

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ECONOMIA

PALOMA MACHADO DE MESQUITA

**INDÚSTRIA 4.0: UMA ABORDAGEM TEÓRICA SOBRE A MUDANÇA TÉCNICA  
E SEU IMPACTO SOBRE EMPREGO**

JUIZ DE FORA - MG  
2023

PALOMA MACHADO DE MESQUITA

**INDÚSTRIA 4.0: UMA ABORDAGEM TEÓRICA SOBRE A MUDANÇA TÉCNICA  
E SEU IMPACTO SOBRE EMPREGO**

Projeto de pesquisa apresentado ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Eduardo Gonçalves

JUIZ DE FORA - MG  
2023

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Mesquita, Paloma Machado De.

Indústria 4.0: uma abordagem teórica sobre a mudança técnica e seu impacto sobre emprego / Paloma Machado De Mesquita. -- 2023. 39 f.

Orientador: Eduardo Gonçalves

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia, 2023.

1. Indústria 4.0. 2. Emprego. 3. Inovação. I. Gonçalves, Eduardo, orient. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
REITORIA - FACECON - Depto. de Economia

Na data de 11/07/2023, a Banca Examinadora, composta pelos professores

1 – Eduardo Gonçalves - orientador; e

2 – Lourival Batista de Oliveira Jr., reuniu-se para avaliar a monografia da acadêmica Paloma Machado de Mesquita, intitulada:

Indústria 4.0: uma abordagem teórica sobre a mudança técnica e seu impacto sobre emprego.

Após primeira avaliação, resolveu a Banca sugerir alterações ao texto apresentado, conforme relatório sintetizado pelo orientador. A Banca, delegando ao orientador a observância das alterações propostas, resolveu APROVAR (APROVAR / NÃO APROVAR) a referida monografia



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Goncalves, Professor(a)**, em 11/07/2023, às 18:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lourival Batista de Oliveira Junior, Professor(a)**, em 12/07/2023, às 11:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1362609** e o código CRC **9488AEC2**.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Juiz de Fora, pelo ensino que oportuniza a todos um novo mundo de possibilidades, que foi capaz de mudar a minha história e me apresentar perspectivas que foram muito além do que um dia sonhei.

A minha família, mãe, pai e avó pelo imensurável esforço e incentivo em toda a minha vida para que eu tivesse uma educação de qualidade. Por confiarem em mim e tornarem tudo isso possível. Vocês são a motivação de todas as minhas conquistas.

Aos meus tios e tias que também lutaram a minha luta por todo apoio para que a graduação se tornasse uma realidade.

A minha fé que foi o suporte necessário e o colo para os dias difíceis, que me deu a força para cada novo passo e a proteção para cada novo caminho.

Aos meus amigos, os que permaneceram e os que chegaram com graduação e com os estágios, que preencheram meus dias com alegria e tornaram essa jornada mais leve e menos solitária.

Ao Rafael, que me encoraja todos os dias a ir atrás dos meus sonhos.

Ao Prof. Dr. Eduardo Gonçalves, grande responsável pela conclusão desse trabalho pelas palavras de incentivo e dedicação a ele prestada.

## **RESUMO**

O conjunto de inovações apresentado nas revoluções industriais tem profunda capacidade de transformação das relações sociais. O modo de vida dos indivíduos tem sido impactado em diferentes dimensões através das interações criadas pelas revoluções industriais anteriores. Mediante a isso, há uma preocupação latente que acompanha os trabalhadores desde a primeira revolução industrial em relação a destruição de empregos causada pela inserção de máquinas no processo produtivo. O presente estudo foi realizado através da revisão de literatura sobre o tema comparando-o ao conteúdo já produzido pelas outras revoluções industriais. A indústria 4.0 terá um impacto diferenciado em emprego quando comparada as outras revoluções industriais. A sua taxa de substituição, que são os empregos que são criados e repõem as vagas que são eliminadas pelas inovações do período, é a mais lenta em relação as demais revoluções visto não acompanhar a velocidade das inovações e portanto, não será capaz de substituir todas as vagas que deixarão de existir.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Emprego. Inovação. Revolução Industrial.

## **ABSTRACT**

The set of innovations presented in the industrial revolutions has a profound capacity to transform social relations. The life style of individuals has been impacted in various dimensions through the interactions created by previous industrial revolutions. As a result, there is a latent concern that has accompanied workers since the first industrial revolution regarding the destruction of jobs caused by the introduction of machines in the production process. This study was conducted through a literature review on the topic, comparing it to the content already produced by previous industrial revolutions. Industry 4.0 will have a differentiated impact on employment when compared to previous industrial revolutions, as its rate of substitution, the jobs that are created to replace the positions eliminated by innovations during this period, is the slowest, as it does not keep up with the speed of innovations and will not be able to replace all the positions that will cease to exist.

Keywords: Industry 4.0. Employment. Innovation. Industrial Revolution.

## **LISTA DE SIGLAS**

AI – Artificial Intelligence

CPS – Cyber Physical System

IOT – Internet of Things

TI – Tecnologia da Informação

UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	11
2.1	Primeira Revolução Industrial.....	11
2.2	Segunda Revolução Industrial.....	13
2.3	Terceira Revolução Industrial .....	18
3	A INDÚSTRIA 4.0.....	21
3.1	<i>Internet Of Things</i> .....	23
3.2	<i>Big Data</i> .....	24
3.3	<i>Artificial Intelligence (AI)</i> .....	25
3.4	<i>CPS</i> .....	26
4	A RELAÇÃO ENTRE EMPREGO E TECNOLOGIA .....	28
4.1	O Impacto da Quarta Revolução Industrial no Emprego .....	31
4.2	O Brasil na Revolução 4.0.....	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	38
	REFERÊNCIAS .....	39



## INTRODUÇÃO

A teoria de Schumpeter no século XX já introduzia o conceito de inovação e de destruição criativa, onde novas tecnologias de produto ou de processo produtivo seriam capazes de revolucionar o capitalismo (SCHUMPETER, 1961).

Segundo Sakurai e Zuchi (2018) o cenário Pré-Revolução Industrial era representado pela manufatura artesanal, caracterizada por trabalhadores que dominavam todo o processo de produção até a comercialização, o que acarretava em baixa produção e produtos não padronizados.

A Primeira Revolução Industrial foi um conjunto de mudanças técnicas, sociais e econômicas e o primeiro grande passo das grandes revoluções tecnológicas. O primeiro cenário descrito anteriormente sofreu profundas mudanças, a energia física foi substituída pela mecânica, as manufaturas se transformaram em fábricas e as máquinas substituíram as ferramentas. O artesão que controlava todo o seu processo produtivo, agora trabalha para um patrão que controla o processo e os lucros (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

A Segunda Revolução Industrial ampliou as zonas industriais, o aumento da exploração por matérias primas como ferro e carvão. É interessante ressaltar a busca por novos mercados consumidores como a África e a Ásia, mas o principal são as novas organizações do trabalho através do modelo Taylorista e o Fordista que introduziu a linha de produção (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

A Terceira Revolução Industrial começou na metade do século XX com uma série de mudanças econômicas e sociais, e foi caracterizada por usos alternativos de energia e pelo desenvolvimento e uso crescente da tecnologia no setor de informática, e dentro dele na parte de robótica e telecomunicações (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

A velocidade com que hoje as novas tecnologias surgem e o impacto de transformação que elas causam está cada vez mais acelerado. Os produtos consumidos, e principalmente a forma como eles são consumidos não são as mesmas de sequer 5 anos atrás. A quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 tem como alicerce a integração entre sistemas e pessoas mesmo que geograficamente distantes. Segundo Kagermann et al. (2013), o termo foi visto pela primeira vez na Alemanha, em 2011, como uma iniciativa estratégica do governo alemão, para fortalecer o uso de tecnologias, com enfoque na internet, para dessa maneira, aumentar a competitividade da indústria alemã.

Fábrica digital ou internet industrial também são termos utilizados para se referir a Indústria 4.0 de acordo com Geissbauer, Vedso e Schrauf (2016). A Indústria 4.0 indica a

digitalização e integração dos processos produtivos na cadeia de valor em tempo real, o que torna as fábricas ágeis e flexíveis, baseada na interação entre máquinas e seres humanos. Além disso, tem forte relação com a criação de análise de um volume expressivo de dados para a tomada de decisão.

Hermann, Pentek e Otto (2015) classificaram os 4 componentes básicos para a Indústria 4.0 de acordo com os termos que foram mais citados na literatura do tema. Os componentes são Cyber Physical Systems (CPS), Internet das Coisas, Internet dos Serviços e Fábricas Inteligentes. CPS são sistemas que permitem a integração através de redes, entre os mundos físico e virtual, através de computadores que geram respostas em tempo real. Internet das coisas é a rede que faz o intercâmbio e comunica qualquer coisa com a internet, permitindo a interação com ambientes externos e internos. A Internet dos Serviços consiste no bom funcionamento da Internet das Coisas o que permite que vendedores ofereçam seus serviços, agregando valor na cadeia produtiva, quando integrados, permitem o aparecimento de novos serviços e o aprimoramento de outros. As Fábricas Inteligentes exigem uma planta extremamente integrada, que se comunique entre si em tempo real em todos os níveis gerando um alto ganho em produtividade.

Antes de introduzir o cenário da Indústria 4.0, é necessário compreender conceitos importantes como o de inovação. Schumpeter (1997) definia que a diferença entre os termos de invenção e de inovação é que o segundo envolve uma transação comercial de maneira que gere riqueza econômica. O autor também fala sobre a ruptura do fluxo circular da renda ser motivada pela obtenção de lucros e ser realizada por meio da inovação.

Em relação à questão de empregos, Acemoglu e Autor (2010) afirmam que novas tecnologias são passíveis de substituir ou complementar o trabalho de indivíduos de baixa ou alta instrução. Além disso, os autores falam sobre a substituição de algumas tarefas humanas por computadores. Para isso, as tarefas que serão substituídas devem ser claras o suficiente para que sejam traduzidas etapa por etapa para o mecanismo do computador. Com isso, atividades de rotina, que são realizadas manualmente por indivíduos com o nível de habilidade, considerada pelos autores, média, podem ser facilmente codificadas em softwares como por exemplo escrituração e atividades clericais.

A Indústria 4.0 deixa de ser um processo de simples digitalização de processos e passa a ser um tipo de produção altamente dinâmico para que possa um nível de customização em massa, desenvolvendo produtos e serviços que atendam especificamente o desejo de seus consumidores finais. Para isso, o processo produtivo assume a tendência de adoção e combinação de múltiplas tecnologias simultaneamente, com matérias mais inteligentes e

sensores que são capazes de realizar monitoramento em tempo real, o que gera estatísticas e dados que, quando analisados constantemente são capazes de prevenir perdas durante o processo. Isso se torna necessário pois, mais do que um produto, consumidores finais hoje buscam por experiências.

A principal novidade referente a Indústria 4.0 é aplicação de não somente uma tecnologia, mas sim a integração entre várias delas. Dada a grande diversidade dessas novas tecnologias, a sua aplicação pode ser dada gradualmente no processo produtivo, não sendo necessária a criação de uma planta industrial nova para a implantação de um sistema totalmente 4.0. Outra forte característica, é a união entre as tecnologias de automação e de informação. Entretanto, no caso brasileiro, tem a implantação da tecnologia 4.0 protagonizado pelas áreas de tecnologia de automação, enquanto os setores de TI apenas como subsidiários do processo, essa divisão empobrece o processo, dado que, um dos princípios da aplicação da Indústria 4.0 é a profunda integração entre toda a linha de produção (CNI, 2020).

