes físicos e algoritmos de sistemas computacionais. Segundo Nakayama (2017), CPS pode ser definido como redes de microcomputadores,

sensores e atuadores que podem ser agregados em materiais, dispositivos ou máquinas, e conectados através da Internet. Atrelado a isso, apenas a conectividade física não é suficiente para que os dispositivos possam se comunicar de maneira autônoma e existem desafios em projetos de CPS com relação às tecnologias atuais de computação e infraestrutura de rede (NAKAYAMA, 2017).

Os conceitos de Indústria 4.0 nos indicam que equipamentos e objetos com capacidade de comunicação devem ser implementados como componentes em todo o processo, possibilitando uma integração entre máquinas e, com isso, observa-se que essa integração é o objetivo das indústrias no sentido de buscar tecnologias de informação e comunicação para o gerenciamento de processos de maneira mais eficiente (SACOMANO et al., 2018). Simultaneamente, IoT e IoS estão presentes em CPS, como ilustrado na Figura 8, em que a IoS contribui oferecendo serviços orientados à necessidade do cliente e sem interrupções, e a IoT agrega virtualização e execução em tempo real.

Figura 8 – Relação entre CPS, IoT e IoS.



Fonte: Adaptador de Oztemel e Gursev (2020)

### 3.5 Computação em nuvem

O termo computação em nuvem surgiu em uma palestra de Eric Schmidt, da Google, em 2006, em que expressava como a sua empresa fazia gestão de seus centros de dados (TAURION, 2009). A computação em nuvem significa a utilização dos mais variados tipos de aplicações por meio da internet e não instaladas nos computadores, isso significa que tudo é baseado na internet (RUSCHEL; ZANOTTO; MOTA, 2010).

Mosco (2017) afirma ainda que a computação em nuvem é definida como um sistema que move dados armazenados em computadores individuais e nos departamentos

de TIC das instituições para grandes centros de dados distantes operados por empresas que cobram pelo armazenamento e uso. Ao mesmo tempo, usuários podem pagar uma taxa para armazenar dados nos servidores de empresas e essa possibilidade de terceirizar não apenas o armazenamento de dados ou a capacidade computacional, mas também seções inteiras de um negócio, é algo novo e democratizará possibilidades (SILVA NETO; BONACELLI; PACHECO, 2021).

Na busca por funcionalidade, um dos principais desafios encontrados é o gerenciamento do grande número de dispositivos e sistemas inteligentes presentes na nova perspectiva de indústria. Em contrapartida, os sistemas em nuvem são capazes de suprir essa necessidade, ao passo que podem armazenar os dados e mantê-los acessíveis. De acordo com isso e segundo Colombo et al. (2014), as aplicações industriais agora podem ser compostas e orquestradas rapidamente combinando os novos recursos oferecidos, como serviço em uma nuvem de automação, que representa a virtualização parcial ou total da pirâmide de automação.

### 3.6 Materiais Inteligentes, Produtos Inteligentes e Fábricas Inteligentes

Materiais Inteligentes são materiais que têm capacidades intrínsecas e extrínsecas que respondem à estímulos e mudanças ambientais e ativam suas funções de acordo com essas alterações (AKHRAS, 2000). Desde o seu início, a ciência dos materiais passou por uma evolução: do uso de materiais estruturais inertes aos materiais construídos para uma função específica, para materiais ativos ou adaptáveis e, finalmente, para Materiais Inteligentes, com reconhecimento mais agudo, discriminação e capacidades de reação (AKHRAS, 2000).

Naturalmente, os produtos também têm se tornado inteligentes para lidar com aspectos funcionais e requisitos de utilização, dando significado ao termo Produtos Inteligentes (OZTEMEL; GURSEV, 2020). Sacomano et al. (2018) chama de Objetos Inteligentes, coisas ou objetos que têm a capacidade de processamento juntamente com a capacidade de conexão com a internet. Um exemplo são as geladeiras inteligentes que poderão elaborar listas de itens faltantes, consultar mercados que tragam melhores ofertas, enviar a lista de compras com os preços e condições de pagamento para a autorização do usuário e, após essa autorização, realizar a compra, acordando a entrega para o dia e horário que o usuário estará em casa (SACOMANO et al., 2018).

Fábricas em que a interconectividade é muito grande e há a possibilidade de a linha de produção se reconfigurar são chamadas Fábricas Inteligentes e nessas fábricas é possível a produção em larga escala de itens personalizados (SACOMANO et al., 2018). Arelados a isso, após a compreensão da existência da Quarta Revolução Industrial, houve apoio à

ideia de gerar Fábricas Inteligentes, que adotariam uma abordagem completamente nova para a produção e processos de fabricação (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Em uma Fábrica Inteligente, o objetivo é realizar uma produção flexível, com alta velocidade e que exige uma transformação abrangente de métodos tradicionais para avançados tecnológicos (OZTEMEL; GURSEV, 2020). Juntamente, a alimentação de máquinas inteligentes com materiais inteligentes pode levar à geração de produtos inteligentes (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Por fim, Sacomano et al. (2018) afirma que o conjunto das Fábricas Inteligentes não é considerado elemento à parte da Indústria 4.0 e sim a própria Indústria 4.0 em ação.

### 3.7 Máquina para Máquina (M2M)

M2M, se refere à comunicação direta entre dispositivos usando qualquer canal, com ou sem fio. Essa tecnologia permite que as empresas estabeleçam comunicação entre centros de informações e máquinas (BIRAL et al., 2015). Além disso, nos ambientes da Indústria 4.0, a tecnologia M2M está posicionada para remodelar vários aspectos da fabricação, especialmente na eficiência operacional, controle de qualidade, tomada de decisão, relacionamento com clientes e oportunidades transacionais (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

De acordo com Oztemel e Gursev (2020), com a inteligência certa, entregue em tempo real e usada de forma adequada, os serviços podem ser oferecidos e adaptados aos clientes da melhor maneira possível. Arelado a isso, a comunicação M2M em uma rede inteligente permite fácil monitoramento dos recursos e melhor aproveitamento e, quando a M2M é capaz de usar dados para acionar automaticamente e tomar decisões que atendam aos objetivos de negócios, a competitividade pode ser sustentada positivamente (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Verma et al. (2016) nos traz que a comunicação M2M encontra aplicações em amplas áreas, como redes inteligentes, saúde, redes domésticas, sistemas de transporte inteligentes, monitoramento ambiental, cidades inteligentes e automação industrial.

## 4 Elementos da Indústria 4.0

### 4.1 Introdução

A Indústria 4.0, conhecida também por outros termos como Internet Industrial e Manufatura Inteligente, tem sido divulgada como um novo paradigma na automação industrial e vista como a Quarta Revolução Industrial (NAKAYAMA, 2017). Baseada em tecnologias emergentes de informação e comunicação, mais especificamente na IoT, no *software* de ERP e na IoS, a Indústria 4.0 promete revolucionar de forma radical a produção industrial através de ampla conectividade, comunicação entre máquinas (M2M) e total integração entre a manufatura e negócios, incluindo a cadeia de valor (rede de empresas colaborativas) (NAKAYAMA, 2017). De acordo com isso, a Figura 9 ilustra as áreas de implementação da Indústria 4.0. Assim, neste capítulo é feita uma contextualização dos pilares da Indústria 4.0, presentes no Capítulo 3, entre outros temas que fazem parte do universo da Quarta Revolução Industrial.

Figura 9 – Áreas de implementação da Indústria 4.0.



Fonte: Retirado de Carmona et al. (2017).

### 4.2 Cooperação

Sanchez, Exposito e Aguilar (2020) afirma que os *stakeholders* são representados como agentes da cooperação, como governos, pessoas, empresas de energia e facilitadores

de Energia. Nesse sentido, todos os agentes devem ser organizados em uma hierarquia espacial e divididos em diferentes grupos conforme tenham ou não interesses semelhantes. Atrelado a isso, o processo de negociação deve ser realizado apenas entre agentes do mesmo grupo, a fim de melhorar a eficiência e reduzir o tempo de negociação. As informações necessárias ao processo de negociação, como preço, oferta e demanda, políticas e planejamento inicial de outros agentes, devem estar disponíveis para todos os agentes. Ou seja, eles compartilham seus dados de crença, desejo e intenção dentro do grupo. As informações necessárias aos agentes para construir seu modelo de tomada de decisão incluem bancos de dados e cada agente usa um formato específico que os outros agentes conhecem para carregar os modelos de negociação (SANCHEZ; EXPOSITO; AGUILAR, 2020). No entanto, para garantir a privacidade dos dados, as informações privadas são visíveis apenas para os agentes inter-relacionados e esses agentes cooperam sem um coordenador central (SANCHEZ; EXPOSITO; AGUILAR, 2020).

A fim de promover um mecanismo específico de cooperação, um exemplo é um modelo de planejamento de sistema de energia de uma comunidade baseado em sistemas com multiagentes, que seria o ideal para melhorar a utilização de energia dentro de uma comunidade específica e nessa solução, cada participante seria visto como um agente (SANCHEZ; EXPOSITO; AGUILAR, 2020).

Fundamentalmente, a integrabilidade e a interoperabilidade exigem que as entidades envolvidas sejam capazes de se conectar (juntar-se), comunicar-se (trocar informações entre si), coordenar-se (seguir as ordens de uma entidade central para alcançar um objetivo global), cooperar (trabalhar com outros para atingir objetivos individuais) e colaborar (trabalhar com outros para atingir objetivos comuns). que supõe outro desafio dentro da Indústria 4.0 devido à heterogeneidade de entidades que geram uma grande quantidade de dados heterogêneos e de difícil homogeneização, que consistem em produzir informações relevantes (especialmente em tempo real).

