



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ECONOMIA



FABIANA MAYARA ROSA

**Indústria 4.0: Evolução ou revolução tecnológica?
Uma leitura de economia política de inovação.**

CAMPINAS
2023

FABIANA MAYARA ROSA

Indústria 4.0: Evolução ou revolução tecnológica? Uma leitura de economia política de inovação.

Monografia apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Me. Gabriel Quatrochi
Supervisão: Prof. Dr. Célio Hiratuka

CAMPINAS
2023

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Economia
Luana Araujo de Lima - CRB 8/9706

R71i Rosa, Fabiana Mayara, 1997-
Indústria 4.0 : Evolução ou revolução tecnológica? Uma leitura de economia política da inovação / Fabiana Mayara Rosa. – Campinas, SP : [s.n.], 2023.

Orientador: Gabriel Quatrochi.

Coorientador: Célio Hiratuka.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia.

1. Inovação. 2. Indústria 4.0. 3. Economia política. 4. Revolução industrial. I. Quatrochi, Gabriel, 1991-. II. Hiratuka, Célio, 1970-. III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. IV. Título.

Informações adicionais, complementares

Palavras-chave em inglês:

Innovation

Industry 4.0

Political economy

Industrial revolution

Titulação: Bacharel em Ciências Econômicas

Banca examinadora:

Gabriel Quatrochi [Orientador]

Célio Hiratuka [Coorientador]

Ana Lucia Gonçalves da Silva

Data de entrega do trabalho definitivo: 15-12-2023

FABIANA MAYARA ROSA

Indústria 4.0: Evolução ou revolução tecnológica?
Uma leitura de economia política de inovação

Monografia apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Data de aprovação: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora

Me. Gabriel Quatrochi – Presidente da banca
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

Prof(a). Dr(a). Célio Hiratuka – Coorientador(a)
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

Prof(a). Dr(a). Ana Lúcia Gonçalves da Silva – Docente convidado
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

DEDICATÓRIA

Dedico a mim que lutou comigo mesma e não me permitiu desistir.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho marca o fim de um período que há alguns anos parecia impensável: ingressar em Economia em uma das melhores universidades do mundo. Desde o início dessa jornada, inúmeras pessoas entraram em minha vida, e muitas delas contribuíram direta ou indiretamente na conclusão deste trabalho, e, principalmente, em todo crescimento obtido no decorrer dos anos.

Agradeço a minha família, em especial minha mãe e irmãos por todo acolhimento, risadas, suporte e momentos felizes juntos. Sem vocês sequer seria possível o início desse ciclo.

Agradeço ao meu amigo e orientador Gabriel Quatrochi, não apenas pela orientação e paciência, mas também pelos puxões de orelha, acolhimento e disponibilidade de escuta.

Agradeço à República dos Franceses por todos os amigos feitos durante os anos em que morei nesse grande lar. A maioria desses amigos permanecem presentes em minha vida e são fundamentais na construção de quem sou hoje e estiveram comigo durante os altos e baixos desse ciclo, em um apoio contínuo e fundamental para mim. Um sincero obrigada a todos aqueles em que algum momento nossa vida se cruzou, vocês foram essenciais. E um obrigada em especial a todos aqueles que permaneceram: Fernando Medeiros, Wander Guilherme, Natasha Gita, Deise dos Santos, Lara Lira, Marcos Lourenço, Manon Edaryep e Beatriz Pereira.

Agradeço as amizades feitas durante a graduação, que possibilitam que tudo fosse mais leve, em especial Deise dos Santos, Monalisa Félix e Ghil D'Avilla.

Por fim, agradeço a Universidade Estadual de Campinas por todo o suporte oferecido ao longo dos anos nas mais variadas áreas, por todo crescimento profissional e pessoal, pelas amizades que fiz na universidade ou através dela.

RESUMO

Essa análise tem como objetivo investigar a Indústria 4.0, tanto em termos dos insumos-chaves utilizados, como no sentido revolucionário da inovação, apresentado por Schumpeter, e desenvolvido posteriormente pelos neoschumpeterianos, a fim de compreender se o mundo vivencia uma nova revolução industrial – introdução de uma inovação radical – ou uma mudança no sistema tecnológico – inovações incrementais –. Tal investigação se mostra necessária devido aos impactos socioeconômicos gerados por uma nova revolução industrial, que possui o poder de influenciar a trajetória dos investimentos dos países no que tange a tecnologia e o sentido das políticas públicas e de inovação.