Considerando, que um dos principais objetivos do presente trabalho é apresentar a Indústria 4.0 e seus princípios, Schwab (2016) aponta que a quarta revolução industrial é caracterizada por sua grande velocidade de transformação e por unir tecnologias de interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos. O autor também categoriza que a ruptura do modo produtivo nas empresas deixa de ser uma questão de se haverá ou não e passa ser uma questão de tempo para que ocorra. Tais características são os principais motivos de Schwab (2016) pontuar que, a Revolução 4.0 pode causar um impacto maior em emprego que as revoluções anteriores, dado a intensidade desses impulsionadores. Ainda ressalta como os dois possíveis resultados dessa ruptura podem ser concorrentes entre si. Se por um lado, inovações podem gerar a substituição de trabalho por capital, que resulta em menos postos de trabalho disponíveis e, por consequência, desemprego, por outro, a criação de novas tecnologias pode gerar demanda, fazendo com que os trabalhadores ociosos sejam realocados em novas posições que até o momento poderiam até não existir. Conforme Gimenez e Santos (2019) apud STEWART, DEBAPRATIN, COLE (2014) historicamente no avanço da tecnologia existe a compensação de empregos, onde empregos perdidos em um setor são compensados para criação de outros novos postos de trabalho em outros setores.

Vale ressaltar que a literatura para o termo de Indústria 4.0 ainda é muito recente, visto que a primeira vez que o termo foi citado foi em 2011, por isso ainda não há uma vasta literatura específica sobre o tema quando comparada a outras Revoluções Industriais.

Kagermann et al. (2013) ressaltam a possibilidade de melhora de produtividade e de eficiência que a Indústria 4.0 permite por oportunizar a otimização da tomada de decisão uma

vez que dados são criados e processados em tempo real, o que permite a personalização do produto e a flexibilidade do processo, criando valor à cadeia produtiva.

Baccarin (2018) ainda inclui que o conceito de indústria 4.0 ultrapassa a simples manufatura direta, mas inclui toda a rede de fornecedores à clientes, unindo toda a cadeia de valor aos serviços da empresa. Barreto (2019) ressalta a importância de duas tecnologias em específico, a saber, *Internet das Coisas* e *Big Data*. O autor argumenta que as duas tecnologias têm a capacidade de armazenar, analisar e transformar dados em tempo real, o que permite a criação de inúmeros cenários e a capacidade de sugerir e tomar ações de maneira preventiva de acordo com cada cenário criado.

Novas tecnologias têm grande potencial de mudanças de estrutura econômica e social, e conseqüentemente no mercado de trabalho, tornando métodos convencionais de produção, aos poucos menos eficientes quando comparado aos digitalizados. O presente trabalho objetiva apresentar o impacto da Indústria 4.0 no emprego e, para isso, o mesmo está dividido em 6 capítulos além dessa introdução. Na sequência, o capítulo 2 expõe as características das inovações e seus impactos nas revoluções industriais anteriores. O capítulo 3 aponta sobre a origem e os aspectos que norteiam a Indústria 4.0 e detalha as principais tecnologias utilizadas. O capítulo 4 faz uma abordagem acerca da relação entre emprego e tecnologia ao longo de todas as revoluções industriais anteriores para que o capítulo 5 possa abordar sobre a relação entre o emprego e o impacto gerado nele pela indústria 4.0 e quais são as competências profissionais necessárias para o trabalhador da nova revolução industrial. O cenário industrial brasileiro, as potencialidades e limitações da implantação da Indústria 4.0 no Brasil são apresentados no capítulo 6. No capítulo 7 temos as considerações finais desse trabalho.

## EVOLUÇÃO HISTÓRICA

A seguir serão apresentadas características das Revoluções Industriais anteriores à Indústria 4.0. O capítulo abordará como ocorreu o desenvolvimento das inovações por período e o impacto das novas tecnologias no sistema de produção e na sociedade.

### 2.1 Primeira Revolução Industrial

A sociedade pré-industrial, tinha como característica principal a transmissão de conhecimento de maneira informal, normalmente dentro do âmbito familiar passado de geração em geração. A desafio para transformação industrial, tornar esse conhecimento artesanal, na divisão do trabalho para permitir uma supervisão da produção e dessa forma, incorrer em aumento de produtividade (GUEDES E ROSÁRIO, 2005).

Freeman e Louçã (2001) apontam que não existe um fator principal que possa explicar sozinho a revolução britânica, mas sim um aglomerado de variáveis, que são somadas as mudanças na agricultura, no fluxo dos trabalhadores do campo para a cidade e o acúmulo de capital no início do século XVIII. Datheine (2003) cita como principal mudança a transferência da força humana ou animal na produção para a força mecânica de forma mais eficiente e invenção de novas fontes de energia e novos tipos de materiais. Dessa maneira, o crescimento da indústria Britânica não ocorreu de forma homogênea, mas sim pelo rápido crescimento de algumas indústrias em especial o setor têxtil de algodão e o de ferro (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

Apesar de ser um indicador que contém viés, o número de patentes do início da década de 1770 para o final do século duplicou. O que traz o debate da importância da inovação técnica durante o período. Freeman e Louçã trazem autores como Ashton e Eversley que apontam a inovação é resultado de ideias incrementais dos que já exerciam aquele trabalho, unindo ideias independentes que juntas poderiam se tornar mais eficiente. Do outro lado, existia a ideia de que as invenções poderiam ser resultado de mentes brilhantes e inovadoras de uma forma isolada. Segundo Adam Smith, as inovações eram incrementais e realizadas com frequência por aqueles que utilizavam das máquinas, o que foi facilitada pela divisão do trabalho, e outras por aqueles eram resultadas por aqueles cientistas que observavam o trabalho (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

As inovações realizadas na indústria de algodão transbordaram para outros setores da indústria têxtil. A combinação das invenções de novas máquinas teve um efeito revolucionário. A produtividade do trabalho obteve um salto ao final do século XVIII reduzindo a quantidade de horas para processar 45kg de algodão de forma extraordinária, assim como o custo de “fiar” a mesma quantidade. A força necessária para operar as invenções que depois vieram fez com que as novas instalações das máquinas fossem em fábricas. (FREEMAN E LOUÇÃ,2001). Dathein (2003) fala sobre a inovação como necessidade pratica dando como exemplo o avanço da tecnologia de fiar que pressionou por inovações no setor de tecelagem visto que essas industriais não estavam na mesma velocidade de aprimoramento técnico.

Na indústria de ferro, Freeman e Louçã (2001) descreveram sobre as inovações notáveis da fundição do minério de ferro como o coque – um tipo de combustível mineral, em vez de carvão e a transformação de ferro gusa em um material mais maleável, possibilitaram o aumento da oferta do metal em um espectro mais amplo além de torna-lo mais barato no fim do século XVIII. Antes do uso de coque, o combustível mais utilizado era o carvão produzido por madeira, o que gerou uma séria preocupação em relação ao desaparecimento das florestas (DATHIEN, 2003). Um novo mercado de demanda foi criado, incentivado pelo aumento do consumo para suprir as próprias necessidades das outras indústrias, unido ao uso militar do período Napoleônico. A principal fonte de energia até então, a roda d’agua também teve seu design incrementado pelo uso para se tornar eficiente, da mesma forma que produtos foram desenvolvidos para funcionar com energia a base de vapor (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

Freeman e Louçã (2001) citam um tópico que é muito esquecido durante as abordagens da Revolução: o transporte. A ampliação da rede de transportes em estradas e canais beneficiou todas as indústrias tanto no aumento da acessibilidade a novos mercados quanto no acesso a suprimentos. Guedes e Rosário (2005) apontam a criação de infraestrutura para movimentação de pessoas, mas principalmente para o escoamento da produção a menores custos. Essa revolução na parte de transportes torna possível, também, a expansão das organizações, com mercados que vão além das fronteiras internas.

Sem trabalho no campo, os trabalhadores rurais não viam muita opção fora procurar emprego nas cidades, fator esse que foi facilitado devido a remoção das restrições de mobilidade, resultando na grande imigração. As mudanças demográficas também devem ser consideradas. A classe proletária não era composta apenas por homens adultos, mulheres e crianças também trabalhavam produzindo nas fábricas. Porém não foi somente a grande gama de trabalhadores que incrementaram o trabalho, o proletariado funcionava sob disciplina e exposto à uma extensa jornada em horas de trabalho. Quando comparado ao cenário pré-

revolução, o tema tempo trouxe uma enorme mudança cultural e organizacional, incluindo na época grandes movimentos sociais sobre a carga horária de trabalho. No início da industrialização a pressão para que houvesse aumento das horas trabalhadas foram intensas e culminaram em invenções como da luz a gás que permitia que a labuta se estendesse até a noite. Mais uma vez, o movimento social se fortaleceu e intensificou os esforços para diminuição de jornada. Do ponto de vista dos detentores meios de produção, haviam também os empresários que defendiam que educação, treinamento poderiam melhorar a produtividade mais do que o alongamento de horas trabalhadas (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

A localização das fábricas também sofreu alterações durante a revolução e suas inovações. Se no início do período as fábricas precisavam ter suas instalações próximas aos rios devido a força hidráulica, o avanço técnico e o desenvolvimento da energia e vapor tornaram possível a instalação das plantas industriais em locais mais estratégicos e não somente junto ao leito de algum rio (DATHIEN, 2005).

## **2.2 Segunda Revolução Industrial**

A Segunda Revolução Industrial dissocia de algumas características da primeira, o centro de inovação passa a ser nos laboratórios de pesquisa e por observação, as grandes indústrias com ganhos de escala tomam espaço, um novo método de produção é desenvolvido e surge a administração científica. (DATHIEN, 2003)

Enquanto inovações da Revolução Industrial anterior estavam relacionadas tanto a experimentações dentro das fábricas quanto pela observação do processo, a Energia Elétrica se deu devido ao desenvolvimento científico. Suas propriedades foram amplamente investigadas em laboratórios, tanto na Inglaterra quanto nos EUA. Com a invenção dos fios condutores e das baterias primárias foi possível que a eletricidade deixasse as oficinas de experimentação para assumir funcionalidades. Porém para que o uso comercial para iluminação fosse atingido foi necessário a criação dos dínamos e do magneto na década de 1860, e ainda para que a larga escala fosse alcançada nas regiões industriais houve o advento dos alternadores, rotores. Bondes e metrô podem ser apontados como um dos primeiros e mais importantes usos de grande escala da eletricidade, principalmente no Japão. Chandler (1977) apud Freeman e Louçã (2001), entre o ano de 1890 e 1904 as linhas de trânsito urbano nos Estados Unidos que usavam energia elétrica cresceu 79 pontos percentuais. (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

Na indústria, a implantação da força elétrica revolucionou o modo de gestão. A nova tecnologia trazia consigo equipamentos mais caros e de manutenção e manuseio mais

complexos, o que necessitava de novas formas de coordenação, desse modo, gestores de carga horária completa passaram a substituir o trabalho dos donos na coordenação. A eletricidade no início do século XX chegou a competir em uso com a energia a vapor e a gasolina, exceto para grandes motores. Os motores elétricos não eram tão fortes quanto o das outras fontes de energia antes mencionadas, mas eram uma opção mais acessível as pequenas firmas que não podiam pagar por elas (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001). Os geradores a vapor eram instalados nas próprias fábricas, a energia elétrica podia ser transmitida, o que a tornou esse tipo de energia mais acessível não somente ao setor produtivo, mas também a população, mudando radicalmente o estilo de vida (DATHEIN, 2003)

As inovações relacionadas a eletricidade nos mais diversos campos como comunicação, transporte, iluminação, geração de energia elétrica a partir da década de 1880 demandou um forte investimento em infraestrutura, que podia ser financiada tanto pelo setor privado quanto pelo público. O crescimento do uso da energia elétrica exigiu um cenário regulatório, aumentando a legislação, gerando intenso debate público sobre a situação (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

Para Freeman e Louçã (2001), a eletricidade no setor industrial foi além da variável chave de inovação, pois ela implicou na flexibilidade da arquitetura na produção, economizando em espaço. As fábricas se tornaram mais claras e limpas, as ferramentas e os próprios equipamentos sofreram uma mudança de design e esse novo estilo de produção fez com que muitas plantas industriais pudessem ser realocadas. Nesse ponto, os autores comparam essa mudança de paradigma com o período anterior a mudança gerada pela tecnologia da informação.