Sanchez, Exposito e Aguilar (2020) define CPS usando uma visão orientada a serviços, que consiste em um ou mais componentes ou unidades interconectadas, onde os serviços de cada unidade são visíveis para as outras unidades do sistema e permitem que elas cooperem. Sanchez, Exposito e Aguilar (2020) também afirma que as fábricas inteligentes combinam vários dispositivos inteligentes que são coordenados, colaboraram e cooperaram de forma autônoma para atingir os objetivos de produção.

### 4.3 A Internet na Indústria 4.0

Embora o papel da Internet, bem como seu impacto, possa ser dado como certo, sendo implicitamente exigido ou alavancado de forma transparente por outros habilitadores, a Internet é o habilitador mais crítico da Indústria 4.0 (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2019). Ou seja, sem a internet, os pilares da Indústria 4.0 não existiriam. Atrelado

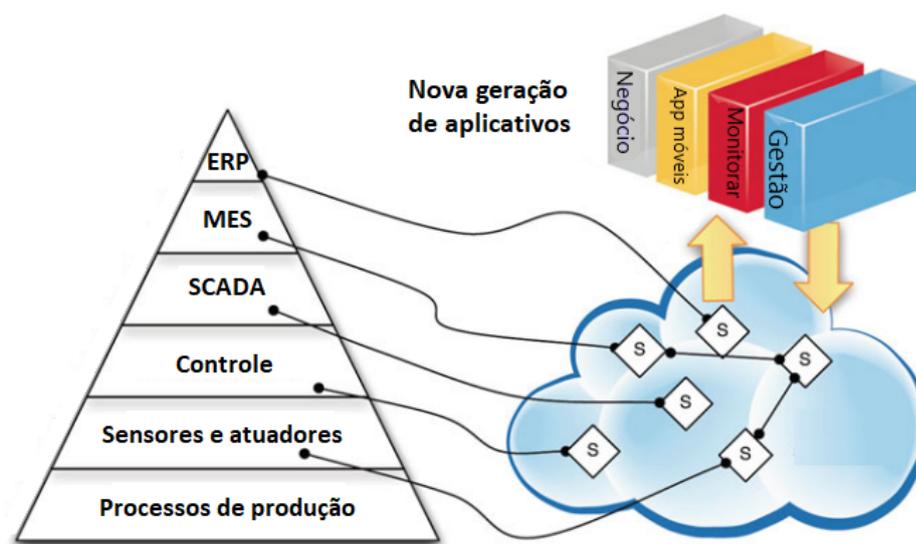
a isso, o paradigma geral da Quarta Revolução Industrial depende completamente da infraestrutura da Internet, na medida em que sem a Internet, como a conhecemos, não haveria Indústria 4.0 (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2019).

De acordo com Aceto, Persico e Pescapé (2019), a Internet atua como a cola que possibilita a interação entre entidades distribuídas, tanto humanos quanto máquinas, e objetos, produtos e operadores tornam-se “inteligentes” graças à essa integração. A inteligência é fornecida/alcançada pela consciência de contexto, incluindo o compartilhamento de informações em tempo real por meio da infraestrutura de comunicação digital ou aproveitando o poder computacional e a memória armazenada em centros de dados remotos economicamente eficientes, novamente acessados pela Internet.

Sem as oportunidades possibilitadas pela Internet, o paradigma Indústria 4.0 não se diferenciaria do cenário produzido pela Terceira Revolução Industrial, onde uma ampla gama de ferramentas e dispositivos de automação, possibilitados pelo progresso da eletrônica e da computação, seria forçado atuar como peças independentes, limitando amplamente as oportunidades oferecidas pela integração e interação (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2019).

Segundo Hamzeh, Zhong e Xu (2018), as empresas devem se esforçar para entender as necessidades dos clientes e utilizar tecnologias digitais para criar e entregar valor a eles em uma solução inovadora e integrada. Por exemplo, tecnologias de nuvem podem ser usadas para digitalização para que os recursos de fabricação possam ser compartilhados. Atrelado a isso, a Figura 10 mostra como os setores da pirâmide de automação se relacionam com as aplicações através de dados armazenados em nuvem.

Figura 10 – Uso de sistemas em nuvem.



Fonte: Adaptado de Colombo et al. (2014)

## 4.4 Sistema de Gestão Integrado e inteligência nos negócios

Segundo Oztemel e Gursev (2020), ERP é um nome genérico dado a sistemas de informação projetados para integrar e usar eficientemente todos os recursos de uma empresa. Um *software* ERP é um sistema que auxilia uma empresa a reunir processos e dados que são executados em todos os processos de vendas, contabilidade, produção, recursos humanos, gestão de estoque e compras. Isso faz com que os sistemas ERP forneçam uma abordagem integrada para a utilização da informação. Os dados são inseridos no sistema ERP no início do período previsível e são transformados em informação ao serem processados em diferentes departamentos.

Os sistemas ERP podem enriquecer as implementações da Indústria 4.0 ao passo de que dados podem ser analisados em tempo real e aplicativos móveis podem usar dados do ERP para transmitir mensagens à colaboradores e também à máquinas (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Oztemel e Gursev (2020) afirma que, em uma Fábrica inteligente, a troca de informações é facilitada através da integração de sistemas ERP com equipamentos de fabricação por meio de CPS ou métodos de comunicação M2M.

Segundo Hamzeh, Zhong e Xu (2018), por motivo do Big Data, identificar e coletar os dados certos, juntamente com uma análise convincente das descobertas, é fundamental para a implementação bem-sucedida da Indústria 4.0. Assim, uma abordagem sofisticada precisa ser aplicada na camada de integração de dados que está ligada aos sistemas ERP e usa métodos e ferramentas de análise.

Para se alinhar com o conceito da Quarta Revolução Industrial, será necessário que, juntamente com a conversão da fábrica em CPS, o ERP também seja convertido para uma nova geração denominada Sistema Inteligente de Gestão Integrado, do inglês *Smart Enterprise Resources Planning* (SERP), que deverá ter uma SOA, e poderá usar funções e serviços de outros provedores de *software* através de interfaces padronizadas (NAKAYAMA, 2017).

## 4.5 Conhecimento sobre a Indústria 4.0

A implementação bem sucedida das tecnologias da Indústria 4.0 em uma planta requer alto nível de conhecimento sobre os seus pilares (HAMZEH; ZHONG; XU, 2018). No campo das mutações industriais, há pouca consciência da Indústria 4.0, a maioria dos fabricantes ainda desconhece as oportunidades potenciais que as tecnologias da Indústria 4.0 podem oferecer, e a Quarta Revolução Industrial pode ter um efeito disruptivo nas empresas e mudar seu cenário (HAMZEH; ZHONG; XU, 2018).

Segundo Hamzeh, Zhong e Xu (2018), alguns aspectos da digitalização serão, sem dúvida, complicados. Os gerentes de níveis médio e alto precisam entender profundamente

os diferentes elementos da Indústria 4.0 e obter conhecimento, habilidades e confiança adequados para lidar com diferentes situações e gerenciar ameaças de novas tecnologias de concorrência no mercado. De acordo com isso, a Tabela 3 apresenta a evolução do sistema de educação corporativa a partir das revoluções industriais.

## 4.6 Padronização de sistemas

Segundo Pacchini et al. (2020), devido à interoperabilidade da Indústria 4.0, a padronização nas comunicações é necessária. De acordo com isso, ainda falta uma padronização nos protocolos de comunicação entre os fabricantes de equipamentos e entre as indústrias, pois todos querem que prevaleça o seu próprio protocolo.

A indústria inteligente exige a integração *on-line* de fornecedores, máquinas e clientes e uma das dificuldades está nas informações e na comunicação que poderão gerar uma falha de interpretação que comprometerá todo o processo de produção se não forem padronizadas (PACCHINI et al., 2020).

Muitos padrões precisam ser desenvolvidos para que uma rede entre diferentes fábricas e empresas possa ser interconectada e integrada (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Padronizando os sistemas, as futuras plantas terão sistemas maiores e complexos que precisarão ser gerenciados de forma eficiente (OZTEMEL; GURSEV, 2020). Planos apropriados devem ser feitos e um modelo explicativo deve ser desenvolvido para otimizar a gestão (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Aceto, Persico e Pescapé (2019) aponta que a segunda geração de IoT viu a adoção ou adaptação de padrões e abordagens de aplicações web para comunicação M2M, como soluções para endereçamento global e padronização de interfaces. Aceto, Persico e Pescapé (2019) também afirma que, de acordo com uma pesquisa com cerca de 200 executivos de automação realizada em 2015, a padronização faz parte dos principais desafios e problemas percebidos na IoT.

## 4.7 Aplicação de tecnologia de informação

O conceito de Indústria 4.0 leva em consideração a aplicação de tecnologia de informação para produção e automação, e os conceitos centrais são digitalização, rede e análise de dados em TI superordenada (HAMZEH; ZHONG; XU, 2018).

As estratégias mais bem-sucedidas analisam os recursos necessários para permitir a digitalização interna ou desenvolver novos modelos de negócios digitais (HAMZEH; ZHONG; XU, 2018). Nesse sentido, é fundamental avaliar a situação atual dos fabricantes quanto à aplicação de TI (HAMZEH; ZHONG; XU, 2018).

Um exemplo é o governo federal da Alemanha, que reservou duzentos milhões de euros para subsidiar a Indústria 4.0. Juntamente, sua visão é ajudar as empresas a

Tabela 3 – Evolução da educação corporativa e as revoluções industriais.