Palavras-chave: inovação, indústria 4.0, economia política, revolução industrial

ABSTRACT

This analysis aims to investigate Industry 4.0, both in terms of the key inputs used, and in the revolutionary sense of innovation, presented by Schumpeter, and later developed by neo-schumpeterians, in order to understand whether the world is experiencing a new industrial revolution – introduction of a radical innovation – or a change in the technological system – incremental innovations –. Such an investigation is necessary due to the socioeconomic impacts generated by a new industrial revolution, which has the power to influence the trajectory of countries' investments in technology and the direction of public policies and innovation.

Keywords: innovation, industry 4.0, political economy, industrial revolution

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 - As três Revoluções Industriais	17
Figura 2 – As mudanças tecnológicas ao longo dos anos	25
Figura 3: Estágios da evolução do conceito da Indústria 4.0	30
Figura 4 - Ciclo de vida da revolução tecnológica	37
Figura 5 - Comparação da Indústria 4.0 sob o ponto de vista da teoria das ondas longas e uma visão discursiva da inovação	43

Sumário

1	CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO AOS NEOSCHUMPETERIANOS E OS TRÊS PARADIGMAS DAS REVOLUÇÕES INDÚSTRIAS	11
1.1	INTRODUÇÃO AOS NEOSCHUMPETERIANOS	12
1.2	OVERVIEW DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS: OS TRÊS PARADIGMAS	16
1.2.1	<i>A Primeira Revolução Industrial</i>	17
1.2.2	<i>A Segunda Revolução Industrial</i>	19
1.2.3	<i>A Terceira Revolução Industrial</i>	20
1.3	CONCLUSÃO PRÉVIA SOBRE AS RIs	22
2	CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 PELA ÓTICA MAINSTREAM	24
2.1	INTRODUÇÃO A INDÚSTRIA 4.0 NOS MOLDES MAINSTREAM	24
2.2	PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0	25
2.2.1	<i>Big Data e Analytics</i>	26
2.2.2	<i>Internet das Coisas (Internet of Things – IoT)</i>	26
2.2.3	<i>Sistemas Ciber-físicos (Cyber-Physical System – CPS)</i>	27
2.2.4	<i>Computação em nuvem (Cloud Computing)</i>	27
2.2.5	<i>Cibersegurança (Cyber Security)</i>	27
2.2.6	<i>Manufatura Aditiva (Additive Manufacturing)</i>	28
2.2.7	<i>Robôs autônomos</i>	28
2.2.8	<i>Realidade Aumentada (AR)</i>	28
2.2.9	<i>Integração de Sistemas</i>	28
2.3	O CONCEITO DE INDÚSTRIA 4.0 PARA O MAINSTREAM	29
2.4	AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS E A INDÚSTRIA 4.0	31
2.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE A INDÚSTRIA 4.0	32
3	CAPÍTULO 3: A INDÚSTRIA 4.0 SOB A ÓTICA DA ECONOMIA POLÍTICA DA INOVAÇÃO	35
3.1	EXPANDINDO SCHUMPETER: CARLOTA PEREZ E O PARADIGMA TECNOECONÔMICO DAS REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS	35
3.2	SISTEMAS TECNOLÓGICOS: AS TECNOLOGIAS QUE COMPÕE A INDÚSTRIA 4.0	39
3.3	A INDÚSTRIA 4.0 COMO UMA ESTRATÉGICA POLÍTICA	42

	3.4 INDÚSTRIA 4.0: UMA BREVE ANÁLISE DO MERCADO DE TRABALHO E AS MUDANÇAS DE QUALIFICAÇÃO DA MÃO DE OBRA	44
	3.5 CONCLUSÕES ACERCA DA INDÚSTRIA 4.0 PELO VIÉS DA ECONOMIA POLÍTICA	46
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO AOS NEOSCHUMPETERIANOS E OS TRÊS PARADIGMAS DAS REVOLUÇÕES INDÚSTRIAS

Um dos primeiros estudiosos a considerar a importância da inovação no desenvolvimento capitalista foi Joseph Schumpeter, economista austríaco, considerado um dos mais importantes nomes da economia do século XX. Schumpeter deu luz ao conceito de destruição criativa através de uma forte crítica aos conceitos desenvolvidos por economistas ortodoxos para explicar o funcionamento da microeconomia, conceitos estes que guiam, até hoje, as análises sobre o desenvolvimento capitalista, sobre as grandes corporações e sobre os impactos socioeconômicos intrínsecos ao desenvolvimento.

O conceito desenvolvido por Schumpeter, de certa forma, atinge o ponto fraco da teoria neoclássica, ao colocar a inovação como fator chave para o desenvolvimento das empresas capitalistas. A teoria neoclássica apresenta, em seus manuais, como expõe Schumpeter (1986), análises estáticas de funcionamento de empresas e indústrias, e não ao longo do tempo, como um processo dinâmico. Como aponta Schumpeter (1986), a leitura neoclássica da economia traz uma análise parcial das empresas capitalistas, a qual auxilia a desvendar alguns mecanismos das empresas e indústrias, mas não possui a capacidade de ser utilizada para uma análise geral de funcionamento das empresas e do mercado.