Conforme Freeman e Louçã (2001), as inovações na Indústria de Aço durante a segunda metade do século XIX tiveram como resultado um crescimento de produção mais rápido inclusive do que o da indústria de algodão no início do século anterior. Esse crescimento considerável se deu durante a segunda revolução industrial, o que não exclui a produção em menor escala na anterior. O fato é que na anterior, o custo de produção era elevado e o controle de qualidade complicado, principalmente para os EUA, que importava em grande quantidade o aço britânico. Situação que pode ser resolvida a partir das invenções que permitiram uma maior margem de lucro e para indústria de aço em si. A redução de custo de produção foi cerca de 80% entre 1860 e 1890 (LANDES citado por FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

As principais aplicações do aço eram no setor ferroviário, os trilhos de aço duravam cerca de cinco vezes mais que os de ferro, e no setor naval, na produção de navios de aço. As indústrias, britânica, germânica e americana de aço, foram capazes de desenvolver novos tipos



de aço especiais, o que desencadeou na atualização de produtos e no aperfeiçoamento de processos. A combinação de metais possibilitou ferramentas mais resistentes para corte e mais precisas para o setor de engenharia. O desenvolvimento do que, na época, era chamado de aço elétrico, que foi um grande aliado na construção de transformadores e geradores elétricos (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

Durante a Primeira Grande Guerra, a corrida armamentista que ocorreu entre os principais oponentes, Inglaterra e Alemanha, resultou no desenvolvimento de novas ligas de aço que permitiram o avanço da engenharia pesada. Porém, esse desenvolvimento não ficou limitado a engenharia e a mecânica, o aço naquele momento era um material barato e de fácil acesso, outros setores industriais tiveram inovação através dele. O setor de enlatados substituiu o ferro em sua produção pelo aço, no momento em que o consumo de comida enlatada subiu tanto pelas famílias quanto para os soldados durante a guerra (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

As inovações durante o período da segunda revolução industrial estavam todas interconectadas entre o uso de eletricidade, de engenharia pesada e de aço. O uso de estruturas metálicas baseadas em aço na engenharia civil, possibilitou a construção de paredes em andares diferentes de maneira independente e simultânea, o que foi capaz de tornar menos espessas as paredes que antes eram estruturais nos andares mais baixos. Aliada a outra inovação que foi possível através da energia elétrica, o elevador, passaram a ser construídos os primeiros arranha-céus (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

O desenvolvimento do aço foi o centro de uma série de inovações que o utilizavam nas mais distintas indústrias. Na época, o aço era cotado para todo desenvolvimento de novo produto ou projeto, fossem de grande ou de pequena escala. Para os autores, o uso complementar entre aço e força elétrica chegava a ser mais importante do que o uso complementar entre motores e força a vapor. A indústria elétrica em si já usava o aço, mas as indústrias diversas que utilizavam de força elétrica usavam o aço de forma indireta, pois a composição dos processos elétricos utilizava de aço em sua composição (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

O cobre é um metal usado desde a antiguidade e marcou o início da metalurgia. Até o começo da Segunda Revolução Industrial era amplamente utilizado para cunhagem de moedas, materiais domésticos e para tubulações. Mas com o advento da eletricidade, mais de cinquenta por cento do cobre consumido desde o final do século XIX foi destinado para a indústria elétrica. A ascensão da indústria elétrica esteve intimamente ligada com o crescimento da produção de cobre e alumínio no século XIX. A indústria de mineração e fundição de cobre cresceu consideravelmente a partir de 1870 com os novos centros de produção e o Estados

Unidos ganhou relevância devido a abundância do recurso e pela capacidade técnica. Inovações incrementais ocorreram durante o período na estrutura do processo de fundição, mas a mais importante foi a introdução do refinamento eletrolítico, isso porque o processo remove as impurezas do metal para as aplicações na indústria elétrica. O crescimento das indústrias de cobre e elétrica se deu pela sua forte interdependência (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

Os autores descrevem o cobre como um recurso essencial adicional, porque apesar da sua aplicabilidade ser considerável, não era tão extensa quanto a do aço. O seu consumo aumentou devido as propriedades de resistência a corrosão e condutividade, que fizeram a indústria elétrica o demandar e ser responsável pela maior parte do seu crescimento de consumo (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

O desenvolvimento de novas formas de gestão e organização existiu para acompanhar a mudança técnica. Essas inovações eram mais vistas nas operações de larga escala o que facilitou o desenvolvimento de firmas gigantes. As inovações no campo de comunicação facilitaram os processos gerências de empresas mais complexas com várias unidades distintas de produção, dessa forma foi possível o controle das plantas fabris em localizações diferentes, assim como o recebimento de suprimentos e o escoamento da produção (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

O sistema antigo de gestão se baseava em transmitir responsabilidade do controle do chão de fábrica para um responsável ou supervisor, que normalmente era um funcionário com mais experiência. Enquanto isso, o novo modelo de gestão se baseava na divisão entre estruturas departamentais comandadas por gestores profissionais, modelo esse que foi desenvolvido em uma empresa ferroviária (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001). Para Taylor (1990), o essencial era que a responsabilidade do saber produtivo não estivesse mais nas mãos dos operários e sim dos gestores científicos.

Com o desenvolvimento do sistema de gestão através de departamentos, houve o crescimento da classe dos administradores profissionais, mas nem somente devido a esse fato, o crescimento se deu também pela evolução no sistema educacional. A concepção do Taylorismo nesse momento, aliado a outros modelos, foi capaz de promover a racionalização de várias inovações organizacionais. O modelo substituiu os anteriores baseados na especialização de várias funções de gestão e foi considerado um modelo baseado na burocracia (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

O crescimento de custos fixos, aliado ao uso do capital intensivo tornou necessário o controle do fluxo de materiais para sustentar o lucro. O setor de vendas passa a ser estruturado e organizado profissionalmente, sendo necessário engenheiros para fornecer os detalhes

técnicos no momento da negociação. O autor afirma, que nesse momento de revolução, as inovações no sistema de gestão foram tão importantes quanto as informações técnicas (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

No início do século XX a produção automobilística era caracterizada por pequenas firmas com o processo produtivo próximo ao artesanal. O avanço nas técnicas do processo de destilação e a disponibilidade de gasolina barata tornaram mais vantajosa a produção da maioria dos carros. O processo de produção em massa começou por Henry Ford em Detroit.

A indústria de óleo se originou para prover produtos como querosene e parafina, demandados para o uso na iluminação e aquecimento. Foram necessárias constantes inovações na metodologia de refinação para que a gasolina obtida fosse de boa qualidade e baixo custo para que fosse amplamente usada nos motores dos automóveis. Segundo os autores, a produção em massa do setor automobilístico em simbiose com a disponibilidade de petróleo barato capacitou a motorização do mundo no século XX (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001). Dathien (2003) expõe sobre a substituição do carvão pelo petróleo, devido a suas inúmeras qualidades em relação a eficiência e a menor quantidade necessária, o que impactava em um menor espaço para o acúmulo de combustível, promovendo uma economia que tornava o espaço liberado em um ambiente mais produtivo, como o exemplo dos navios a carvão que utilizaram do espaço extra para transporte de pessoas e carga.

O fato de que as patentes do processo de refinação do petróleo eram vendidas apenas com o direito de uso, porém sem nenhum tipo de passo a passo, implicou no desenvolvimento de processos alternativos como também na falência de diversas refinarias. Em 1938, um grupo das maiores empresas de refinaria se juntou para levantar recursos para Pesquisa e Desenvolvimento no setor com a colaboração de especialistas de diversas áreas, um dos maiores programas de pesquisa colaborativa antes da bomba atômica, que durou até 1942. O processo de desenvolvimento do fluido teve sucesso e demonstrou a aplicabilidade tanto no âmbito civil quanto no militar. Durante o período da Segunda Guerra, a pesquisa desenvolvida pelas grandes companhias com o objetivo de atender a demanda militar, trouxe inúmeras inovações no combustível de aviões, na gasolina e no diesel.

O transbordamento tecnológico afetou a indústria de bens duráveis através da reprodução da linha de montagem de outros setores, mas também desencadeou na divisão do trabalho e na queda de preços de componentes. Quando se trata dos componentes de matéria prima, pode-se citar o desenvolvimento de materiais sintéticos que pode gerar substituição do uso de insumos como couro, metal e tecido (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

### 2.3 Terceira Revolução Industrial

No início da era de tecnologia de informação, os *chips* de processamento com circuitos integrados tornaram-se um recurso que teve o preço em queda desde sua criação. O aprimoramento desses e outros componentes eletrônicos resultou em inovação em outros setores, não somente aquele ligado a eletrônica, como televisão e rádio. O uso agregado desses componentes, como válvulas e transistores fluiu para o desenvolvimento de circuitos integrados em alta escala, resultaram em aumento de *performance* em aparelhos e redução de custos. Nenhuma inovação até o momento havia sido capaz de reduzir os custos em uma dimensão tão grande quanto a dos *microchips*.

O desenvolvimento da indústria de microeletrônicos tornou possível a produção de máquinas de maneira mais eficiente, e dessa forma, possibilitou o advento dos computadores, que substituíram as máquinas eletromecânicas. O primeiro microchip foi criado no Texas e sua invenção pode ser atribuída tanto ao setor privado quanto ao governamental. Ele tornava o circuito integrado mais eficiente porque diminuía drasticamente a distância entre os circuitos resultando em aumento de velocidade para os aparelhos eletrônicos (SWART, 2013).

Assim como no caso da Indústria Elétrica, o desenvolvimento de componentes de circuitos eletrônicos foi moderado na primeira metade do século XX, só tomando escala nos EUA influenciado por pesquisas de cientistas europeus. O apoio entre cientistas e engenheiros, em culturas com instituições científicas já estabelecidas apoiou o desenvolvimento da tecnologia da informação. Por seu grande potencial estratégico, a indústria de comunicação foi incentivada a pesquisa e desenvolvimento por vários governos (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001). Estados Unidos e Japão se tornaram grandes produtores de microchips com investimentos consideráveis em pesquisa, enquanto o primeiro focou em aprimorar tamanho e velocidade enquanto o segundo buscou o desenvolvimento de um produto inteiramente novo.