Revolução Industrial	Características da Educação Corporativa
Primeira Revolução Industrial	Preocupação com a universalização do ensino. Divisão social da educação, a elite recebia educação superior para gerenciar as empresas e a massa recebia educação técnica para realizar operações repetitivas.
Segunda Revolução Industrial	Educação fundamentada no raciocínio, valores éticos e acumulação do conhecimento de forma organizada.
Terceira Revolução Industrial	Estabelece um caráter social excludente e a educação passa a ser um pré-requisito para o cidadão sob três dimensões: produção, consumo e vida social. Desenvolvimento de pessoas (trabalhadores) com autonomia, iniciativa e dinamismo. Valorização do autodesenvolvimento e aprendizado contínuo.
Quarta Revolução Industrial	Surgem as redes de aprendizagem para aprendizagem em rede. Exigência de conhecimentos de nível superior, além de técnicos e tecnológicos mais sofisticados. Desenvolvimento de programas de desenvolvimento humano para a inovação – geração de ideias, colaboração, compartilhamento, coprodução. Avanço da gestão do conhecimento e do capital intelectual. Surge a necessidades de desenvolvimento de novas competências nos trabalhadores. Surgimento de novas profissões.

aproveitar a inteligência gerada pela IoT para otimizar os processos, aumentar a eficiência e estimular uma maior inovação (PACCHINI et al., 2020). Outro exemplo aconteceu nos Estados Unidos, em que foi elaborada uma ação patrocinada pelo governo, chamada Colisão para a Liderança da Manufatura Inteligente (do inglês, *Smart Manufacturing Leadership Coalition*), que se concentrou na implementação de práticas de fabricação inteligente. A principal prática trabalhada nessa ação foi a aplicação de uma arquitetura de referência que permite uma colaboração e integração perfeitas entre Tecnologia da Informação (TI) e tecnologia operacional (PACCHINI et al., 2020).

## 4.8 Robótica Inteligente

Os robôs estão causando um impacto considerável na vida humana, desde a fabricação industrial até a saúde e o transporte (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2019). De acordo com isso, robôs capazes de realizar uma série complexa de ações automaticamente foram um dos elementos que definiram a Terceira Revolução Industrial (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2019).

A robótica evolutiva é uma técnica para a criação automática de robôs autônomos que aproveita as ferramentas de redes neurais, algoritmos genéticos e sistemas dinâmicos, é inspirada no princípio darwiniano da reprodução seletiva dos mais aptos e vê os robôs como organismos artificiais autônomos (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2019). A partir dessa visão, os robôs desenvolvem suas próprias habilidades em estreita interação com o ambiente e sem intervenção humana (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2019).

Aceto, Persico e Pescapé (2019) afirma que, na Indústria 4.0, a robótica está contribuindo para modernizar a maioria das linhas de produção clássicas e suas metodologias de trabalho correspondentes. Atrelado a isso, impulsionados pelas oportunidades de mercado, os desenvolvimentos evolutivos estão levando à adoção de robôs seguros que interagem diretamente com humanos, bem como técnicas aprimoradas para detecção e planejamento de caminhos, juntamente com aplicações não tradicionais, como carros autônomos e drones semiautônomos. Recentemente, os desenvolvimentos de manufatura aditiva habilitados para robótica fizeram progressos significativos, pois a integração robótica permite alcançar um método de fabricação estruturalmente informado que oferece aos projetistas a oportunidade de explorar um espaço de projeto mais completo que considera geometria e desempenho.

Os robôs, hoje, são capazes de jogar, andar por algum terreno, realizar tarefas complexas e até controlar ambientes. Atrelado a isso, a inteligência artificial contribuirá para o progresso de equipes de robôs, a fim de que cooperem e colaborem para a realização de determinadas tarefas (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Oztemel e Gursev (2020) afirma que pesquisas que promovem a robótica são necessárias no apoio à transformação digital eficaz. De acordo com isso, Mohammed e Wang

(2018) apresentaram um estudo de caso de um sistema para auxiliar o operador na coordenação de uma tarefa de montagem colaborativa de um coletor de motor de carro. Filaretov e Pryanichnikov (2015) estudaram a construção de robôs móveis eficientes e seu controle de grupo no laboratório virtual testado em 5 universidades, e Houda e Lakkal (2015) apresentam a implementação de um sistema de comunicação *bluetooth* para comunicação síncrona entre robôs autônomos movendo-se entre pontos de agendamento predefinidos.

Progressos recentes indicam que os robôs estão se tornando atores chave em vários domínios, como educação, gerenciamento estratégico de tecnologia, processo de construção naval, prestação de serviços, compras e cirurgias (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

A respeito do efeito dos robôs sobre a sociedade, acreditando que os robôs estarão em todos os lugares e assumirão o controle da maior parte das tarefas realizadas por humanos, o trabalho humano não acabará e sim será modificado. Ou seja, haverá a necessidade de o ser humano criar robôs e respectivas inteligências (OZTEMEL; GURSEV, 2020). O perfil de trabalho mudará e quem alinhar suas capacidades com as mudanças terá novas oportunidades, no entanto, se esse alinhamento não for assegurado, o desemprego tecnológico será inevitável (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

Oztemel e Gursev (2020) afirma que, além dos oito pilares da Indústria 4.0 descritos no capítulo anterior, a robótica inteligente também é um componente a Indústria 4.0. Oztemel e Gursev (2020) também levanta que um conjunto de simulações do sistemas de comunicação de robôs utilizando CPS via grupo de colaboração dinâmica permitem prototipagem rápida e fácil implementação de componentes autônomos. Além disso, partindo do pressuposto de que o trabalho humano é um serviço, a cooperação homem-robô é apenas mais uma nova opção para conectar serviços em uma aplicação de manufatura IoT (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2019).

## 4.9 Análise de *Big Data*

Na Indústria 4.0, a integração de múltiplos processos de fabricação gerou uma enxurrada de dados de diferentes fontes, o que exige novas abordagens para sua gestão (SANCHEZ; EXPOSITO; AGUILAR, 2020). Nesse sentido, o *Big Data* lida com esse problema nos processos de produção pré-processando os dados gerados principalmente por sensores, dispositivos e pessoas, buscando conhecimentos que permitam aos humanos envolvidos no processo de produção tomar melhores decisões (SANCHEZ; EXPOSITO; AGUILAR, 2020).

Conseqüentemente, a análise de *Big Data* permite a coleta e análise de um grande número de dados de diferentes fontes, a fim de apoiar a tomada de decisão (SANCHEZ; EXPOSITO; AGUILAR, 2020). Ao mesmo tempo, o aprendizado de máquina e os bancos de dados orientados a gráficos e eventos são necessários para a análise da vasta quantidade

de dados (SANCHEZ; EXPOSITO; AGUILAR, 2020).

Ao mesmo tempo, os dados das redes sociais *online* podem ser usados para coletar informações sobre padrões de interações interpessoais e opiniões (FRANÇA et al., 2014). Esses dados podem contribuir para o entendimento de fenômenos, para previsão de um evento ou para tomada de decisões. Hoje, com o amplo uso das redes sociais, esses dados aumentaram em volume e em variedade e, assim, precisam de processamento rápido e exigem novas abordagens para tratamento (FRANÇA et al., 2014).

## 4.10 Fabricação virtual

A fabricação virtual é o uso de computadores para modelar, simular e otimizar as operações em uma fábrica e ela começou como uma forma de projetar e testar máquinas e ferramentas, e se expandiu para abranger os processos de produção e os próprios produtos (OZTEMEL; GURSEV, 2020). As principais tecnologias utilizadas na manufatura virtual incluem desenho assistido por computador, *software* de modelagem e simulação 3D, gerenciamento do ciclo de vida do produto, realidade virtual, rede de alta velocidade e prototipagem rápida (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

De acordo com Oztemel e Gursev (2020), para configurar um ambiente de manufatura virtual, existem diferentes usos possíveis de tipos de operações que podem ser executadas no chão de fábrica, desde atividades principais de manufatura, como produção, até processos de suporte, como manutenção. Operações, manutenção, treinamento, controle de qualidade, gerenciamento de segurança, projeto e logística são cenários de uso potenciais para essa abordagem. As pessoas criam e gerenciam experiências virtuais, incluindo rastreamento de objetos e gerenciamento de dados.

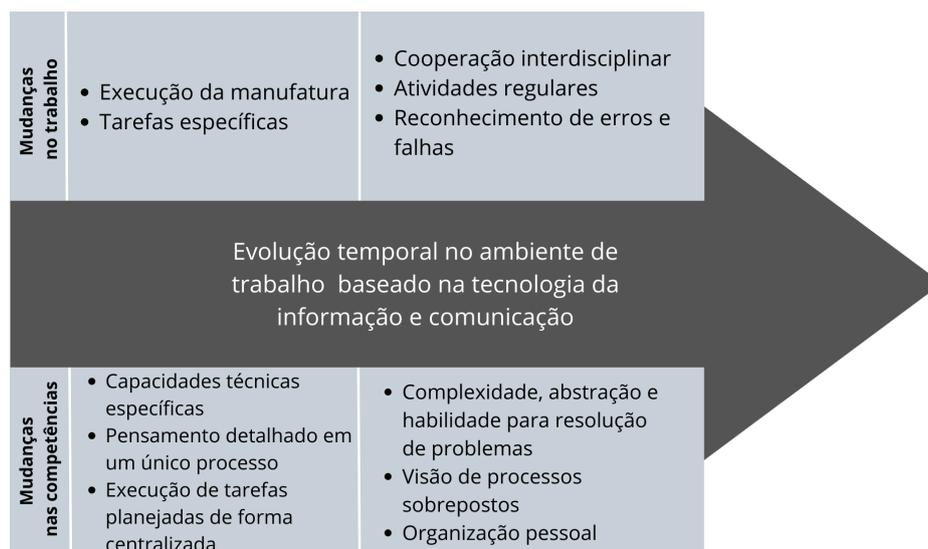
Segundo Andrade et al. (2016), no Brasil, a Embraer iniciou treinamentos de forma virtual, em 3D, em que os trabalhadores fizeram doze mil horas de testes no chão de fábrica antes das aeronaves decolarem. Na linha de montagem, os operários usaram computadores e *tablets* com tecnologia de realidade aumentada e, quando havia dúvida, existia um vídeo para explicar como realizar a operação. Com os ganhos da digitalização, o tempo de montagem na Embraer caiu 25% e defeitos que normalmente seriam detectados somente com o avião no ar, foram resolvidos ainda na fase de preparação.