Segundo Schumpeter (1996), para uma leitura assertiva do capitalismo, é necessário entender não como as estruturas vigentes surgiram e organizaram-se, mas sim, como o próprio capitalismo as cria e as destroem, em um processo contínuo de revoluções que partem de dentro, dando origem a novos bens, novas técnicas e novas formas de organização industrial e empresarial. Esse processo, na leitura schumpeteriana, é denominado de inovação. A inovação está no centro do desenvolvimento capitalista, e é responsável pela destruição das estruturas consolidadas e pela criação de novas, impulsionando a máquina capitalista e possibilitando o desenvolvimento.

Conforme aponta Silva (2010), na teoria schumpeteriana, tem-se empresas com um papel ativo na construção de estratégias inovativas nos mais diferentes campos. A concorrência, principalmente no início de um novo processo inovativo, é um fator chave para as empresas consolidarem ou não suas propostas de inovação.

Nesse sentido, a concorrência é um elemento propulsor para uma dinâmica de transformação, sendo a posição monopolística o motivo fundamental da concorrência. Schumpeter entende que a forma de concorrência tradicional, apoiada principalmente em preços e qualidade, altera apenas pontualmente os lucros e a produção efetiva da empresa, enquanto a concorrência via inovação altera as bases e as formas de sobrevivência das próprias empresas, funcionando como uma poderosa alavanca que, no longo prazo, dará lugar a uma vantagem decisiva de custo ou qualidade àqueles que buscarem a inovação, tendo como resultado um aumento longínquo da produção e/ou redução de preço, desestabilizando as estruturas econômicas preexistentes.

Schumpeter possuiu a sensibilidade de avançar suas análises sobre o capitalismo entendendo que este é um sistema em constante e intrínseca transformação, pois as transformações são resultado do processo de inovação. Nesse sentido, o capitalismo, como descreveu Schumpeter (1986), não está e nunca poderá estar estacionário, uma vez que a dinâmica e a inovação mantêm a máquina capitalista em pleno vapor.

Também conforme Silva (2010), é a ênfase de Schumpeter na introdução de novos métodos como fator de modificação permanente das estruturas industriais e empresariais que resultará na reformulação das bases produtivas, dos produtos, dos processos e do próprio mercado.

1.1 Introdução aos neoschumpeterianos

Ao passo do importante avanço que a teoria schumpeteriana proporciona ao estudo da dinâmica econômica, inúmeros economistas aprofundaram-se nos estudos dessa corrente teórica, abrindo um leque amplo de discussões, que dá origem ao grupo denominado de neoschumpeterianos.

Tal grupo busca refinar e incluir elementos importantes para uma análise mais precisa dos fenômenos econômicos, como a inclusão de novas variáveis que determinam a concorrência, a inovação e a estrutura econômica, e suas mudanças ao longo do tempo. As abordagens que se desenvolvem a partir de Schumpeter estão construídas também com base em Karl Marx, que possui os princípios gerais do processo de concorrência capitalista bem definidos.

Dentro dos neoschumpeterianos, Possas (1988) divide as contribuições entre os autores evolucionistas e os adeptos da teoria de “paradigmas e trajetórias tecnológicas”, grupos estes não rivais, partindo apenas de metodologias diferentes ao tratar da inovação.

A abordagem evolucionista tem como principais autores Nelson e Winter, que propõem uma análise darwiniana na tentativa de explicar a dinâmica concorrencial da inovação tecnológica e seus efeitos sobre as mudanças estruturais através da evolução. A ideia central dos autores é realizar uma analogia entre a evolução das espécies – a qual acontece no ambiente por meio de mutações e seleção dos mais aptos –, e a mudanças econômicas – estas com origem no processo de busca das empresas em gerar inovações para sair na frente em relação aos seus concorrentes, dando origem a uma seleção dentro dos setores econômicos, feita através da difusão de determinadas inovações e/ou eliminação de concorrentes.

Tal abordagem promoveu uma ruptura radical com o referencial neoclássico, principalmente no tocante a dois pontos: a racionalidade econômica dos agentes e o equilíbrio.