O crescimento de *performance* e a queda de custos foram permitidos pela combinação de evolução técnica e de processos, a produção ganhou escala reduzindo ainda mais os custos e dando vantagem a grandes empresas. A indústria por muito tempo foi dominada pelo mercado norte americano, justificada pela intensa pesquisa em semicondutores que derivou em inovações nos *chips*, entretanto, por volta de 1980, o mercado japonês de oferta de semicondutores se torna predominante. As constantes pesquisas nos EUA para se tornarem mais competitivos desenvolveu o primeiro microprocessador, que transformou o mercado de semicondutores e de computação, uma vez que passa a ser possível a baixo custo existir um computador em um *chip*. A indústria de computadores e a de telecomunicações crescem e

passam a ser interdependentes, demandando muito da indústria de microeletrônicos, porém essa interdependência gerou tanto cooperação quanto competição dentre as áreas (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

Na metade do século XX o uso de computadores se estende e na década seguinte já se faz presente em escritórios e com uso em expansão no setor industrial. A construção de design de microcomputadores fez avançar seu uso na indústria, ocorrendo no desenvolvimento da automatização da manufatura com softwares e estações de trabalho. Todavia, de acordo com o autor, o desenvolvimento do microprocessador que possibilitou a construção de microcomputadores foi a inovação com a maior relevância, isso porque a invenção do computador pessoal foi capaz de impactar indústria, setor de escritórios e para o próprio uso pessoal. Se antes as grandes máquinas eram voltadas para o uso em departamentos específicos de escritórios, com os microcomputadores e seu acesso mais barato, firmas de todos os portes, escolas e uso científico passaram a ter acesso (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

Em Freeman e Louçã (2001) o momento econômico vivido no final da década de 70 de problemas sociais, altas taxas de desemprego e poluição, questões inflacionárias e desaceleração do crescimento espalhou a ideia da mudança tecnológica como causadora dos problemas mencionados. Foi só com o desenvolvimento dos microeletrônicos, microcomputadores e inovações em telecomunicações com uma forma de produção eficiente que foi capaz de reverter essa visão e assumir o posto de variável chave de crescimento. Silva, Silva e Gomes (2002) expõe a outra visão, de que as facilidades criadas pela tecnologia poderiam ser capazes de fazer as máquinas trabalharem enquanto os indivíduos podem se dedicar em outras atividades. Entretanto o que se viu foi uma crescente exigência de competência dos trabalhadores, que não condiziam com as faixas salariais aprofundando a divisão das classes.

Assim como as outras indústrias da terceira revolução industrial, o desenvolvimento da indústria de telecomunicações só foi possível por inovações ocorridas muito antes, como o advento do telégrafo elétrico, seguida do telefone. Porém, com a criação da válvula eletrônica permitiu que as ligações no sistema telefônico pudessem ser de longa distância, colocando o telegrafo em segundo plano. Com o crescimento da indústria rapidamente houveram lacunas de produtividade pela transmissão e troca nas ligações, além disso, as válvulas queimavam rápido e utilizavam de muita energia, o que exigiu do setor uma série de inovações em eletromecânica para suprir esses gargalos.

A partir de então as criações na indústria eletrônica influenciaram o avanço e a utilização de tecnologia tanto na área de telecomunicações quanto de computadores. Com a

especialização, as principais empresas de telecomunicações e de microeletrônicos lançaram um número de patentes considerável, fazendo com que, empresas que entrassem no setor não durasse (FREEMAN E LOUÇÃ,2001). Para Mowery e Simcoe (2002), essas inovações na área de tecnologia da comunicação, engenharia de software, semicondutores unidas foram capazes de criar base para que o sistema de internet fosse criado. O que beneficiou diversos setores de serviços e industriais e além de gerar inovações no sistema de gestão dessas empresas.

De forma simultânea com o desenvolvimento da indústria de telecomunicações houve a necessidade de aperfeiçoamento do sistema de cabos, originalmente feitos de cobre, para que pudessem transmitir de forma mais eficiente. A criação da fibra ótica permitiu expandir o sinal de telefonia digital, assim como aumentar a velocidade de entrega de dados. Quanto a tecnologia sem fio, pode-se citar o desenvolvimento dos celulares e da tecnologia por satélite vista no início dos anos 2000, observados junto a uma mudança cultural, técnica e política. (FREEMAN E LOUÇÃ, 2001).

A internet foi desenvolvida no início dos anos 60, com o uso civil sendo permitido com o seu avanço. A invenção foi aceita rapidamente pela sociedade, e seu uso passa ser visto no universo de negócios e a faixa de serviços disponíveis se estende (FREEMAN E LOUÇÃ,2001). Em Groumpos (2021), desenvolvimento da internet também foi capaz de gerar inovações incrementais em outros produtos, transformando muitos itens analógicos em digitais que passaram a usar a conexão de internet como fonte de dados. Na indústria, processos mecânicos também puderam ser alterados com auxílio do digital.

Para Freeman e Louçã (2001), o advento dos computadores foi capaz de impactar também a estrutura organizacional do trabalho e os métodos produtivos. As organizações que antes adotavam o modelo Fordista, puderam ter acesso a computadores que auxiliam na velocidade da informação, sendo capaz de enxugar alguns processos e tornar outros desnecessários. A evolução para os computadores pessoais revolucionou a estrutura e intensificou o processo de migração para o novo modelo de gestão. Os autores ainda afirmam, o que o uso B2B da Internet gerou um dos maiores ganhos de produtividade daquele momento. De acordo com Silva, Silva e Gomes (2002) a integração de microcomputadores no processo produtivo foi capaz de gerar respostas mais rápidas e dessa forma, contribuiu para pra os modelos Fordista e Taylorista fossem postos de lado. Nesse momento, surge o Toyotismo que incentivava que a hierarquia, base dos sistemas anteriores, fosse enxugada e o colaborador pudesse ter mais iniciativa.

## A INDÚSTRIA .

De acordo com Kagermann et al (2013) o termo Indústria 4.0 surgiu na Alemanha em 2011 para nomear a iniciativa estratégica do plano desenvolvimento industrial. Por ser um país competitivo no setor de manufatura o objetivo era fomentar pesquisa e planos de ação para inovação no sistema industrial e de gestão. Enquanto nas revoluções anteriores os objetos principais eram a mecanização das fábricas, a eletricidade e a tecnologia da informação, a Indústria 4.0 traz o conceito de *Internet* das Coisas. O autor cita como uma das principais características do novo modelo a capacidade de integração entre o trabalho humano, as máquinas e os recursos, que passam a se comunicar de maneira natural e fluída. Devido a necessidade de comunicação entre si, o processo de implementação da indústria 4.0 não pode ocorrer de maneira isolada, mas de maneira em que várias áreas sejam participativas do processo.

A eficiência da Indústria 4.0 está relacionada com a descentralização de controle dos processos que é permitida pelo sistema de máquinas com controle em tempo real conectado com o trabalho de pessoas. Toda a planta é controlada digitalmente, a conexão entre pessoas e máquinas permite que o sistema funcione de maneira autônoma, o que acarreta em um tempo de resposta mais veloz e eficaz, assim como o próprio auto ajuste dos aparelhos. O tempo de resposta e a capacidade de auto ajuste, alinhado com a proximidade do consumidor final permite as fábricas a produção de produtos mais personalizados que acompanhem as alterações de preferencias dos demandantes criando valor agregado, produzindo mais em menos tempo. A digitalização permite a integração de toda a cadeia de valor (SEBRAE, 2018).

Schwab (2016) desenvolveu uma das principais obras sobre o tema, agregando as características da Revolução 4.0 com seus impactos. O autor argumenta que a Indústria 4.0 tem a sua base edificada sobre a tecnologia da informação e a *internet*, o que poderia se assemelhar a Terceira Revolução Industrial, entretanto, o que torna a atual distinta é a capacidade de velocidade da internet que permite respostas mais rápidas, a eficiência em tamanho e velocidade de *chips* e sensores, *softwares* inovadores, sistemas integrados e a capacidade de aprendizado das máquinas, a inteligência artificial. Além disso, Schwab ressalta que a Indústria 4.0 vai além do sistema industrial produtivo de tecnologia, já é possível ver em outras áreas conquistas inovadoras que fazem parte dessa revolução, como os avanços na área da saúde em sequenciamento genético, a biotecnologia, nanotecnologia, fontes de energia renováveis, que progrediram sob os pilares de integração da Indústria 4.0 que é a comunicação entre máquina, indivíduo e biologia.

Devido a globalização, outra característica que se destaca na Indústria 4.0 é a possibilidade de dispersão de tecnologias de uma forma mais veloz que quando comparada as revoluções anteriores (SCHWAB, 2016).

Kagermann et al (2013) citam os benefícios do pleno uso da Indústria 4.0 como a flexibilidade que o processo produtivo permite, tornando mais ágil e permissivo de mudanças, além disso, a flexibilidade torna possível a entrega de produtos mais personalizados ao consumidor final, com alterações até o último momento. A transparência e a criação de dados em tempo real, forma uma base, que auxilia no processo de tomada de decisão, tornando mais assertiva. Aprimora a produtividade ao usar os recursos de maneira eficiente, produzindo mais com menos. Novos serviços podem passar a ser desenvolvidos e ofertados, criando oportunidade de emprego nas novas vagas. Além disso, o autor aborda como a Indústria 4.0 será capaz de criar equipes mais diversas demograficamente, com pessoas de diferentes idades, gênero e cultura, para criar vantagem através das múltiplas ideias distintas. Cita também, a possibilidade de existir uma maior flexibilidade entre trabalho e vida pessoal, de uma forma mais equilibrada.

Do ponto de vista do consumidor, além da personalização onde a máquina já recebe diretamente as informações necessárias para produção, o produto entregue poderá ter sensores que enviam em tempo real informações sobre consumo, desempenho e caso surja a necessidade, manutenção (COLLABO, 2022). Daemrich (2017) descreve sobre as alterações do comportamento de consumo na Quarta Revolução Industrial que passa a valorizar não somente a qualidade dos produtos e serviços adquiridos, mas a experiência envolvida durante o processo.

A associação de novas tecnologias no processo produtivo se torna essencial para a competitividade da empresa, e sua manutenção no mercado. Uma vez que a eficiência cresce com a adoção de inovações, reduzindo custo e aumentando a produtividade, não se adaptar pode tornar se motivo de grandes dificuldades. A velocidade resultada da integração entre os processos físicos e digitais, o uso de simulações virtuais e a capacidade de prevenir problemas antes das criações de protótipos cria respostas rápidas para as inovações de produtos que chegam ao mercado, o que faz com que produtos e serviços inovadores cheguem mais rápidos ao consumidor final (CNI, 2016).

Para Bruno (2016), a Indústria 4.0 fará com que a produção se torne como uma espécie de organismo semiautônomo que responderá quase que instantaneamente as necessidades do consumidor final. Para que isso possa funcionar, será necessário vencer uma série de barreiras estruturais e culturais e enfrentar as questões que estarão relacionadas a cadeia de valor, a trabalho e a automação. As proporções que a essa revolução vai tomar ainda são incertas, dado



o seu caráter recente, porém pode ser indicado o perfil de adaptação constante para ajustes e melhorias.