## 4.11 Organização do trabalho

As tecnologias da Indústria 4.0 terão influência no projeto de trabalho e nas competências dos trabalhadores (TROPIA; SILVA; DIAS, 2017). De acordo com isso, a Indústria 4.0 terá que prover colaboração e sinergia entre CPS e os trabalhadores, oferecendo suporte para interação na operação de tarefas complexas e no controle de processos e máquinas (TROPIA; SILVA; DIAS, 2017). O trabalho deverá deixar de estruturar-se em torno de

tarefas específicas e passar a contar com cooperação interdisciplinar e, da mesma forma, as competências migrarão de capacidades técnicas específicas e referentes a um único processo para capacidade de pensamento complexo, habilidade de resolução de problemas e visão de processos sobrepostos (TROPIA; SILVA; DIAS, 2017). As características dessa nova forma de trabalho estão presentes na Figura 11.

Figura 11 – Evolução temporal do ambiente de trabalho.



Fonte: Adaptado de Tropia, Silva e Dias (2017).

Segundo Tropia, Silva e Dias (2017), o processo de aprendizado de um trabalhador, em um primeiro nível, é influenciado por três fatores: características do produto com o qual ele opera, conhecimento sobre o processo industrial e habilidades pessoais para adquirir informação. Em um segundo nível, os aspectos técnicos e organizacionais são capazes de interferir nos elementos do primeiro nível de forma a dificultar ou facilitar a aprendizagem. Além disso, o idioma dos manuais das máquinas, a disposição das ferramentas, a identificação utilizada para os materiais, e as características de um produto são variáveis que podem aumentar a complexidade do trabalho, interferindo na capacidade de aprendizagem. Além disso, o escopo da tarefa e as relações de poder também são fatores que participam do processo de aprendizagem.

De acordo com isso, os elementos da Indústria 4.0 podem oferecer suporte aos aspectos técnicos e organizacionais, incentivando o aprendizado, aumentando a motivação do trabalhador e facilitando a familiaridade com os recursos e o ambiente (TROPIA; SILVA; DIAS, 2017). Concomitantemente, os dados do sistema de produção em tempo real poderão propiciar *feedbacks* automáticos do andamento do processo para os trabalhadores, e os produtos inteligentes poderão contribuir para a disponibilidade de informação sobre o seu status na linha de produção (TROPIA; SILVA; DIAS, 2017). Atrelado a isso, a virtualização dos produtos físicos em processo e sua comparação com os objetos-padrão de controle poderão ajudar os trabalhadores na identificação de alterações nas proprie-

dades e especificações, e a multiplicidade de dados gerados de forma automática deverá favorecer no estabelecimento de relações entre as variáveis do processo, combinações e agregação de parâmetros (TROPIA; SILVA; DIAS, 2017). Por fim, as empresas têm a obrigação de educar seus funcionários, promovendo aprendizagem contínua e programas de desenvolvimento profissional. Isso é necessário para ajudar os trabalhadores a lidarem com novas demandas de trabalho (OZTEMEL; GURSEV, 2020).

## 4.12 Comunicação entre dispositivos

Segundo Pacchini et al. (2020), os avanços acontecidos em dispositivos, sensores e na comunicação sem fio, em conjunto com a redução de custos dessas tecnologias, foi o que estimulou e fez acelerar o desenvolvimento de CPS, que adotaram o paradigma da IoT. Atrelado a isso, existem barreiras que a comunidade de pesquisa e as indústrias estão buscando superar, que são os desafios relacionados à segurança, disponibilidade, desempenho adequado, robustez e otimização do consumo de energia, além do uso desses sistemas produzir grandes quantidades de dados refinados que precisam ser processados. Ao mesmo tempo, para que haja a conectividade e a interoperabilidade necessária na Indústria 4.0, a linguagem unificada na comunicação entre objetos é fundamental.

Na prática, o processo de digitalização da indústria abrange uma rede física com múltiplos dispositivos conectados, plataformas e sistemas com aplicações que contêm tecnologia embarcada para compartilhar inteligência uma com a outra, com as pessoas e com o ambiente externo (GOMES; DOS SANTOS; CAMPOS, 2018). Assim, os *softwares* rígidos e centralizados cedem lugar aos recursos da inteligência artificial e M2M diretamente no chão de fábrica (GOMES; DOS SANTOS; CAMPOS, 2018).

Paralelo a isso, soluções para melhorar a conectividade surgem, como a proposta de tecnologia Industrial *Wireless Sensor Network*, que pode trazer inúmeras vantagens sobre as tecnologias cabeadas (NAKAYAMA, 2017). Porém, para que se pudesse utilizar a *Wireless Sensor Network* comercialmente é importante prover serviços de busca pela rede de maneira que se possa coletar informações úteis de qualquer lugar, a qualquer hora (NAKAYAMA, 2017). Por esta razão, é necessário que haja integração da *Wireless Sensor Network* com a arquitetura de protocolos de comunicação IP, *Internet Protocol*, para que os dados possam ser acessados remotamente pela internet (NAKAYAMA, 2017). Além disso, arquitetura flexível e escalável bem como protocolos eficientes seriam necessários, acomodados todos numa mesma infraestrutura (NAKAYAMA, 2017).

Atrelado a isso, os pilares que sustentam a IoT são a interoperabilidade de padrões e a segurança (COLOMBO; DE LUCCA FILHO, 2018). A interoperabilidade é necessária para poder dar impulso ao ecossistema da IoT e os padrões são necessários para promover a interoperabilidade entre os dispositivos (COLOMBO; DE LUCCA FILHO, 2018). Um exemplo é a comunicação *Bluetooth*, entre *smartphones* e automóveis, e para obter

sucesso nessa comunicação é exigido à interoperabilidade entre os mais variados modelos de smartphones e nos diversos modelos de automóveis (COLOMBO; DE LUCCA FILHO, 2018). Para que possa haver a interconectividade total entre todos os dispositivos é necessária a utilização de protocolos de comunicação e seus padrões, permitindo uma comunicação transparente entre os dispositivos (COLOMBO; DE LUCCA FILHO, 2018).

Nos meios de telecomunicações atuais, existe uma grande variedade de padrões que foram estabelecidos pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*) e IEEE (*Institute of Electric and Electronic Engineers*), são eles Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet, 3G, 4G e 5G, que também podem ser utilizados pela IoT, porém devido ao alto consumo de energia que eles apresentam e diante da ideia de se ter uma arquitetura de *hardware* com baixo consumo energético, nessa nova revolução em que tudo está conectando a internet, é necessária a padronização de novos protocolos para atender as necessidades (COLOMBO; DE LUCCA FILHO, 2018). Atualmente já são utilizadas várias tecnologias, sendo o 6LoWPAN descrita a seguir, a principal ferramenta para a troca de dados entre os dispositivos (COLOMBO; DE LUCCA FILHO, 2018). A Rede 6LoWPAN (*Low-Power Wireless Personal Area Networks*) oferece um baixo consumo energético e capacidade de suportar vários dispositivos em uma mesma rede (COLOMBO; DE LUCCA FILHO, 2018). Considerando a necessidade de conexão à internet e suportar milhares de dispositivos, os protocolos que possuem suporte a redes IP são mais propensos a serem padronizados. Para suportar esta tecnologia é necessária a utilização do protocolo IPv6, o qual é a versão mais recente do IP (*Internet Protocol 8*) (COLOMBO; DE LUCCA FILHO, 2018).

De acordo com Silva (2019), os padrões e tecnologias de comunicação apropriados desempenham um papel vital para produzir melhorias no processo de produção e um desses padrões é o IO-Link. A utilização da tecnologia IO-Link pode ser capaz de abastecer a demanda crescente por mais flexibilidade nas soluções de automação e servir como base para a aplicação dos conceitos da Indústria 4.0 (HEYNICKE et al., 2018).

Silva (2019) também afirma que o IO-Link é visto como uma tecnologia capaz de realizar serviços em rede altamente descentralizada, fornecendo capacidade de comunicação vertical dos atuadores e sensores de chão de fábrica até o ERP e o MES, via sistema de supervisão SCADA e, horizontalmente, por meio das plataformas *fieldbus*, com base em um padrão de comunicação estabelecido internacionalmente.

## 5 A Indústria 4.0 na Prática

### 5.1 Introdução

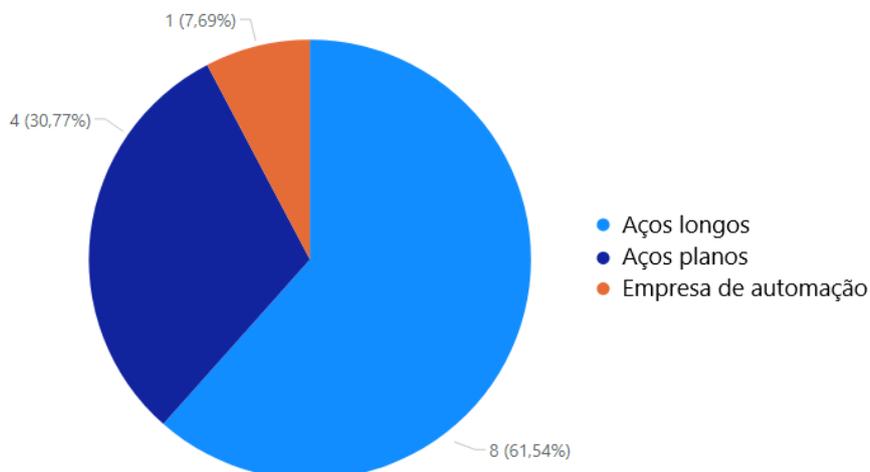
A fim de diagnosticar o nível de implementação da Indústria 4.0 na siderurgia e identificar seus benefícios, dificuldades e desafios, o questionário presente no Anexo A – tabelas 4 a 7 –, que traz questões a respeito da função do respondente e de sua visão sobre a Indústria 4.0 no local em que trabalha, foi aplicado em duas multinacionais siderúrgicas situadas em Minas Gerais, Brasil. De posse dos resultados desse questionário, nesse capítulo será discutido o desempenho da Indústria 4.0 na prática.