Segundo Possas (1988), Nelson e Winter apontam que o maior esforço de mudança acontece nas rotinas existentes, o que gera um esforço inovador gigante. Ao passo que as empresas buscam inovar em produtos, as rotinas são essenciais para a mitigação de erros que podem custar a sobrevivência da própria empresa. A todo momento são feitas escolhas *ex ante*, onde as empresas realizam uma pré-seleção de projetos que irão levar adiante, determinando em quais projetos ou tecnologias irão investir e o que irá ser engavetado; e escolhas *ex post*, onde os mercados validam quais são as inovações que irão permanecer no mercado, gerando o processo daquela tecnologia escolhida. Com base nessas escolhas, o processo de seleção é feito, resultando em uma trajetória de mudanças, frequentemente longa, e que pode, ou não, ser futuramente questionada por um novo conjunto de inovações relevantes.

Tendo em vista a importância dessas escolhas para a direção que irá guiar a tecnologia na economia capitalista, Possas (1988) expõe em sua discussão que não basta apenas teorizar sobre a inovação, mas que há um problema importante a ser pensado: a difusão da inovação. Ou seja, como tornar novos produtos, técnicas ou processos os favoritos do mercado, em detrimento de outras inovações.

Apesar de inquestionavelmente constituir-se um marco teórico relevante, segundo Possas (1988), a abordagem evolucionista carece de tratar dos aspectos estruturais não-tecnológicos, como as especificidades das estruturas de mercado e, conseqüentemente, do próprio processo de concorrência.

Nesse sentido, é a abordagem de “paradigmas e trajetórias tecnológicas”, que tem como principal autor Dosi, com contribuições importantes feitas por Freeman e Perez, que avançará no preenchimento dessas lacunas.

Também partindo do enfoque teórico schumpeteriano, Dosi opta por dar maior destaque à questão da assimetria tecnológica e produtiva entre empresas de um mesmo setor industrial, que são geradas e reforçadas pela inovação e difusão de novas tecnologias, onde as empresas mais fortes constantemente buscam por reiterar essas assimetrias.

Dosi define, segundo Possas (1988), paradigmas tecnológicos como um modelo ou padrão de solução para problemas tecnológicos ou científicos selecionados, com regras e procedimentos igualmente selecionados, visando adquirir novos conhecimentos e salvaguardá-los contra a rápida difusão entre os concorrentes. Mais precisamente, um paradigma tecnológico determina um campo de investigação, bem como os problemas e os procedimentos a ele associados.

Nesse sentido, as trajetórias tecnológicas podem ser definidas como sendo os diferentes caminhos para se avançar em determinado paradigma tecnológico, sendo possível ter inúmeros caminhos concorrendo entre si. Em um nível mais técnico, as trajetórias tecnológicas são atividades do dia a dia que visam à resolução de problemas tecnológicos que se expressam em múltiplos *trade-offs* entre as variáveis relevantes dentro do paradigma. A concentração de esforços em uma determinada direção, em um conjunto limitado de atividades, gera a cumulatividade, ou seja, quanto maior o avanço em uma direção, maior o aprendizado em detrimentos de outras trajetórias. Contudo, vale mencionar que não necessariamente a direção na qual a concentração de esforços está focada irá gerar os resultados mais eficientes, pois, em última instância, o mercado opera em um ambiente seletivo, no qual a lucratividade relativa das empresas em concorrência é o que definirá os paradigmas e as trajetórias que vencerão essa corrida.

Na leitura de Possas (1988), Dosi argumenta que se faz necessário levar em conta as especificidades dos paradigmas tecnológicos, mas, ao mesmo tempo, articulá-lo com a dinâmica industrial, que também possui suas especificidades. Dosi propõe

caracterizar as tecnologias do ponto de vista da dimensão econômica que possuem, principalmente em três aspectos: 1. O grau de oportunidade tecnológica; 2. O grau de cumulatividade das capacidades tecnológicas das empresas (acúmulo de conhecimento) e; 3. O grau de apropriabilidade (privada) das tecnologias geradas (do ponto de vista das tecnologias serem mais ou menos copiáveis por terceiros).

Freeman e Perez (1988) utilizam do conceito de paradigma tecnológico de Dosi para cunhar um novo conceito, agora, muito mais abrangente, considerando não apenas as trajetórias técnicas de alguns produtos ou processos específicos, mas também as influências e implicações das inovações e no sistema econômico como um todo.

O paradigma tecnoeconômico é definido por Freeman e Perez (1988) como uma combinação de inovação nos insumos tecnológicos, mas também inovação nos produtos, processos, gestão administrativa e organizacional e em técnicas. Dessa forma, expandindo o leque para além das tecnológicas, possibilitando novos investimentos e novas formas de geração de lucro. O paradigma tecnoeconômico é o resultado de uma série de inovações nas mais diversas áreas, da parte técnica até a institucional, promovendo transformações em todos os âmbitos da economia e com o poder de influenciar a tomada de decisão dos agentes.