### 3.1 *Internet Of Things*

Uma rede de conexão onde os objetos identificados podem interagir em âmbito mundial, a *Internet* das coisas é capaz de conectar o meio físico com o meio digital, permitindo a conexão entre pessoas e dispositivos a qualquer momento de qualquer lugar. Com o passar das últimas décadas os dispositivos se tornaram cada vez mais inteligentes, sendo menores e com sistemas mais avançados para permitir essa conexão de qualquer lugar gerando comunicação, interação e criação de dados em tempo real (LAMPROULOS, SIAKAS, ANASTASIADIS, 2019).

A aplicabilidade da Internet das Coisas transita entre o uso doméstico e pessoal e o uso comercial e industrial. Quando se trata de parte industrial, a *IoT* se trata de sistema capaz de criar uma rede que conecta os processos com as pessoas e as máquinas, não a aplicação de tecnologias isoladas. O uso industrial também se agrega a aplicação das outras tecnologias da Indústria 4.0, conectando sensores, softwares e colaboradores para aprimorar os processos e gerar eficácia (LAMPROULOS, SIAKAS, ANASTASIADIS, 2019).

Lee e Lee (2015) classificam a Internet das coisas como uma das áreas mais importantes da tecnologia no futuro. Isso porque o recurso foi capaz de transformar desde as linhas de produção de uma empresa, até o cotidiano dentro de uma casa. Além disso, os autores ainda citam que não somente a indústria manufatureira se beneficia de uma linha de produção conecta, como também o setor de serviços consegue verificar um aumento de receita quando aplica esse tipo de tecnologia, a citar a Disney. A pesquisa dos autores ainda mostra que o recurso já está inserido nos mais diversos nichos industriais que já conseguem ter resultados mensuráveis sobre a adoção. Mesmo assim, a expectativa para os próximos anos que é novas ondas tecnológicas aprimore a Internet das Coisas e beneficie a indústria.

A primeira conferência mundial a tratar do tema ocorreu em 2008 em Zurich, Suíça, porém as raízes da tecnologia datam da Segunda Guerra Mundial, onde as redes de rádio frequência se conectava com outros objetos, no caso aviões, para identificação de possível aproximação inimiga. Pode se dizer também, que a Internet das Coisas utiliza das tecnologias para entregar uma nova funcionalidade, não sendo em si, uma, o que a torna fortemente associada as outras ferramentas da Indústria 4.0, como por exemplo *Big data*, pela geração e processamento de dados. Com isso, o movimento do mercado que é visto, são as gigantes da tecnologia, Intel, Cisco e outras, criando produtos que sejam compatíveis com esse método.

Para garantir a conexão e a compatibilidade entre diversos sistemas de Internet das coisas distintos, o movimento internacional tem sido o de criação de normas entre vários institutos para guiar o futuro da *IOT* (FACCIONI FILHO, 2016).

### 3.2 *Big Data*

O crescimento massivo do volume de dados originado da internet das coisas e de outras fontes gerou a necessidade do desenvolvimento de ferramentas que sejam capazes de lidar com dimensão desses dados, que são chamados de *Big Data*. Em um ambiente altamente competitivo, a tomada de decisão baseada em dados se torna um diferencial, e quanto maior a quantidade desses dados, maior pode ser a assertividade, tornando essencial a criação de ferramentas para a manipulação de big data em grande velocidade (GOKALP *et al*, 2016).

A criação de Big Data também está atrelada ao aumento do uso de fontes produtoras de dados, como o acesso a dispositivos eletrônicos com acesso à internet. O valor da *Big data* vai além dos processos internos de uma firma, através dele é possível encontrar padrões, ser usado na medicina para auxílio de tratamento de doenças, na análise de desempenho esportivo, descoberta de sazonalidades e de preferência de usuários. Entretanto, *big data* também pode enfrentar certas dificuldades devido ao tamanho e a qualidade da base de dados. Por ser um volume expressivo, o crescimento de dados pode se dar de maneira desorganizada e pesada, sendo necessárias ferramentas para lidar com a dimensão dos dados. A origem pode se dar tanto por dados da navegação em internet, quanto direto por máquinas e sensores em uma empresa (GALDINO, 2016)

Segundo Raguseo (2018), para que o uso de big data se torne uma vantagem competitiva, é necessário que as empresas se adaptem para possuir ferramentas adequadas e um sistema de gerenciamento capaz de lidar com o volume de informações. Em seu estudo, o autor encontra os principais riscos e benefícios da adoção de big data por uma firma. Do primeiro caso pode se citar o aumento de produtividade, redução de custos operacionais, economia na cadeia de suprimentos e maior retorno de títulos financeiros. Em relação aos riscos, ao adotar a tecnologia a empresa precisa focar esforços na questão de privacidade dos dados e de segurança.

A criação de dados em tempo real é capaz de apoiar no processo de decisão estratégica através de algoritmos que são capazes de segmentar tipos de clientes, auxiliar no processo de precificação e de marketing direcionado. Em setores de alta concorrência a análise de big data se torna um diferencial, o trabalho de Mariani e Fosso Wamba (2020) estuda como as avaliações de produtos, disponíveis em grande escala na internet, podem auxiliar o setor de bens de

consumo, mercado caracterizado por ser dinâmico, a ter respostas mais rápidas as mudanças de padrão de consumo.

### 3.3 *Artificial Intelligence (AI)*

De acordo com Wang (2019) a primeira vez que o termo Inteligência artificial aparece foi próximo de 1950, pouco tempo depois do advento do computador, uma vez que os pesquisadores no campo computacional observaram que as máquinas criadas poderiam ir além de cálculos matemáticos. Segundo o autor pelo próprio termo ser algo vago, o que se vê é uma grande subdivisão nas pesquisas relacionadas ao tema, como *Machine Learning* e Robótica, tornando os pesquisadores mais próximos das subdivisões do que do tema principal de inteligência artificial. Na obra, o autor discute a definição ampla que a inteligência artificial possui desde seu desenvolvimento. Ao longo da sua evolução o termo é definido elucidando apenas a semelhança entre a mente humana e a máquina, porém deixando de lado as características mais profundas dos dois lados. Por isso, o trabalho foca no desenvolvimento do conceito de inteligência como a capacidade de adaptar-se para que o termo possa ser explicado.

A temática da Inteligência artificial traz consigo a ideia de um agente inteligente, que recebe estímulos do ambiente e a partir deles é capaz de sequenciar respostas lógicas tal qual lhe foi apresentado, reproduzindo a sequência (RUSSEL E NORVIG, 2013).

A *AI* esteve no campo de pesquisas durante quase 30 anos e foi a partir de 1980 que ela passa a ter aplicabilidade industrial em larga escala, além disso Russel e Norvig (2013) atentam para o desempenho de *AI* em relação ao crescimento das bases de dados, que quanto maiores mais bem-sucedido o resultado será. Nesse sentido, Helm *et al.* (2020) falam sobre a aplicabilidade de *AI* integrada com Big Data em algumas empresas, dada a capacidade de leitura de grandes dados em tempo real para recomendação personalizada a usuários finais.

O trabalho de Acemoglu, Autor, Hazel e Restrepo (2022) buscou compreender o impacto do desenvolvimento de Inteligência Artificial em empregos. Nesse caso o projeto se baseou em analisar firmas que utilizam *AI* em vez de firmas produtoras de *AI*. Os autores analisaram esse impacto a partir das vagas online disponibilizadas nos Estados Unidos cuja descrição sinalizasse algum tipo de relação de habilidades exigidas para *AI*. As vagas com atividades relacionadas a inteligência artificial começaram a surgir em 2010, porém seu aumento significativo foi a partir de 2015. Foi observado que, nessas novas vagas as habilidades exigidas mudaram, sendo as anteriores cada vez menos procuradas e o surgimento de novas competências compatíveis com o tipo de tarefa que demanda as vagas desse tipo de tecnologia.

Os autores dissertam sobre as possibilidades de aumento de contratações devido a aplicação de IA nas firmas. Esse aumento pode ser gerado pelo aumento de produtividade dos trabalhadores o que estimula novas contratações, ou pelo aumento de produtividade ser considerável a demanda por atividades manuais não diretamente relacionadas a inteligência artificial crescer. Outro resultado encontrado nas firmas com possibilidade de uso de *AI* é uma menor contratação no período de expansão da inteligência artificial. Por fim, os autores concluem que, a pesquisa foi realizada em vagas com alta correlação de exposição a *AI*, e que no mercado de trabalho estadunidense no geral, o impacto ainda não é considerável (ACEMOGLU, AUTOR, HAZELL e RESTREPO, 2022).

### 3.4 CPS

O conceito de *CPS*, ou *cyber physical system*, foi introduzido em 2006 e pode ser definido por sistema que pode estar tanto no âmbito digital quanto no físico, havendo uma troca contínua de informação entre as duas esferas. O sistema físico recolhe as informações necessárias que através de computação são inseridas no meio digital, onde terceiros são capazes de interagir através da comunicação e alterar o ambiente onde o sistema físico está inserido (OKS *et al*, 2022).

Segundo Costa (2017) os sistemas *cyber* físicos funcionam como auxiliares, o que são chamados de sistemas embarcados, isso porque ele não funciona sozinho e sim atrelado a outro produto ou equipamento para processamento de informação.

A aplicação de CPS depende de três fatores: o técnico, o humano e o organizacional. O ponto de vista técnico, está atrelado com softwares e hardwares que sejam adequados à estrutura física e digital já existente. A queda de custos relacionadas a componentes e a hardware permitiu o uso mais extensivo de CPS na última década. A dimensão humana se trata de mão de obra qualificada para interagir com os sistemas físicos e digital. A questão organizacional trata do propósito de aplicação de CPS nos processos da firma (OKS *et al*, 2022).

CPS é representado pelo fundamento de duas novas tecnologias: a internet com conexão veloz que permita troca de dados em tempo real, e a capacidade de construção de uma base de dados complexa no sistema digital, onde o seu foco está na interdependência entre o espaço físico e o digital. Além disso, os autores indicam que CPS se trata do conjunto de sistemas embarcados, sistemas em tempo real e sistema com sensores. No trabalho, os autores pesquisaram projetos na literatura que abordassem CPS atrelados as suas áreas de aplicação e encontram 10 principais áreas: agricultura, educação, energia, monitoramento ambiental,

sistemas médicos, controle de processos, sistemas de transporte, *smart home*, manufatura *smart* e segurança (CHEN, 2017).

O desenvolvimento do setor tecnológico permitiu que nos últimos anos as ferramentas associadas a CPS se tornassem mais acessíveis. Isso impulsiona a empresas adotarem as ferramentas, se tornarem mais competitivas e indiretamente incentivarem um uso cada vez maior de tecnologias de ponta ao tornarem as fábricas *smart* e ao utilizar outras tecnologias correlacionadas com o sistema cyber físico como Big Data para análise dos dados que são gerados ao longo do processo produtivo (LEE. BAGHERI, KAO, 2014).

As novas tecnologias desenvolvidas na Indústria 4.0 possuem a capacidade de alterar a relação entre emprego e tecnologia vista em outras Revoluções Industriais, o que será apresentado no próximo capítulo.