### 5.2 Respostas obtidas

#### 5.2.1 Segmentação

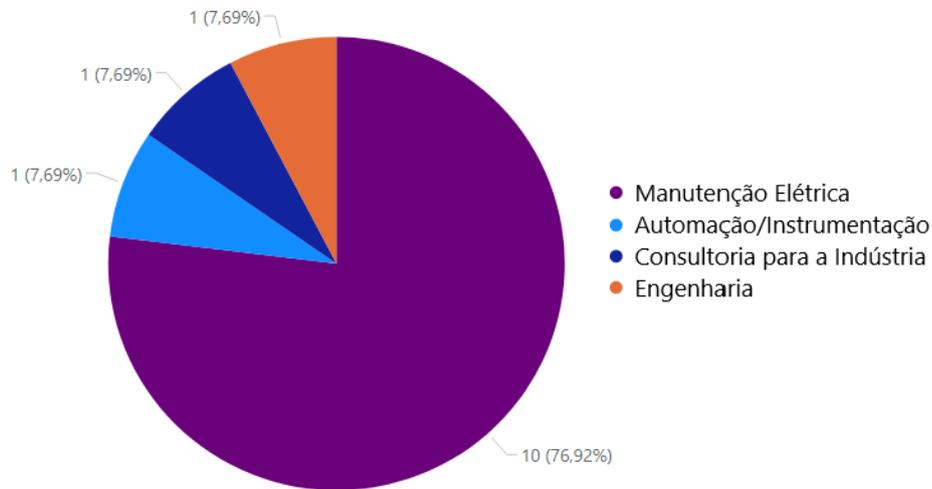
O questionário foi respondido por treze pessoas que trabalham no ramo da siderurgia. Assim, dez respostas foram obtidas de um empresa e as outras três de outra. De acordo com isso, como apresentado na Figura 12, foi possível identificar que os respondentes trabalham em empresas que produzem aços longos, planos e membros de companhias terceirizadas. Ao mesmo tempo, seguindo o apresentado na Figura 13, a maior parte dos respondentes atua na manutenção elétrica. Foi possível identificar também, como ilustrado na Figura 14, que a maior parte dos respondentes trabalha na área de redução.

Figura 12 – Segmento siderúrgico no qual os respondentes atuam.



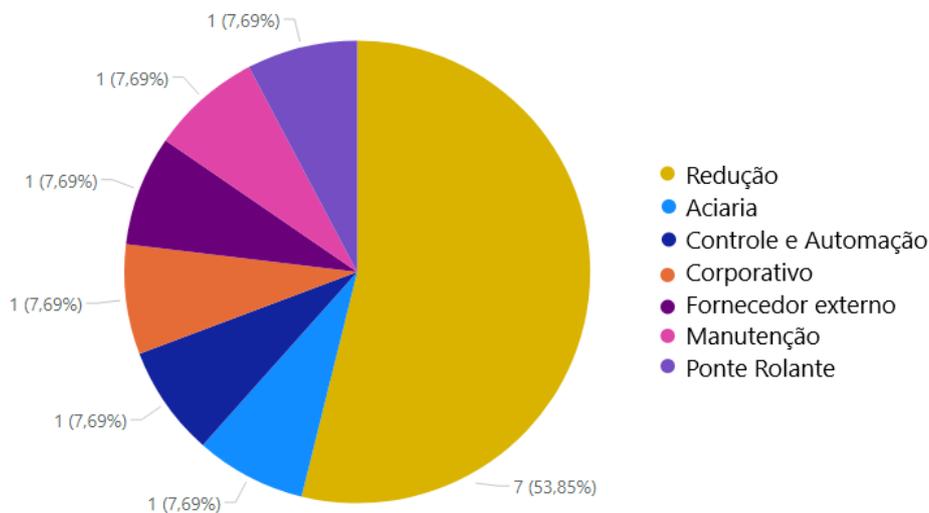
Fonte: Autora.

Figura 13 – Departamento no qual os respondentes atuam.



Fonte: Autora.

Figura 14 – Área na qual os respondentes atuam.

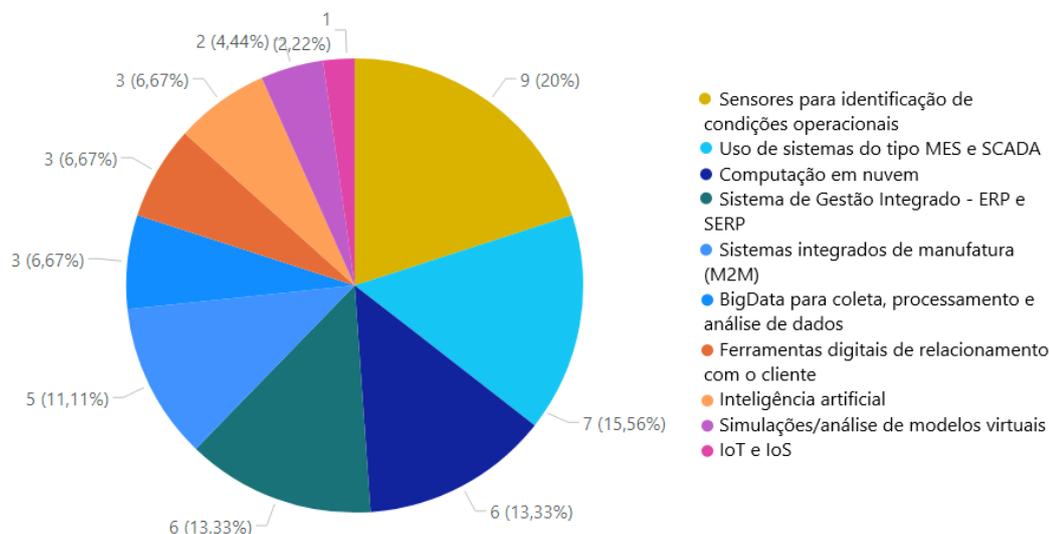


Fonte: Autora.

### 5.2.2 Tecnologias Digitais

A respeito das tecnologias digitais utilizadas hoje nas empresas em que o questionário foi aplicado e analisando a Figura 15, pode-se observar que sensores para identificação de condições operacionais, uso de sistemas do tipo MES e SCADA e computação em nuvem são os elementos mais utilizados. Chama a atenção também o fato de prototipagem rápida, impressão 3D e similares e manufatura aditiva, robôs colaborativos (*cobots*) não serem utilizados nas plantas. A não utilização dessas tecnologias é atrelada às características do processo siderúrgico, em que essas tecnologias não são comumente presentes.

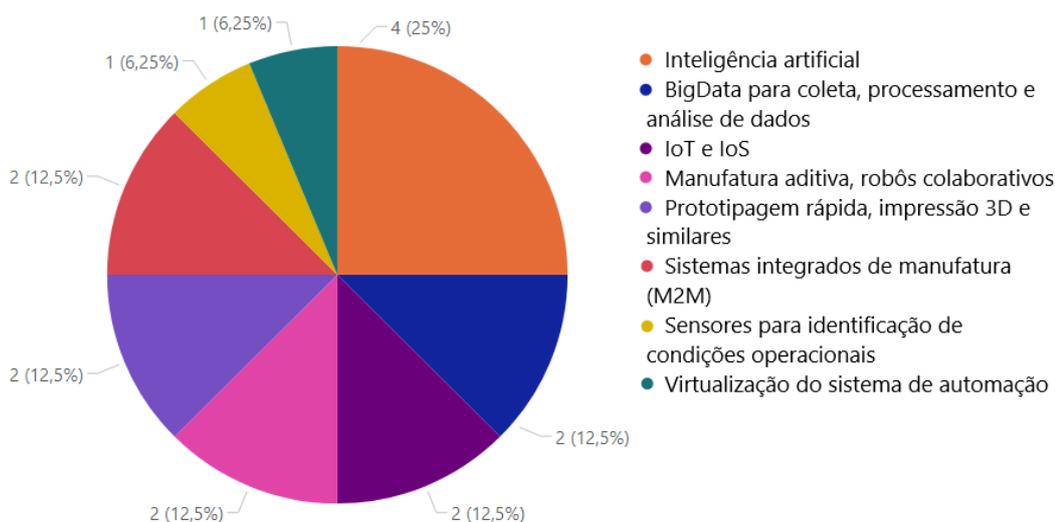
Figura 15 – Tecnologias digitais utilizadas.



Fonte: Autora.

Sobre as tecnologias digitais que a empresa não possui, mas que pretendem inserir no processo, observando a Figura 16, é possível identificar que inteligência artificial é o item com maior número de marcações. Além disso, prototipagem rápida, impressão 3D e similares e manufatura aditiva, robôs colaborativos (*cobots*) que foram indicados como não presentes nas empresa, de acordo com a Figura 15, foram marcados como tecnologias que as companhias buscam para o futuro.

Figura 16 – Tecnologias digitais que pretendem inserir.