Os paradigmas tecnoeconômicos são caracterizados por um ou um conjunto específico de insumos, definido pelos autores (1988) como “insumo ou fator chave”. O fator chave possui as seguintes características: 1) promove mudanças significativas dos custos relativos, o que altera a forma de tomada de decisão por parte da área técnica e administrativa; 2) os insumos que o compõem possuem oferta ilimitada; 3) os insumos que o compõem são utilizados para inovações de produtos e de processos em todas as atividades da sociedade. Além dessas três características, Freeman e Perez (1988) elencam alguns elementos e tendências de um novo paradigma tecnoeconômico, são eles: 1) uma prática nova e melhor no âmbito produtivo; 2) novas qualificações de mão de obra; 3) novo *mix* de produtos a serem ofertados; 4) novas tendências de inovações radicais e incrementais que progressivamente levam a trajetória de desenvolvimento a um novo fator chave; 5) novas infraestruturas ligadas ou para suportar o novo fator chave; 6) entrada de novas firmas empreendedoras no mercado devido as novas oportunidades geradas pela mudança de paradigma; 7) aumento da produção na participação de grandes empresas nos mercados onde o

fator chave é produzido; 8) novos padrões de consumo de bens e serviços e novas formas de comercialização.

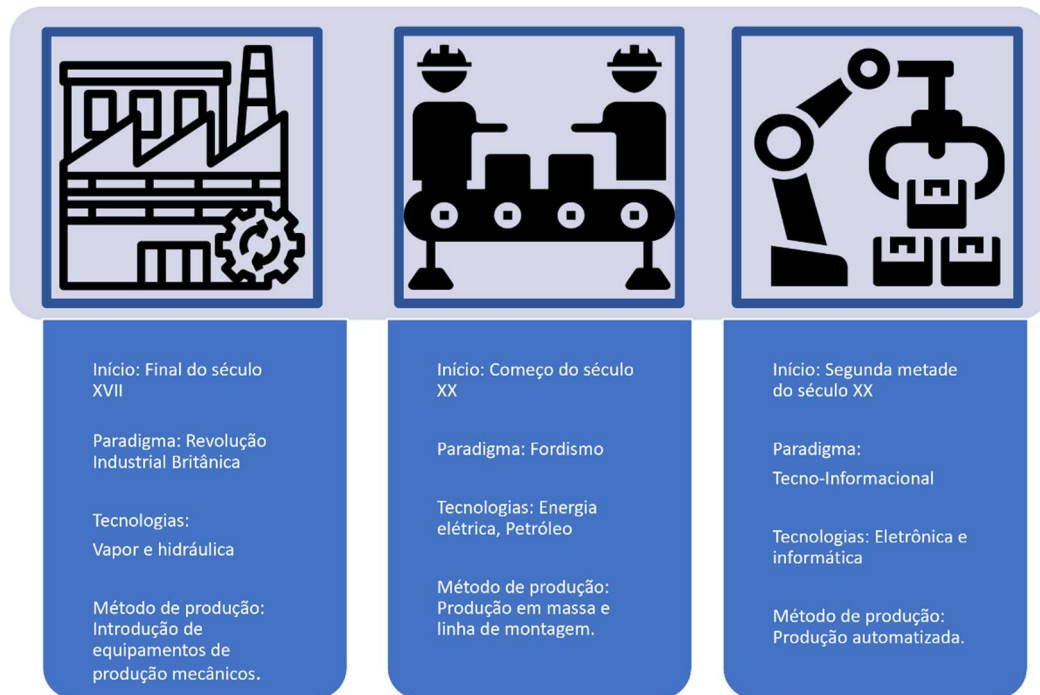
Neste sentido, uma mudança para um novo paradigma tecnoeconômico – um “meta-paradigma”, como chamam os autores (1988) – difere da simples mudança de sistemas tecnológicos – “constelações de inovações” – porque, enquanto este último é característico da criação de novos setores, baseados na combinação de inovações radicais com inovações incrementais, o primeiro, paradigma tecnoeconômico, possui um efeito pervasivo *por todo o sistema econômico*, carregando consigo incontáveis novos *clusters* tecnológicos de inovações radicais e incrementais e, inclusive, novos (sub)sistemas tecnológicos.

1.2 Overview das revoluções industriais: os três paradigmas

Para entender em que “pé” a Indústria 4.0 está em termos da história das revoluções tecnológicas e industriais, é válido realizar um breve *overview* das três revoluções industriais vistas até o momento, e seus respectivos paradigmas tecnoeconômicos: a Primeira Revolução Industrial britânica; a Segunda Revolução Industrial e o fordismo; e, por fim, a Terceira Revolução Industrial e a microeletrônica.