## A RELAÇÃO ENTRE EMPREGO E TECNOLOGIA

A Primeira Revolução Industrial trouxe consigo o temor que o progresso técnico poderia ocasionar em perda de emprego. O medo era que a tecnologia e as máquinas substituíssem o capital humano, o que ocasionou na época movimentos como o Ludismo, que quebrava as máquinas em forma de protesto para manifestar o medo de perda de empregos. O tema do impacto do progresso técnico em emprego foi discutido por autores clássicos e segue sendo tema de pesquisa até os dias de hoje.

A inovação pode criar novas vagas diretamente relacionadas a nova tecnologia ou através do aumento de produtividade que aumenta a demanda impactando também os empregos não diretamente relacionados. Do ponto de vista da demanda, o aumento de produtividade ocasionado pelo progresso técnico pode diminuir custos e preços finais ao consumidor, o que torna passível o aumento da demanda por trabalho (HOTTE, SOMERS E THEODORAKAPOULOS, 2022).

Segundo Mattoso (2000), a visão sobre o impacto da inovação em emprego pode variar durante períodos de crescimento e de recessão. No primeiro, a inovação seria capaz de gerar novos empregos, no segundo, a mesma seria responsável pela substituição do trabalhador gerando desemprego. A inovação tecnologia pode ser capaz de, ao mesmo tempo, criar empresas, produtos, setores enquanto outros são destruídos. Para o autor, o progresso técnico é capaz de mudar principalmente a maneira como o trabalho acontece, as relações, o perfil do trabalhador e divisão do trabalho, portanto não necessariamente capaz de afetar o resultado em emprego.

Para Benavente e Lauterbach (2008) a visão mais intuitiva é que inovação e emprego sejam substitutos, porém na visão de longo prazo o efeito é, de fato, não negativo. Os trabalhadores depois de séculos de inovação tecnológica trabalham hoje em produtos que no passado seriam improváveis, o nível emprego cresceu e se diversificou. A inovação em processo pode aumentar a produtividade de maneira que menos trabalho seja necessário a um certo nível de produção, enquanto a inovação em produto pode gerar impacto direto positivo a firma em que foi introduzida, mas gerar mudanças não positivas em trabalho na concorrência do setor.

Vivarelli (2014) afirma que os trabalhos sobre o tema nas últimas décadas buscam compreender e elucidar sobre o efeito compensatório da inovação em emprego, porém as pesquisas mais recentes procuram diferenciar o impacto dos tipos de inovação, de processo ou de produto e seu impacto sobre o emprego, assim como as alterações qualitativas no trabalho. No primeiro caso, o autor conclui que inovações em processo geram economia de trabalho

enquanto inovações em produto tem natureza pró trabalho. No que tange o efeito compensatório, Vivarelli (2014) conclui que pode existir, porém a sua proporção em relação aos empregos perdidos vai variar de acordo com setor, elasticidade da demanda, nível de competição do mercado, o que pode acarretar em compensação parcial e não completa. O autor também menciona sobre os resultados positivos da relação entre trabalho e progresso técnico em projetos de microeconometria que utilizam de inovação de produto e pesquisa e desenvolvimento como *proxies*. A mudança qualitativa se dá através do viés de habilidades exigidas pelas novas vagas.

No caso brasileiro, Kupfer (2005) analisa o processo de abertura econômica e sua relação com o progresso técnico. Para o autor, em casos de rápida liberação econômica, o processo de modernização se dará pela forma de enxugamento de produtos e processos, sendo no longo prazo, o aumento de produtividade contínuo insustentável pela ausência de infraestrutura que possibilita o investimento em pesquisa. Como resultado, as empresas buscam o corte de gastos. Para o autor, a substituição de empregos causada pela inovação no Brasil possui impacto negativo. O indivíduo que tem o seu trabalho substituído durante a atividade de modernização passa um processo chamado precarização do trabalho, onde a substituição se dará em um subemprego aumentando a informalidade brasileira, situação que também ocorreu nos Estados Unidos na década de 1980. Para vencer o problema é necessário que o crescimento da produtividade durante o processo de modernização seja sustentável através da pesquisa constante, do amplo uso de tecnologias para apoiar a expansão das empresas.

Cirera e Sabetti (2019) realizaram um estudo para compreender o impacto da inovação no crescimento das firmas e em emprego. Para isso, foi usada uma base com dados de aproximadamente 15 mil firmas de todo o mundo para estimar usando variáveis de crescimento de vendas e de emprego no período, onde a inovação é expressa pela venda de novos produtos ou produtos melhorados. Os autores consideram que analisar o impacto de curto prazo de inovação no resultado financeiro das firmas e principalmente em emprego é capaz de dar direcionamento político para o desenvolvimento de medidas em países que não estão tão próximos da fronteira tecnológica. A pesquisa conclui que a inovação em produtos é capaz de incrementar o nível de vendas, que dessa forma gera incremento em emprego, porém esse incremento pode variar de acordo com o nível de renda do país. Em países de baixa renda, onde as inovações em suma maioria são incrementais, o impacto de incremento de emprego por aumento de vendas é maior que um país de média ou alta renda, que consegue aumentar a produtividade sem necessariamente subir o nível de trabalho.

Para Vieira, Ouriques e Arend (2020), o Brasil está em processo de desindustrialização prematura desde 1980, o que demonstra a estagnação na Indústria 2.0 e a fraco desenvolvimento da tecnologia da informação da Indústria 3.0. O fraco progresso do desenvolvimento da indústria de microeletrônicos no Brasil se deu pela ausência de perfil inovador dessa indústria que, ao haver a abertura comercial no início dos anos de 1990 não foi capaz de competir com o produto externo. Quando mencionado o investimento direto estrangeiro, no caso brasileiro, no mesmo período, ele foi totalmente focado e direcionado para a indústria 2.0 e de recursos naturais.



#### 4.1 O Impacto da Quarta Revolução Industrial no Emprego

A relação entre emprego e tecnologia sempre foi debatida desde a Primeira Revolução Industrial, entretanto as últimas inovações da indústria 4.0 e seu possível impacto na força de trabalho, fez ressurgir os questionamentos acerca do futuro do emprego. Nesse ponto, a consultoria McKinsey lançou sua pesquisa buscando responder dois questionamentos: se haverá postos de trabalhos suficientes para o pleno emprego dado os avanços na área de robótica e inteligência artificial e quais serão esses trabalhos e a habilidades necessárias e como impactará na remuneração dos trabalhadores (MANYIKA *et al*, 2017).

Para isso, a consultoria analisou em 46 países que juntos constituem a representação de 90% do PIB mundial, o potencial de automação de atividades de trabalho atuais até 2030 e com isso a futura demanda por trabalho. A análise foi feita observando o número de horas que poderiam ser substituídas, indicando os setores da indústria e os cargos de atividades que poderiam ser mais ou menos impactados pelo processo de automatização. Também foi considerada as tecnologias atuais em um cenário de maior integração com soluções holísticas, essencial para a substituição dos postos de trabalho (MANYIKA *et al*, 2017).

A tendência é que até 2030, alavancado por tecnologias como a robótica e a inteligência artificial, 60% das ocupações atuais serão afetadas por essas tecnologias, com pelo menos 30% atividades substituídas pelo processo de automatização. A intensidade desse processo depende de cinco variáveis: viabilidade técnica, custo de desenvolvimento e implantação, conjuntura dos mercados, os benefícios econômicos e *compliance*. O potencial é que pelo menos metade das atividades de trabalho hoje realizadas tenham potencial para substituição, o cenário intermediário da pesquisa, entre o mais veloz e o mais lento, aponta que até 15% das atividades de trabalho atuais poderão ser automatizadas. O número de trabalhadores que precisarão trocar de ocupação dada a substituição total pela automatização, chega ao número de 14%, 375 milhões de trabalhadores no cenário mais veloz e 3%, 75 milhões no cenário intermediário (MANYIKA *et al*, 2017).

Dentro dos seis países analisados a fundo na pesquisa, o número de horas passíveis de automação varia, Japão (26%), Alemanha (24%), Estados Unidos (23%), China (16%), México (13%) e Índia (9%). Os autores explicam o nível de salários pode impactar a atratividade ao processo de implantação da automação, isso porque altos níveis salariais tornam mais atrativo o processo (MANYIKA *et al*, 2017).

A substituição do emprego vai impactar de maneira diferente as áreas de acordo com o nível de escolaridade. Empregos que envolvem esforço físico como trabalhadores do setor de

produção de uma fábrica, trabalhadores de manutenção e limpeza, vagas relacionadas a coleta e processamento de dados são mais suscetíveis a substituição que ocupações como médicos, profissionais de cuidados de saúde, engenheiros e especialistas de negócios. O potencial de automação de atividades de um trabalhador com nível médio de ensino é de 55%, enquanto um com graduação o valor cai para 22%. Vagas serão substituídas pelo processo de automação e os trabalhadores que terão que trocar suas ocupações. Com isso a situação deverá ser pauta de políticas de ajustamento, pois no médio-prazo o desemprego poderá subir. No longo prazo a situação será ajustada, dada as novas vagas criadas pela inovação tecnológica (MANYIKA *et al*, 2017).

Estima-se que 250 milhões de empregos poderão ser criados direta e indiretamente, e a pesquisa menciona alguns setores que possuem potencial para isso. Primeiro, os autores citam a capacidade que o aumento do PIB per capita possui de gerar empregos, principalmente em economias emergentes, devido ao aumento de consumo criado pelo mesmo. O envelhecimento da população também é capaz de reforçar o nicho de cuidados com a saúde da terceira idade, população acima de 65 anos, nesse caso, não é um aumento significativo em países em desenvolvimento cuja população jovem sobrepõe a de idosos, porém em casos como o Brasil, é possível existir um reforço na demanda por emprego nessa área. O investimento em construções e infraestrutura é capaz de atuar na geração de emprego mesmo em dois cenários, se os níveis de obras se mantiverem no ritmo de crescimento atual e também se houver um incremento nesse número. Novas tecnologias associadas a geração de energia e criação de energia sustentável tem crescido nos últimos anos e a previsão é que com as metas de energia limpa, pela questão ambiental, seja um setor que crie novos postos de trabalho, indiretamente a transição entre os modelos de produção de energia demandará infraestrutura, criando empregos na construção, instalação e na manufatura. Os autores também citam o trabalho que é feito hoje de maneira doméstica como cuidar de crianças, cozinhar e as tarefas de limpeza, exercido em suma maioria por mulheres, a passar por um processo chamado de *marketization*, que consiste em levar essa oferta de trabalho ao mercado e torna-la passível de remuneração (MANYIKA *et al*, 2017).

Empregos criados irão variar de acordo com a nação, pois existem quatro fatores decisivos para a geração e para a taxa de substituição. O nível de salário de um país é uma variável relevante, visto que o processo de automação acontece de forma mais veloz nessas nações. O aumento de demanda, em uma economia crescente, com o PIB em expansão, também é capaz de gerar incremento na criação de emprego. A composição demográfica da população, uma nova geração de trabalhadores é capaz de pressionar por aumento dos empregos formais,

uma população em envelhecimento pode diminuir a demanda e impactar no processo de automação. A composição dos setores na economia de cada local, um país cujo setor chave da economia não tem potencial para automação, não terá o mesmo impacto de países cuja principal atividade é altamente passível de automação (MANYIKA *et al*, 2017).