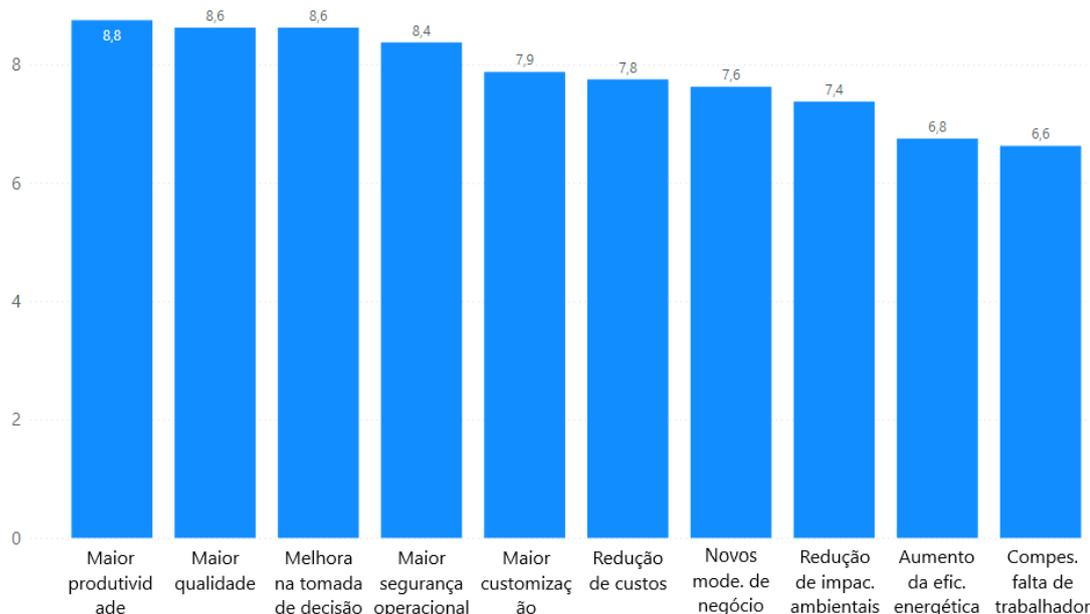


Fonte: Autora.

A respeito do nível de relevância esperado por cada um dos benefícios da implementação de tecnologias digitais, na Figura 17, temos a média dos níveis marcados pelos

respondentes. Pode-se observar que o benefício considerado com maior relevância é aumento da produtividade, seguido de melhora da qualidade dos produtos ou serviços e melhora do processo de tomada de decisão. Ademais, todos os benefícios listados foram considerados relevantes, com um percentual maior que 6.

Figura 17 – Relevância esperada pelos benefícios da implementação de tecnologias digitais.



Fonte: Autora.

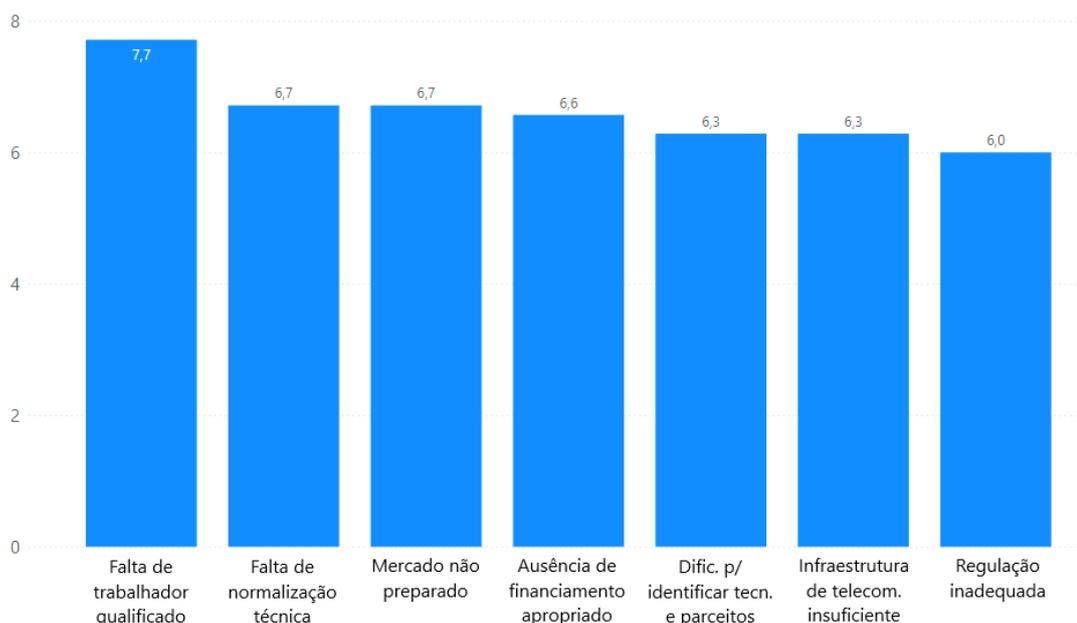
Por fim, sobre as barreiras internas que dificultam a adoção das tecnologias digitais, podemos observar por meio da Figura 18, que apresenta a média dos níveis marcados pelos respondentes, que a falta de trabalhador qualificado é considerado o principal obstáculo. Além disso, todos os obstáculos pontuados foram considerados relevantes pelos respondentes, porque os percentuais escolhidos são maiores que seis.

### 5.2.3 Impacto da Indústria 4.0 no dia a dia da empresa

Na primeira questão da seção Indústria 4.0, em que os respondentes pontuaram o percentual de impacto das tecnologias da Indústria 4.0 já implementadas, no dia a dia da empresa, a média das respostas obtidas foi menor que seis. A média das respostas pode ser observada na Figura 19. Ou seja, pelo olhar dos respondentes, considerando seis como um valor satisfatório, o impacto das tecnologias da Indústria 4.0 no dia a dia da empresa é de médio para baixo. .

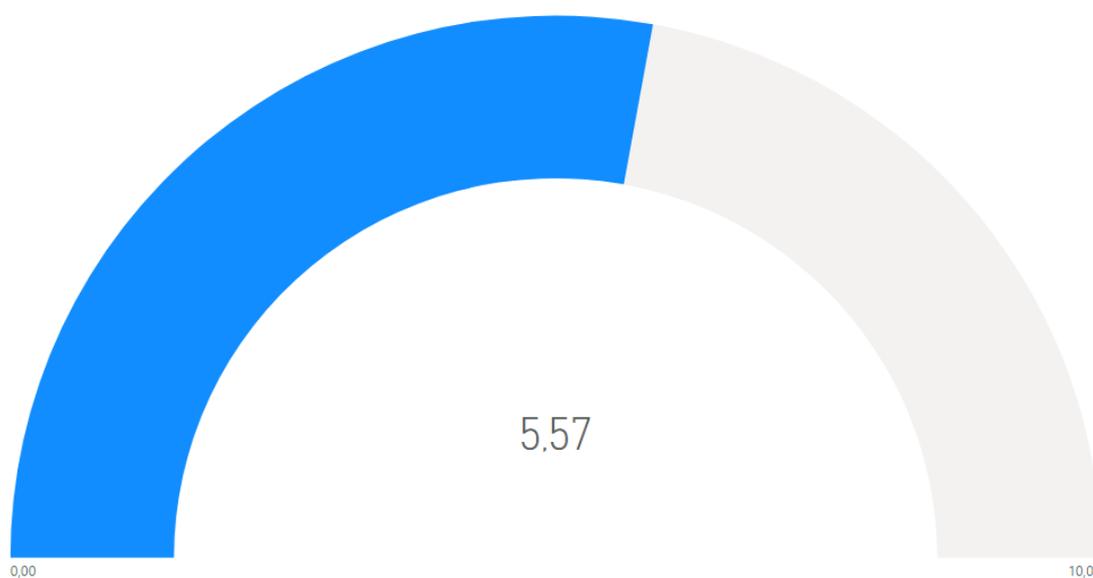
Por outro lado, o conhecimento das pessoas, que trabalham na empresa, sobre o conceito de Indústria 4.0, pontuado pelos respondentes, é considerado satisfatório, porque a média dos percentuais obtidos é seis (Veja a Figura 20). Esse conhecimento foi autoavaliado, ou seja, cada respondente designou a nota que considerava fazer sentido.

Figura 18 – Barreiras internas que dificultam a adoção das tecnologias digitais.



Fonte: Autora.

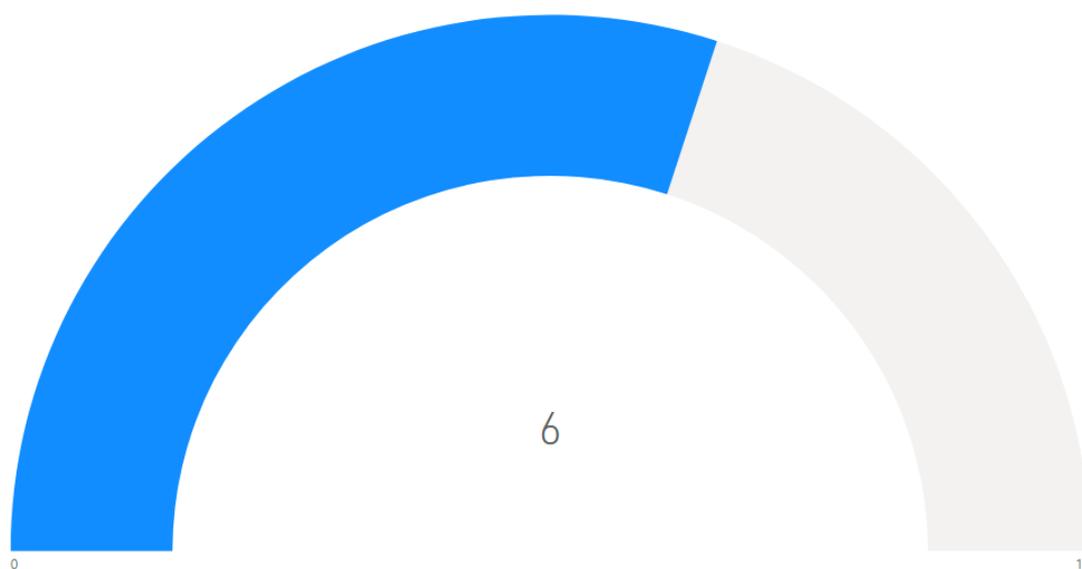
Figura 19 – Impacto das tecnologias da Indústria 4.0 no dia a dia da empresa.