A revisão das três primeiras revoluções mostra-se de grande ajuda para a compreensão de como foi se construindo e diagnosticando um novo paradigma em cada período, de modo que seja possível comparar as mudanças tecnológicas que ocorreram e quão disruptivas foram e, para além disso, como o novo paradigma afetou a sociedade no que tange a criação de novas demandas, novas formas de organizações, novas profissões, novos arranjos sociais e impactos na economia como um todo.

Figura 1 - As três Revoluções Industriais



Fonte: Elaboração própria.

A figura 1 tem como objetivo trazer um breve resumo das três revoluções que serão descritas a seguir. A partir da breve análise das revoluções, pretende-se criar um plano de fundo comparativo que possibilite contextualizar as tecnologias empregadas, as mudanças produtivas e, em menor escala, as mudanças sociais que estão ocorrendo atualmente com a Indústria 4.0 para, assim, criar um norte para concluir se o mundo está vivenciando uma nova revolução industrial ou apenas um rearranjo e/ou combinações de tecnologias pré-existentes, sem efetivamente criar novas técnicas, tecnologias, métodos de produção, processos e novas atividades econômicas.

1.2.1 A Primeira Revolução Industrial

A revolução britânica ocorreu, segundo Tigre (2005), no final do século XVII e principalmente ao longo do século XIX, e foi marcada pela teoria neoclássica e o *laissez-faire*, juntamente com uma brusca mudança organizacional e tecnológica, principalmente no setor têxtil de algodão e a siderurgia, dada a importância do aço naquele momento de mecanização do trabalho. Além de desdobrar-se em inúmeras consequências sociais e econômicas (PASQUINI, 2020).

A principal característica da Primeira Revolução Industrial (I RI) é a mudança do processo produtivo quando comparado com o período imediatamente anterior, substituindo a energia humana pela energia motriz não humana, nesse caso, principalmente, o vapor. Passa-se de trabalhos feitos predominantemente de forma manual pelos artesões, em suas casas ou oficinais, para a utilização de maquinários de grande porte dentro de uma fábrica, diminuindo tempo, desperdício de matéria-prima, aumentando a oferta de produtos e, conseqüentemente, o lucro auferido. As oficinas artesanais perdem lugares para as fábricas, com suas novas técnicas, novos instrumentos de trabalho, nova força motriz e nova disciplina dos trabalhadores. Na visão de Hobsbawm:

(...) pela primeira vez na história da humanidade, foram retirados os grilhões do poder produtivo das sociedades humanas, que daí em diante se tornaram capazes da multiplicação rápida e constante, e até o presente ilimitado, de homens, mercadorias e serviços. Este fato é hoje tecnicamente conhecido pelos economistas como a “partida para o crescimento auto-sustentável (...)” (Hobsbawm, 1977, p. 44)

A invenção do tear mecânico é um marco importante na economia inglesa e global, pois o setor têxtil era o carro chefe da economia inglesa, sendo grande parte da produção destinada à exportação. O avanço tecnológico possibilitou o desenvolvimento de máquinas a vapor que funcionavam por horas seguidas em um único processo, dessa forma, a mão de obra poderia concentrar-se em novas partes da produção ou até mesmo na manutenção do maquinário fabril. As máquinas a vapor eram utilizadas no setor têxtil, mas não limitada a ele. A tecnologia foi utilizada também em meios de transporte, como navios e locomotivas.

Criam-se novos mercados de trabalho a partir da introdução da inovação das máquinas a vapor, a mineração de carvão era essencial para o funcionamento da economia, o uso do carvão, por sua vez, impulsionou a produção de aço e gerou um crescimento na construção civil, aumentando a população dos centros urbanos da Inglaterra.

As inovações implementadas na Primeira Revolução Industrial afetaram de forma drástica o trabalho na Inglaterra e ao redor do mundo. Naquele momento houve a necessidade de desenvolver-se a divisão do trabalho e se fazer grande uso do trabalho assalariado, visando, respectivamente, o aumento da escala de

produção e a demanda por bens industriais. Porém, para além dos fatores econômicos e do trabalho, houve mudanças significativas na sociedade como um todo, um exemplo disso é a migração da população rural para os centros urbanos, não só por ter mais chances de sobrevivência, mas também como uma necessidade dos capitalistas em terem um maior contingente de mão de obra, até mesmo para o patamar da hora-homem manter-se ou até mesmo diminuir.

A Primeira Revolução Industrial deu o ponto pé inicial para o que iria vir a seguir, tanto no que tange as tecnologias como as relações sociais e econômicas da Inglaterra e do mundo, principalmente do lado ocidental.

1.2.2 A Segunda Revolução Industrial

No início do século XX, atravessando a primeira e a segunda guerra mundial, o mundo presenciou a Segunda Revolução Industrial (II RI), já com suas bases na indústria química e metalúrgica, e não mais na têxtil como a I RI.