Mesmo com a substituição ocasionada pela automação, a pesquisa sugere que em 2030 a criação de empregos será maior que as vagas substituídas. Em economias desenvolvidas o longo prazo alcança o pleno emprego, entretanto o cenário de ajustamento de médio prazo é de crescimento de desemprego que caminha para um equilíbrio com ajustes salariais, entretanto se a velocidade com que essas economias forem capazes de reabsorver esses trabalhadores ao reemprego for rápida, a taxa de desemprego não será tão impactada. Os salários referentes ao processo de automação, mesmo com o aumento produtividade, sofrerá impacto pela taxa de reemprego. Em economias em desenvolvimento, o potencial de automação é menor, portanto, o impacto da substituição do trabalho será, por conseguinte, menor, não criando grande impacto nos níveis de desemprego (MANYIKA *et al*, 2017).

Em relação ao perfil do trabalhador e as competências e habilidades que serão exigidas nos novos cargos do profissional da indústria 4.0 o que será visto é a priorização de habilidades sociais, emocionais e de lógica. Mesmo com a força das *soft skills*, o estudo indica que as novas vagas a serem criadas terão uma exigência de um nível maior de escolaridade do que aquelas que serão substituídas. Em economias já desenvolvidas, a tendência é que os empregos que necessitam de um nível de escolaridade de ensino médio ou menos sejam mais suscetíveis a substituição por automação. Em economias em desenvolvimento, o crescimento absoluto de empregos se dá em vagas de ensino médio ou técnicas, mesmo que haja o crescimento de postos de trabalho a nível superior, a massa de crescimento se concentra nas vagas anteriores. Ainda no tema habilidades os autores reforçam a necessidade de treinamento a aqueles que sofrerão do processo de substituição pela automação para trocarem de categoria profissional e serem reinseridos no mercado de trabalho. Os níveis salariais vão variar de acordo com a maturidade da economia, em países desenvolvidos ocupações de alto salários serão as que terão mais espaço para crescer enquanto países em desenvolvimento tem potencial de crescimento de vagas de salário médio (MANYIKA *et al*, 2017).

Arntz, Gregory e Lehmer (2017) em seu artigo aponta como característica dessa nova revolução industrial a capacidade de ser aplicada de forma mais veloz quando comparada as anteriores, o que pode acarretar em um menor tempo de ajuste para as firmas. Com isso, o estudo busca analisar o efeito da aplicação das tecnologias completamente disruptivas, o impacto direto da aplicação da adoção através de uma pesquisa desenvolvida por eles e

realizada nas firmas, e por fim qual tipo de tecnologia impacta cada ocupação. A pesquisa realizada com 2032 empresas na Alemanha entre 2011 e 2016, levantou sobre os investimentos em tecnologia e detalhes dos equipamentos tecnológicos da empresa para depois cruzar com os dados de previdência social dos trabalhadores. O resultado é que o volume entre criação de empregos e destruição parece se equilibrar, onde certos cargos são beneficiados pela automação enquanto outros são substituídos, chegando à conclusão que a estrutura de empregos de uma firma é impactada através da demanda por produto.

Sumer (2018) realizou uma análise no mercado de trabalho turco para compreender o impacto da Indústria 4.0 em emprego. Primeiramente, o autor traz o conceito de atividades manuais e abstratas. Atividades abstratas são as que envolvem resolução de problemas, criatividade e julgamento. Atividades manuais são as que envolvem interação entre pessoas. De acordo com Sumer (2018) apud Autor and Dorn (2018), as atividades mencionadas por suas características de interação pessoal, julgamento e criatividade estão menos suscetíveis a serem automatizadas e substituídas por tecnologia. O autor realizou a análise de quatro categorias de ocupações em uma série de dados de 2010 a 2017. Os dados mostraram que enquanto em alguns grupos a tecnologia gera uma grande substituição do emprego, em outros grupos esse valor é limitado.

## 4.2 O Brasil na Revolução 4.0

No contexto brasileiro a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2016) aponta os desafios para a Indústria 4.0 no Brasil. O trabalho fala principalmente sobre como a difusão tecnologia não ocorre de maneira homogênea entre os setores e a necessidade de políticas públicas que sejam adaptadas para essas empresas que assumem velocidades diferenciadas de aplicação tecnológica. O trabalho também gera propostas dentro de 7 dimensões que são consideradas prioritárias para o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil.

Segundo estudo de 2016 do CNI, apenas 58% das indústrias brasileiras reconhecem a importância da digitalização, porém nem metade a utiliza efetivamente. Esse dado reflete a situação da indústria brasileira perante a Revolução 4.0. A atenção inicial tem sido direcionada no uso de tecnologias da indústria 4.0 em processo produtivo o que impacta na perda dos benefícios se comparada quando aplicada em toda cadeia produtiva, e conseqüentemente na perda de produtividade comparado ao resto do mundo. Para os autores, o movimento ideal era que houvesse desenvolvimento dessas aplicações também na inovação de produtos e negócios. De acordo com a pesquisa, o número de empresas que não identifica quais tecnologias tem o maior potencial de impacto em produtividade é maior entre as pequenas empresas e entre aquelas cuja atividade não demanda aparato tecnológico (CNI, 2016).

Uma das principais barreiras à plena implantação do uso de tecnologia 4.0 nas indústrias brasileiras se dá pela desinformação, que ocorre em todos os níveis hierárquicos de cargo dentro da instituição, porém a desinformação no nível executivo é capaz de embaraçar o desenvolvimento dessas tecnologias ao encarar como modismo e ao priorizar projetos e investimentos em outras áreas como comercial e marketing. A conjuntura também é responsável por preterir o desenvolvimento da manufatura avançada, pois um cenário de baixo investimento e instabilidade macroeconômica faz com que as empresas tenham que utilizar os recursos para projetos essenciais a manutenção da empresa (CNI, 2016).

Em pesquisa publicada em 2022, CNI repetiu o estudo para identificar como foi a evolução da empregabilidade da Indústria 4.0 no Brasil. O número de empresas que utiliza pelo menos uma tecnologia digital aumentou, porém, o processo ainda se encontra em fase inicial em empresas que não possuem intensidade tecnológica. Essas apresentam maior utilização e maior variedade de tecnologias digitais aplicadas em conjunto. O foco continua sendo o uso na parte de processos, porém já é possível identificar a aplicação na área de produtos, que tem entregue ao consumidor final bens e serviços mais personalizados, apesar de ainda em números muito baixos. A percepção de que o custo para a implantação de tecnologia digitais por parte

dos gestores continua dificultando o processo, o que é gerado pela desinformação. No que tange à mão de obra, os autores assinalam que de acordo com a pesquisa ainda existe a dificuldade em encontrar trabalhadores qualificados (CNI, 2022).

Para Vieira, Ouriques e Arend (2020), o Brasil terá grandes dificuldades para ingressar na indústria 4.0 devido ao fato de não ter desenvolvido plenamente as tecnologias referentes à Terceira Revolução. O desenvolvimento dos microeletrônicos teve início na década de 80, porém a indústria brasileira não conseguiu acompanhar essa evolução. Os autores analisam a estrutura positiva, o padrão de comércio exterior e fluxo de investimentos para caracterizar a indústria brasileira atual. Enquanto países centrais deixaram o foco das indústrias caracterizadas por tecnologias da Segunda Revolução Industrial na década de 1980 para focar nas tecnologias de microeletrônicas e telecomunicações, do Brasil o que se observa é que a estrutura dos grupos industriais conta com a grande participação de commodities industriais e indústria tradicional.

Em relação ao incentivo à inovação e as políticas de desenvolvimento tecnológico, as políticas industriais do século XXI se mostraram vagas quando comparadas às de outros países que já ingressaram na Indústria 4.0, no sentido de não haver a estratégia de objetivo de qual seria a meta nem os instrumentos para que a mesma fosse alcançada. Em relação às políticas lançadas no que tange ao fomento da inovação falta continuidade, recursos financeiros são insuficientes, há a incerteza sobre a execução orçamentaria e a falta de uma política pública estruturada (VIEIRA, OURIQUES E AREND, 2020).

Takayama e Panhan (2022) apontam que os principais setores brasileiros que já estão envolvidos com processos de inovação e de maturidade digital são o farmacêutico, automobilístico, de alimentos e de bebidas. Em relação ao agronegócio, um dos maiores no Brasil, vê-se a introdução de tecnologia porém ainda não a nível suficiente para que possam ser observadas integração e conectividade entre múltiplas tecnologias, característica principal da indústria 4.0. Em relação às dificuldades encontradas pelas indústrias que já deram início ao processo de inserção de tecnologia, mas que ainda não migraram totalmente, os autores citam: fornecedores desatualizados, a cadeia produtiva precisa ser adaptada para que haja a plena integração, investimentos altos, infraestrutura defasada e mudança de cultura.

De acordo com Gimenez e Santos (2021) o fato de o avanço da automação atingir principalmente atividades que exigem qualificação mediana, pode ser um fator que afete o Brasil por ter grande concentração de trabalho alocado nesse tipo de função. Outro ponto de preocupação no caso brasileiro, é o impacto da automação nos setores de logística e transporte dado a dimensão continental do país que também possui alta concentração de emprego. Além disso, afirmam que o impacto da Indústria 4.0 e a revolução industrial não é homogêneo no

país, que depende do dinamismo da economia, das características estruturais do setor e da maior ou menor participação das vagas com risco de sofrerem automação.

Segundo o relatório da Firjan de 2016, o Brasil ainda se encontra na fase de transição da Indústria 2.0, baseado em linhas de montagem e energia elétrica, para a Indústria 3.0, baseada em automação, robótica e programação. A Confederação Nacional da Indústria (CNI) aponta dimensões prioritárias para o desenvolvimento da Indústria 4.0 brasileira como: aplicações nas cadeias produtivas e desenvolvimento de fornecedores, mecanismos para induzir a adoção de novas tecnologias, desenvolvimento tecnológico, ampliação e melhoria da infraestrutura de banda larga, aspectos regulatórios formação de recursos humanos e articulação institucional (CNI, 2016).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A substituição do homem pela máquina é pauta desde a Primeira Revolução Industrial e uma preocupação dos trabalhadores que isso acarrete em desemprego. O presente trabalho se propôs a apresentar as características das revoluções industriais anteriores, suas principais inovações e como isso foi capaz de alterar a dinâmica do cotidiano mundial, para então explicitar em detalhes as inovações da Indústria 4.0, sua situação no caso brasileiro e o seu impacto no mercado de trabalho.

Quando comparada às anteriores, a Quarta Revolução Industrial tem um potencial de difusão mais veloz devido à conjuntura de globalização. Países desenvolvidos já possuem grande aplicação das tecnologias apresentadas na mesma, porém países em desenvolvimento como Brasil a aplicabilidade se concentra em setores que por si só já são mais tecnológicos e a justificativa expressada são os altos custos para a implantação e a própria falta de conhecimento dos tomadores de decisão da firma.

A relação entre emprego tecnologia passa por mudanças na nova revolução. Se o processo de automação é capaz de substituir trabalhadores no curto prazo, existe a possibilidade de aumento de produtividade de uma firma que acabe gerando vagas para outros setores que não foram automatizados e pela própria inovação exista a criação de novas ocupações assim como nas anteriores. Existem setores e cargos que estarão mais ameaçados que outros como o de tarefas manuais repetitivas e de análise de dados. Entretanto, o que pode ser observado na Indústria 4.0 é que em relação às firmas que surgiram com novos modelos de negócios exclusivos de tecnologia de informação estas não foram capazes de gerar tantos empregos quanto as firmas que surgiram nas revoluções anteriores.