Fonte: Autora.

A participação na última etapa desse questionário foi opcional. Se os respondentes julgassem pertinente, comentariam sobre a sua experiência, impressões, dificuldades, anseios e demandas a respeito da Indústria 4.0. De acordo com isso, os comentários obtidos retratam que existe uma grande dificuldade de mudança de pensamento para adequação às novas tecnologias o que atrasa consideravelmente a aplicabilidade das novas tendências, e que a realidade da Indústria 4.0 ainda é algo distante. Obtivemos também um comentário que afirma que a volatilidade do negócio siderúrgico no Brasil impacta negativamente

Figura 20 – Conhecimento das pessoas que trabalham na empresa sobre o conceito de Indústria 4.0.



Fonte: Autora.

a inserção de novas tecnologias, e um comentário positivo, em que o respondente afirmou que a Indústria 4.0 gera aumento de produtividade, menor quantidade de erros, redução de retrabalho e de acidentes.

### 5.3 Conclusão

Com base no que foi estudado para elaboração deste trabalho e nas respostas obtidas no questionário aplicado nas duas indústrias siderúrgicas selecionadas, é possível concluir que, no universo dessas indústrias, parte das tecnologias em que a Indústria 4.0 se baseia ainda não estão implementadas nas indústrias siderúrgicas do Brasil, como CPS, IoT, IoS e produtos inteligentes, e que a Quarta Revolução Industrial ainda não gera grande impacto no dia a dia dessas empresas. Pode-se afirmar também que a Indústria 4.0 é uma realidade distante para as siderúrgicas do país, e os principais motivos para isso, de acordo com a Figura 18, são a falta de trabalhador qualificado, de normalização técnica e mercado não preparado (disponibilidade de equipamentos com novas tecnologias). Além disso, de acordo com as respostas obtidas na última questão, a ausência de investimento também contribui como barreira para a Indústria 4.0 ser implantada na siderurgia. Por fim, embora a falta de investimento tenha sido apontada como um dificultador mediano (nota 6), se houver um maior investimento as três principais dificuldades apontadas, trabalhador qualificado, de normalização técnica e mercado não preparado, poderiam ser suprimidas e/ou melhoradas.

## 6 Conclusão

Estudos das evoluções da automação no contexto das Revoluções Industriais e os elementos que formam uma Indústria do tipo 4.0 foram levantados a fim de compreender a adequação das indústrias de manufatura aos paradigmas da Indústria 4.0. Atrelado a isso, este trabalho traz uma contribuição acadêmica no sentido de esclarecer conceitos relacionados à Quarta Revolução Industrial.

O objetivo principal do trabalho foi cumprido, ou seja, ser um texto que aborde elementos básicos que constroem o novo paradigma tecnológico da indústria. Ademais, trouxe bases para reflexões sobre as perspectivas futuras e outras decorrências que organizarão uma sociedade nova e baseada em grandes avanços tecnológicos.

Sabendo que a Indústria 4.0 promete revolucionar a produção industrial através de conectividade, comunicação entre máquinas (M2M) e integração entre a manufatura e negócios, neste trabalho, além de discorrer sobre os pilares da indústria 4.0, também foi discutido sobre a contextualização desses pilares, entre outros temas que fazem parte do universo da Quarta Revolução Industrial.

Por fim, em busca de saber como a Indústria 4.0 está presente nas indústrias siderúrgicas brasileiras hoje, foi aplicado um questionário em duas siderúrgicas situadas em Minas Gerais, Brasil. A partir das respostas obtidas nesse questionário e de posse dos temas discorridos nesse trabalho, foi possível concluir que, no universo dessas indústrias, parte das tecnologias em que a Indústria 4.0 se baseia ainda não estão implementadas nas indústrias siderúrgicas do presentes em Minas Gerais, Brasil, pesquisadas, e que a Quarta Revolução Industrial ainda não gera grande impacto no dia a dia dessas empresas. Concomitantemente, com quantidade adequada de investimento para o setor siderúrgico seria possível qualificar os trabalhadores e promover normalizações técnicas necessárias, que são itens de importância para implantação da Indústria 4.0 nas empresas. Atrelado a isso, o rompimento de barreiras tecnológicas e a cibersegurança são assuntos de bastante importância para existência da Indústria 4.0.

### 6.1 Trabalhos Futuros

A Indústria 4.0 tem sido divulgada como um novo paradigma na automação industrial e vista como a Quarta Revolução Industrial. A partir dessa informação e de posse das análises, esclarecimentos e pesquisa realizados nesse trabalho, pode-se concluir que a Indústria 4.0 ainda tem caminhos a percorrer para estar presente no dia a dia das indústrias siderúrgicas brasileiras. De acordo com isso, esta pesquisa pode ser estendida à outras áreas distintas da siderurgia, em busca de entender como a Quarta Revolução Industrial está inserida em outros modelos de indústria.

# Referências

- ACETO, G.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. A survey on information and communication technologies for industry 4.0: State-of-the-art, taxonomies, perspectives, and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, v. 21, n. 4, p. 3467–3501, 2019. 15, 23, 24, 26, 28, 29
- AIRES, R. W. do A.; MOREIRA, F. K.; FREIRE, P. de S. Indústria 4.0: desafios e tendências para a gestão do conhecimento. *SUCEG-Seminário de Universidade Corporativa e Escolas de Governo*, v. 1, n. 1, p. 224–247, 2017. 27
- AKHRAS, G. Smart materials and smart systems for the future. *Canadian Military Journal*, v. 1, n. 3, p. 25–31, 2000. 20
- ANDRADE, R. B. et al. *Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil*. [S.l.]: Portal da Indústria, 2016. 4, 30
- BACKER, K. D.; FLAIG, D. The future of global value chains: Business as usual or “a new normal”? OECD, 2017. 3
- BIRAL, A. et al. The challenges of m2m massive access in wireless cellular networks. *Digital Communications and Networks*, Elsevier, v. 1, n. 1, p. 1–19, 2015. 21
- BOETTCHER, M. Revolução industrial: um pouco de história da indústria 1.0 até a indústria 4.0. *LinkedIn Maicon Boettcher*, v. 26, 2015. 8, 9
- BOJORGE, N. *Simbologia e Nomenclatura de Instrumentação e Controle*. 2017. Disponível em: <[https://www.professores.uff.br/ninoska/wp-content/uploads/sites/57/2017/08/Aula02\\\_Instrumen\\\_Nomenclat\\\_2sem2014.pdf](https://www.professores.uff.br/ninoska/wp-content/uploads/sites/57/2017/08/Aula02\_Instrumen\_Nomenclat\_2sem2014.pdf)>. 10, 11
- BRETTEL, M. et al. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An industry 4.0 perspective. *FormaMente*, v. 12, 2017. 13
- CARMONA, A. L. M. et al. *Análise dos impactos da indústria 4.0 na logística empresarial*. Joinville, SC, 2017. 22
- COLOMBO, A. W. et al. Industrial cloud-based cyber-physical systems. *The Imc-aesop Approach*, Springer, v. 22, p. 4–5, 2014. 20, 24
- COLOMBO, J. F.; DE LUCCA FILHO, J. Internet das coisas (iot) e indústria 4.0: revolucionando o mundo dos negócios. *Revista Interface Tecnológica*, v. 15, n. 2, p. 72–85, 2018. 32, 33
- DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or hype? [industry forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, IEEE, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014. 7
- FERRAZ, F. H. C. Indústria 4.0 no contexto tecnológico e social. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 13, n. 1, 2021. 9
- FILARETOV, V. F.; PRYANICHNIKOV, V. E. Autonomous mobile university robots amur: Technology and applications to extreme robotics. *Procedia Engineering*, Elsevier, v. 100, p. 269–277, 2015. 29

- FRANÇA, T. C. et al. Big social data: Princípios sobre coleta, tratamento e análise de dados sociais. *XXIX Simpósio Brasileiro de Banco de Dados–SBBD*, v. 14, 2014. 30
- GOEKING, W. Da máquina a vapor aos softwares de automação. *Portal O setor elétrico, Santa Cecília, SP*, 2010. 11, 12
- GOMES, G. P.; DOS SANTOS, W. P.; CAMPOS, P. S. Indústria 4.0: Um novo conceito de gerenciamento nas indústrias. *Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII*, n. 000140, 2018. 2, 3, 32
- HAMZEH, R.; ZHONG, R.; XU, X. W. A survey study on industry 4.0 for New Zealand manufacturing. *Procedia Manufacturing*, Elsevier, v. 26, p. 49–57, 2018. 24, 25, 26
- HERMANN, M. et al. Design principles for industry 4.0 scenarios: A literature review. *Technische Universität Dortmund*, 2015. 2, 16
- HEYNICKE, R. et al. Io-link wireless enhanced factory automation communication for industry 4.0 applications. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, Copernicus GmbH, v. 7, n. 1, p. 131–142, 2018. 33
- HOUDA, K.; LAKEL, R. Synchronized communication in a set of autonomous mobile robots using bluetooth technology. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 73, p. 154–161, 2015. 29
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Acatech–national academy of science and engineering. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE*, v. 4, 2013. 1
- MANYIKA, J. et al. Unlocking the potential of the internet of things. *McKinsey Global Institute*, v. 1, 2015. 4
- MENA, I. *Verbete Draft: o que é Internet dos Serviços*. 2018. Disponível em: <<https://www.projeto draft.com/verbete-draft-o-que-e-internet-dos-servicos/>>. 18
- MENDES, C. R.; BORTOLI, F. S.; COSTA, C. Indústria 4.0 a digitalização da manufatura: Um caso de estudo. IFSP, 2021. 12
- MOHAMMED, A.; WANG, L. Brainwaves driven human-robot collaborative assembly. *CIRP annals*, Elsevier, v. 67, n. 1, p. 13–16, 2018. 29
- MOSCO, V. *Becoming digital: Toward a post-internet society*. [S.l.]: Emerald Group Publishing, 2017. 19
- NAKAYAMA, R. S. *Oportunidades de atuação na cadeia de fornecimento de sistemas de automação para indústria 4.0 no Brasil*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2017. 2, 7, 10, 12, 14, 18, 19, 22, 25, 32
- OLIVEIRA, A. de S. et al. Indústria 4.0 — Sondagem especial. FIEC, 2021. 46, 47
- OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature review of industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Springer, v. 31, n. 1, p. 127–182, 2020. 17, 19, 20, 21, 25, 26, 28, 29, 30, 32
- PACCHINI, A. P. T. et al. Indústria 4.0: barreiras para implantação na indústria brasileira. *Exacta*, v. 18, n. 2, p. 278–292, 2020. 26, 28, 32