O desenrolar da II RI se deu pela necessidade de novas tecnologias, pois as tecnologias da I RI já não supriam de forma eficiente as necessidades do mercado fabril e da sociedade. Para além disso, a Primeira e a Segunda Guerra Mundial demandaram esforços extraordinários das indústrias para que suprissem as necessidades da guerra, não apenas de armamento, mas de alimentação, vestuário e todos os itens essenciais para o andamento das guerras. Dessa forma, a Segunda Revolução Industrial está por trás de toda tecnologia, inovação, avanços científicos e força de trabalho desenvolvidos na Primeira, e principalmente, na Segunda Guerra Mundial.

Diferente da I RI, o desenvolvimento gerado pela II RI deu-se mais por fatores exógenos do que endógenos da indústria, sendo fortemente puxada pelas duas guerras mundiais mencionadas e uma nova demanda por bens de consumo e produtos que surgiu a partir do fortalecimento de uma classe média nos países desenvolvidos. O interesse capitalista em aumentar suas margens de lucro a partir de uma indústria de produção em massa, com uma divisão do trabalho rigorosamente definida e com certo grau de automação, é também um motor - para não dizer o principal motor - para o desenvolvimento de inovações disruptivas (SILVA; GASPARIN, 2006).

O advento da energia elétrica e o petróleo como fonte de energia permitiu o aprimoramento do setor industrial nos países desenvolvidos, assim como possibilitou

o surgimento de novas indústrias, o que refletiu de forma clara no sistema econômico, na vida cotidiana e na migração campo-cidade.

O paradigma do período da II RI é o fordismo. Henry Ford implementou uma carga diária de trabalho de 8 horas e uma remuneração de US\$ 5/hora para trabalhadores da linha de montagem das fábricas automobilísticas e, a partir disso, aprimorou e desenvolveu métodos para a regulação técnica da produção e do trabalho, métodos esses que foram utilizados em todo o mundo industrial e promoveu um novo salto na produtividade, criando a padronização e a produção em massa de bens de consumo. Muitas das tecnologias e métodos de Ford eram extensão de tendências já definidas, contudo, o grande diferencial, e que tornou o fordismo um paradigma tecnoeconômico, foi a percepção de Henry Ford de que uma produção em massa, com processos divididos e bem-organizados, levaria a um consumo em massa. Como consequência dessa percepção, surge um novo sistema de força de trabalho que engloba todas as áreas da vida do trabalhador, novas políticas gerenciais e organizacionais, uma nova psicologia para levar as pessoas a querer consumir bens e produtos. Ou seja, dessa percepção de Ford, surge um novo tipo de sociedade democrática, agora mais moderna e racionalizada do que a anterior (HARVEY, 1992).

No que tange aos métodos, a principal contribuição do fordismo foi a linha de montagem, onde o trabalhador era especializado em uma única etapa e aguardava sua vez de atuar na montagem, enquanto os veículos a serem montados movimentavam-se pela esteira. Já no que diz respeito a tecnologia, a Segunda Revolução Industrial foi responsável por diversas tecnologias utilizadas amplamente até os dias atuais, como o motor a combustão e elétrico, navios de aço, telefone, televisão, produtos derivados do petróleo (plástico, lubrificantes etc.), automóvel e mais uma infinidade de inovações disruptivas a partir dos avanços científicos. Disruptivas pois, ao introduzir as inovações, houve uma mudança a nível técnico, social, do trabalho e econômico, principalmente nos países ricos, e mais tardiamente em países da América Latina, Ásia e Europa Oriental.

1.2.3 A Terceira Revolução Industrial

A Terceira Revolução Industrial (III RI) teve seu início na segunda metade do século XX e tem como base primordial a microeletrônica. Pode-se dizer que seu ápice foi entre 1970 e 1980, quando a produtividade caiu drasticamente e o modelo de consumo em massa havia chegado em seu limite. Com o esgotamento do modelo

fordista de produção e organização, e posteriormente com a crise do capitalismo em 1970¹, uma nova revolução industrial aconteceu e, mais uma vez, houve um impacto gigantesco em todos os âmbitos da sociedade e um avanço significativo na ciência e na tecnologia, que proporciona até hoje grandes frutos, como os *smartphones*, computadores portáteis, semicondutores utilizados em bens como carros e eletrônicos duráveis, como a máquina de lavar e até mesmo a cafeteira (PASQUINI, 2020).