O que se conclui é que existirá a substituição com um período de ajuste menor, devido à velocidade que as inovações são criadas e implantadas, o que gera um período de defasagem entre as substituições e a criação de novas vagas, o que pode inclusive diminuir substancialmente a criação de novas vagas no mesmo volume das que foram substituídas. Vale ressaltar que, mesmo que haja criação de novas vagas, os trabalhadores efetivamente substituídos dificilmente retornam aos mesmos cargos que ocupavam antes, passando a ocupar vagas que alguns autores classificam como subempregos. Nesse momento será necessário instrução educacional e capacitação para que esses indivíduos possam se adaptar e conseguir novos cargos na nova modalidade de indústria.



## REFERÊNCIAS

ACEMOGLU, D; AUTOR, D. H. **Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings.** 2010. Disponível em: <[https://www.nber.org/system/files/working\\_papers/w16082/w16082.pdf](https://www.nber.org/system/files/working_papers/w16082/w16082.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2021.

ACEMOGLU, D; AUTOR, D; HAZELL, J; RESTREPO, P. **AI and Jobs: Evidence from online vacancies.** 2022. Disponível em: <[https://www.nber.org/system/files/working\\_papers/w28257/w28257.pdf](https://www.nber.org/system/files/working_papers/w28257/w28257.pdf)>. Acesso em 19 nov. 2022.

ARNTZ, M.; GREGORY, T.; LEHMER, F. Technology and Jobs in the Fourth Industrial Revolution”. Em: IZA Workshop: Labor Productivity and the Digital Economy. [s.l: s.n.]. p. 1–6. 2017.

BARRETO, N. M. N. **Indústria 4.0 : o impacto do Big Data e internet of things.** 2019. Disponível em: <<https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/18116/1/DM-NMMB-2019.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

BACCARIN, A. B. **Indústria 4.0: IoT, big data e produtos digitais.** 2018. Disponível em: <<https://riuni.unisul.br/handle/12345/5815>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

BENAVENTE, J. M.; LAUTERBACH, R. Technological innovation and employment: complements or substitutes? **European journal of development research**, v. 20, n. 2, p. 318–329, 2008.

BRUNO, Flavio da Silveira. **A quarta revolução industrial do setor têxtil e de confecção: a visão de futuro para 2030.** São Paulo, 2016. Disponível em: <[https://www.abit.org.br/uploads/arquivos/A\\_quarta\\_revolucao\\_industrial\\_do\\_setor\\_textil\\_e\\_de\\_confeccao.pdf](https://www.abit.org.br/uploads/arquivos/A_quarta_revolucao_industrial_do_setor_textil_e_de_confeccao.pdf)>. Acesso em: 24 jan. 2022.

CIRERA, X.; SABETTI, L. The effects of innovation on employment in developing countries: evidence from enterprise surveys. **Industrial and corporate change**, v. 28, n. 1, p. 161–176, 2019.

CHEN, H. Applications of cyber-Physical System: A literature review. **Journal of Industrial Integration and Management**, v. 02, n. 03, p. 1750012, 2017.

COLLABO. **A Indústria 4.0 e a revolução digital**. Disponível em: <<https://alvarovelho.net/attachments/article/114/ebook-a-industria-4.0-e-a-revolucaodigital.pdf>>. Acesso em 30 set. 2022.

COSTA, Cesar da. **Industria 4.0: o futuro da indústria nacional**. São Paulo, 2017. Disponível em <<https://docplayer.com.br/106990802-Industria-4-0-o-futuro-da-industria-nacional.html>>. Acesso em 30 nov.2022.

CNI. **Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil**. 2016.

CNI. **A difusão das tecnologias da Indústria 4.0 em empresas brasileiras**. 2020.

CNI. **Industria 4.0:novo desafio para a indústria brasileira**. 2016.

CNI. **Industria 4.0 cinco anos depois**. 2022

DATHEIN, RICARDO. Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX, 2003. Disponível em: <<https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/artnoveau/docs/revolucao.pdf>>. Acesso em 12 jul.2023.

FACCIONI FILHO, M.; **Internet das Coisas**. Palhoça: Unisul Virtual, 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/319881659\\_Internet\\_das\\_Coisas\\_Internet\\_of\\_Things](https://www.researchgate.net/publication/319881659_Internet_das_Coisas_Internet_of_Things)>. Acesso em 26 dez.2022

FREEMAN, C.; LOUÇÃ, F. **As time goes by: from the industrial revolution to the information revolution**. Oxford: Oxford University, 2001.

FIRJAN. **Indústria 4.0: Panorama da Inovação**. 2016.

GALDINO, N. Big data: Ferramentas e aplicabilidade. XIII SEGeT - Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2016. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/472427.pdf>> Acesso em: 1 dez. 2022.

GEISSBAUER, Reinhard; VEDSO, Jesper; SCHRAUF, Stefan. **Indústria 4.0: Digitização como vantagem competitiva no Brasil**. PwC. [S.l.]. 2016.

GIMENEZ, Denis Maracci; SANTOS, Anselmo Luís. **Indústria 4.0, manufatura avançada e seus impactos sobre o emprego.** 2019. Disponível em: <<https://www.economia.unicamp.br/images/arquivos/artigos/TD/TD371.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2022.

GIMENEZ, D. M.; SANTOS, A. L. dos. **Indústria 4.0 e seus impactos no mundo do trabalho.** RBEST Revista Brasileira de Economia Social e do Trabalho, Campinas, SP, v. 3, n. 00, p. e021017, 2021. DOI: 10.20396/rbest.v3i00.15969. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/rbest/article/view/15969>. Acesso em: 24 jan. 2022.

GOKALP, M. O. et al. **Big data for industry 4.0: A conceptual framework.** 2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI). IEEE, 2016.

HELM, J. M. et al. **Machine learning and artificial intelligence: Definitions, applications, and future directions.** Current reviews in musculoskeletal medicine, v. 13, n. 1, p. 69–76, 2020.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review,** Working Paper No.01, 2015.

HOTTE, K.; SOMERS, M.; THEODORAJOPOULOS, A. **Technology and jobs: A systematic literature review.** 2022. arXiv preprint arXiv:2204.01296.

KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0.** Final report of 4.0 Working Groupe. 82 p., 2013.

KUPFER, D. Tecnologia e emprego são realmente antagônicos? In: SICSÚ, J.; PAULA, L. F.;

LAMPROULOS, G., SIAKAS, K., ANASTASIADIS, T. (2019). Internet of Things in the Context of Industry 4.0: An Overview. **International Journal of Entrepreneurial Knowledge**, 7(1), 4-19.

MICHEL, R. (Orgs.). **Novo-Desenvolvimentismo: um projeto nacional de crescimento com equidade social.** Barueri: Manole, 2005.

OKS, S.; JALOWSKI, M.; LECHNER, M.; MIRSCHBERGER, S.; MERKLEIN, M.; VOGEL-HEUSER, B.; MOSLEIN, K. **Cyber-Physical Systems in the Context of Industry 4.0: A Review, Categorization and Outlook.** Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/359797420\\_Cyber-Physical\\_Systems\\_in\\_the\\_Context\\_of\\_Industry\\_40\\_A\\_Review\\_Categorization\\_and\\_Outlook](https://www.researchgate.net/publication/359797420_Cyber-Physical_Systems_in_the_Context_of_Industry_40_A_Review_Categorization_and_Outlook)> Acesso em 30 nov. 2022.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. **A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems.** 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Jay-Lee-27/publication/269709304\\_A\\_Cyber-Physical\\_Systems\\_architecture\\_for\\_Industry\\_40-based\\_manufacturing\\_systems/links/59e4f5670f7e9b0e1aa8805f/A-Cyber-Physical-Systems-architecture-for-Industry-40-based-manufacturing-systems.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jay-Lee-27/publication/269709304_A_Cyber-Physical_Systems_architecture_for_Industry_40-based_manufacturing_systems/links/59e4f5670f7e9b0e1aa8805f/A-Cyber-Physical-Systems-architecture-for-Industry-40-based-manufacturing-systems.pdf)> Acesso em: 27 dez.2022.

Manyika, J., Lund, S., Chui, M., Bughin, J., Woetzel, J., Batra, P., Ko, R., & Sanghvi, S. **Jobs lost, jobs gained: workforce transitions in a time of automation.** Mckinsey Global Institute. 2017. Disponível em:<<https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/jobs-lost-jobs-gained-what-the-future-of-work-will-mean-for-jobs-skills-and-wages>>. Acesso em:23 fev. 2023.

MARIANI, M.; FOSSO WAMBA, S. **Exploring how consumer goods companies innovate in the digital age: the role of big data analytics companies.** 2020. Journal of Business Research, 121. pp. 338-352.

MATTOSO, Jorge. **Tecnologia e emprego: uma relação conflituosa.** São Paulo em Perspectiva, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 115-123, 2000.

PEREIRA, A.; SIMONETTO, E.. **Indústria 4.0: Conceitos e perspectivas para o Brasil.** 2018. Disponível em: <[http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/4938/pdf\\_808](http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/4938/pdf_808)>. Acesso em:15 mar. 2021.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Inteligência Artificial.** 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2013

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS ATÉ A INDUSTRIA 4.0. **Revista Interface Tecnológica, [S. l.]**, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018. DOI:

10.31510/infa.v15i2.386. Disponível em:  
<https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/386>. Acesso em: 7 fev. 2022.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. Tradução de Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.

SCHUMPETER, J. A. **A Teoria do Desenvolvimento Econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1997.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, socialismo e democracia**. Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 1961.

SUMER, B. Impact of Industry 4.0 on Occupations and Employment in Turkey. **European Scientific Journal, ESJ**, v. 14, n. 10, p. 1, 30 Apr. 2018. Disponível em: <<https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/10731>> Acesso em 10 jan. 2022.

SWART, Jacobus W. Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas. [S. l.: s. n.], 2013. Disponível em: < <https://www.ccs.unicamp.br/novosite/ie521/files/2013/08/cap01.pdf> >. Acesso em: 20 jun. 2023

TAKAYAMA, A. .; PANHAN, A. M. . INDÚSTRIA 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, [S. l.]**, v. 8, n. 5, p. 1797–1822, 2022. DOI: 10.51891/rease.v8i5.5591. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/5591>. Acesso em: 20 jun. 2023.

TAYLOR, F. W. **Princípios de Administração Científica**. 1990. Disponível em: <<https://cesarmangolin.files.wordpress.com/2010/02/taylor-principios-de-administracao-cientifica.pdf>> Acesso em: 12 jul. 2023.

VIEIRA, P. A.; OURIQUES, H. R.; AREND, M. A posição do Brasil frente à Indústria 4.0: mais uma evidência de rebaixamento para a periferia? **OIKOS (Rio de Janeiro)**, v. 19, n. 3, dez. 2020. Disponível em:  
 <<http://www.revistaoikos.org/seer/index.php/oikos/article/viewArticle/668>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

VIVARELLI, M. Innovation, employment and skills in advanced and developing countries: A survey of economic literature. **Journal of Economic Issues**, v. 48, n. 1, p. 123–154, 2014.

WANG, P. On Defining Artificial Intelligence. *Journal of Artificial General Intelligence*, v. 10, n. 2, p. 1–37, 2019. Disponível em: < <https://sciendo.com/article/10.2478/jagi-2019-0002>> Acesso em 20 nov. 2022.