- PARASURAMAN, R. Designing automation for human use: empirical studies and quantitative models. *Ergonomics*, Taylor & Francis, v. 43, n. 7, p. 931–951, 2000. 7
- PASQUINI, N. C. Revoluções industriais: uma abordagem conceitual. *Revista Tecnológica da Fatec Americana*, v. 8, n. 01, p. 29–44, 2020. 1, 9
- RUSCHEL, H.; ZANOTTO, M. S.; MOTA, W. C. Computação em nuvem. *Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Brazil*, 2010. 19
- SACOMANO, J. B. et al. *Indústria 4.0*. [S.l.]: Editora Blucher, 2018. 1, 2, 7, 8, 9, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21
- SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. As revoluções industriais até a indústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, v. 15, n. 2, p. 480–491, 2018. 4, 8, 9
- SANCHEZ, M.; EXPOSITO, E.; AGUILAR, J. Industry 4.0: survey from a system integration perspective. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Taylor & Francis, v. 33, n. 10-11, p. 1017–1041, 2020. 22, 23, 29, 30
- SEIXAS FILHO, C. A automação nos anos 2000: Uma análise das novas fronteiras da automação. In: *Conai 2000-9º Congresso e Exposição Internacional de Automação, Anais. São Paulo, SP*. [S.l.: s.n.], 2000. 11
- SILVA, L. P. F. *Aplicação da tecnologia IO-link como base para a Indústria 4.0 no contexto de uma siderúrgica*. 2019. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto), João Monlevade, Brasil. 3, 4, 17, 18, 33
- SILVA NETO, V. J.; BONACELLI, M. B. M.; PACHECO, C. A. O sistema tecnológico digital: Inteligência artificial, computação em nuvem e big data. *Revista Brasileira de Inovação*, SciELO Brasil, v. 19, 2021. 20
- SOCIAL, W. A. et al. Digital in 2017 global overview. *January, dostupno na: <https://www.slideshare.net/wearesocialsg/digital-in-2017-global-overview> (24.04. 2017.)*, 2017. 16
- STOROLLI, W. G. et al. Avaliação do grau de maturidade da indústria 4.0 no setor de autopeças brasileiro com auxílio do diagnóstico do promethee. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 10, n. 3, p. 179–202, 2018. 4
- TAURION, C. *Cloud computing-computação em nuvem*. [S.l.]: Brasport, 2009. 19
- TROPIA, C. E. Z.; SILVA, P. P.; DIAS, A. V. C. Indústria 4.0: Uma caracterização do sistema de produção. In: *XVII Congresso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica. ALTEC*. [S.l.: s.n.], 2017. 30, 31, 32
- UNCTAD. Robots, industrialization and inclusive growth. *Trade and Development Report 2017: Beyond austerity—Towards a global new deal*, United Nations New York and Geneva, 2017. 3
- VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0—a glimpse. *Procedia manufacturing*, Elsevier, v. 20, p. 233–238, 2018. 9, 14, 15
- VERMA, P. K. et al. Machine-to-machine (M2M) communications: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, Elsevier, v. 66, p. 83–105, 2016. 21

YU, L.; GRÜNER, S.; EPPLE, U. An engineerable procedure description method for industrial automation. In: IEEE. *2013 IEEE 18th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)*. [S.l.], 2013. p. 1–8. 10

ZAWADZKI, P.; ŻYWICKI, K. Smart product design and production control for effective mass customization in the industry 4.0 concept. *Management and production engineering review*, Production Engineering Committee of the Polish Academy of Sciences, Polish . . . , 2016. 9

ZHOU, K.; LIU; TAIGANG, L. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: IEEE. *2015 12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD)*. [S.l.], 2015. p. 2147–2152. 1, 3, 14, 15

# A Questionário aplicado em duas indústrias siderúrgicas

Neste anexo serão introduzidas as perguntas presentes no questionário a respeito das tecnologias da Indústria 4.0, aplicado em duas indústrias siderúrgicas do Brasil.

Tabela 4 – Parte sobre Segmentação do questionário.

Pergunta	Opções
Em qual segmento siderúrgico sua empresa atua?	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Aços Longos</li> <li>b) Aços Planos</li> <li>c) Outro</li> </ul>
Em qual departamento você trabalha?	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Automação/Instrumentação</li> <li>b) Manutenção Elétrica</li> <li>c) Manutenção Mecânica</li> <li>d) Operação</li> <li>e) Outro</li> </ul>
Em qual departamento você trabalha?	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Aciaria</li> <li>b) Laminação</li> <li>c) Redução</li> <li>d) Utilidades</li> <li>e) Outro</li> </ul>

Fonte: Autora.

Tabela 5 – Parte sobre Tecnologias Digitais do questionário.

Pergunta	Opções
Sobre a utilização de tecnologias digitais, assinale quais dos exemplos abaixo são utilizados no seu processo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Prototipagem rápida, impressão 3D e similares</li> <li>b) Inteligência artificial para aplicações e soluções de processos</li> <li>c) Simulações/análise de modelos virtuais para projeto e comissionamento</li> <li>d) Sensores para identificação de condições operacionais</li> <li>e) Monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo MES e SCADA</li> <li>f) Sistemas integrados de manufatura (comunicação máquina-máquina)</li> <li>g) Manufatura aditiva, robôs colaborativos (cobots)</li> <li>h) Sistema de Gestão Integrado - ERP ou SERP</li> <li>i) Ferramentas digitais de relacionamento com o cliente</li> <li>j) BigData para coleta, processamento e análise de dados</li> <li>k) IoT e IoS</li> <li>l) Computação em nuvem</li> <li>m) Outro</li> </ul>
Das tecnologias listadas abaixo, quais a sua empresa não possui, mas pretende inserir no processo?	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Prototipagem rápida, impressão 3D e similares</li> <li>b) Inteligência artificial para aplicações e soluções de processos</li> <li>c) Simulações/análise de modelos virtuais para projeto e comissionamento</li> <li>d) Sensores para identificação de condições operacionais</li> <li>e) Monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo MES e SCADA</li> <li>f) Sistemas integrados de manufatura (comunicação máquina-máquina)</li> <li>g) Manufatura aditiva, robôs colaborativos (cobots)</li> <li>h) Sistema de Gestão Integrado - ERP ou SERP</li> <li>i) Ferramentas digitais de relacionamento com o cliente</li> <li>j) BigData para coleta, processamento e análise de dados</li> <li>k) IoT e IoS</li> <li>l) Computação em nuvem</li> <li>m) Outro</li> </ul>

Tabela 6 – Segunda parte sobre Tecnologias Digitais do questionário.

Pergunta	Opções
Que nível de relevância você espera para os benefícios da implementação de tecnologias digitais? (Marcar de 0 a 10)	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Aumento da eficiência energética</li> <li>b) Melhora da qualidade dos produtos ou serviços</li> <li>c) Melhora do processo de tomada de decisão</li> <li>d) Aumento da produtividade</li> <li>e) Aumento da segurança operacional</li> <li>f) Redução de custos operacionais</li> <li>g) Redução de impactos ambientais</li> <li>h) Compensação da falta de trabalhador capacitado</li> <li>i) Criação de novos modelos de negócio</li> <li>j) Desenvolvimento de produtos ou serviços mais customizados</li> </ul>
Como você considera as principais barreiras internas que dificultam a adoção das tecnologias digitais? (Marcar de 0 a 10)	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) O mercado ainda não está preparado (clientes e fornecedores)</li> <li>b) Falta de trabalhador qualificado</li> <li>c) Falta de normalização técnica</li> <li>d) Infraestrutura de telecomunicações do país insuficiente</li> <li>e) Dificuldade para identificar tecnologias e parceiros</li> <li>f) Falta de regulação/ Regulação inadequada</li> <li>g) Ausência de linhas de financiamento apropriadas</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2021).

Tabela 7 – Parte sobre Indústria 4.0 do questionário.

Pergunta	Opções
Qual o percentual de impacto das tecnologias da Indústria 4.0, já implementadas, no dia a dia da sua empresa?	Marcar de 0 (Nenhum) a 10 (Total).
Como você classifica o conhecimento das pessoas que trabalham na empresa sobre o conceito de Indústria 4.0?	Marcar de 0 (Insuficiente) a 10 (Muito suficiente).
Etapa opcional. Se julgar pertinente, deixe abaixo comentários sobre a sua experiência, impressões, dificuldades, anseios e demandas a respeito da Indústria 4.0.	Questão aberta.

Fonte: Autora.



## ANEXO X - TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “Estudos de Estratégias para adequação das Indústrias de Siderurgia aos Paradigmas da Indústria 4.0” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem a devida citação ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 01 de Julho de 2022 .

\_\_\_\_\_  
Nome completo do(a) aluno(a)