Já no campo da alta tecnologia, a revolução permitiu o desenvolvimento da biotecnologia, nanotecnologia e a mecatrônica, que em termos práticos são vistos em vacinas (biotecnologia), fármacos ou produtos químicos complexos (nanotecnologia, a nível molecular) e robôs ou máquinas fotográficas (mecatrônica), entre outras diversas opções onde tais tecnologias são empregadas para fins científicos e industrial (COUTINHO *et al.*, 1992)

Com o passar dos anos e o aprimoramento das inovações, as tecnologias foram empregadas nos processos de produção industrial, diminuindo o emprego da força de trabalho humana, principalmente a não qualificada, que foi e está sendo relevantemente substituída pela robótica. A mão de obra qualificada, no entanto, ainda se faz necessária, com ênfase para engenheiros elétricos, mecânicos e químicos. Assim como nas revoluções anteriores, a inserção de uma nova tecnologia na indústria tem como objetivo a diminuição de custos e tempo de produção.

Nesse sentido, a III Revolução Industrial foi muito bem-sucedida, tendo em vista que a queda dos custos fora tão significativa que viabilizou uma massificação dos produtos tecnológicos, principalmente aqueles ligados aos meios de comunicação e internet e, atualmente, na maior parte do mundo, qualquer pessoa tem acesso à internet via *smartphones* ou computadores, mesmo que seja através de empréstimo, locação.

Nos aspectos gerais das mudanças trazidas pela III RI, pode-se citar o estratégico processo de fragmentação das cadeias produtivas, com a descentralização das indústrias, ou até mesmo a separação física entre as etapas industriais das cadeias daquelas estritamente corporativas e financeiras. Segundo Chesnais (2005), a partir da década de 80, houve um processo crescente de internacionalização das empresas, a partir de um aumento de fusões e aquisições. Esse estabelecimento de unidades produtivas nos mercados locais foi uma estratégia

¹ A origem da crise de 1970 é atribuída, em grande parte, à crise do petróleo, que ocorreu devido a uma queda na oferta do insumo após um embargo da Opep.

de abarcar novos mercados no sentido de transpor as barreiras comerciais e alfandegárias impostas. Como consequências desse movimento, o mundo presenciou a criação de oligopólios globais (antes nacionais) e reforços nas barreiras de entrada, medida para proteger as indústrias nacionais. Esse movimento também gerou consequências financeiras, como o aumento de custo gerencial para as empresas. Assim, a partir dos anos 90, há uma tentativa de suplantar os custos de transpor uma unidade produtiva completa para cada mercado em que se deseja penetrar (além dos custos de gerência dessa arquitetura gerencial e/ou estratégia corporativa), e também valorizar e aproveitar as vantagens competitivas locais. Para isso, a estratégia corporativa se altera profundamente, a nova firma externaliza funções, faz acordos tecnológicos, terceiriza partes da produção, mas mantém as partes de maior valor agregado da cadeia: nasce a empresa-rede.

Os novos meios de comunicação, as inovações logísticas e no transporte e a ideia de empresa-rede permitiram que as indústrias se mantivessem em lugares estratégicos para o envio dos produtos ou próximo de suas matérias-primas, onde a mão de obra seja mais barata e os incentivos fiscais diversos. Já os escritórios administrativos e, sobretudo, as etapas da produção que são intensivas em conhecimento, pesquisa e desenvolvimento, não necessariamente precisariam estar nas cidades das fábricas, sendo mais vantajoso, em alguns casos, estarem em grandes centros urbanos devido ao fácil acesso a mão de obra qualificada e serviços financeiros ou até mesmo próximo a grandes universidades geradoras não apenas da mão de obra, mas também de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de grande valor agregado para o avanço das tecnologias e criação de novas inovações.

1.3 Conclusão prévia sobre as RIs

Ao descrever sucintamente os processos que se desenvolveram ao longo das três revoluções industriais, é possível perceber alguns padrões que se mantiveram ao longo de cada processo, sendo eles: 1) Interdependência das inovações, ou seja, uma inovação cria outra, por necessidade ou como consequência; 2) Há uma dinamização produtiva promovida principalmente pelos capitalistas, que visam sempre uma redução nos seus custos e uma acumulação maior de capital; 3) A revolução não é apenas tecnológica, como também sociológica, científica, trabalhista e econômica, isso porque, ao introduzir uma nova tecnologia na produção, é alterada toda a

dinâmica do trabalho, logo, dos trabalhadores e da organização de suas vidas enquanto sociedade. Um exemplo claro disso foi o fordismo que, ao introduzir a remuneração por hora e a jornada de trabalho, possibilitou a construção de um consumo em massa de bens que antes não eram essenciais para a sobrevivência humana, como a televisão; 4) Há paradigmas tecnoeconômicos definidos, que impulsionam as novas inovações e novas formas de organização empresarial e social. Uma tecnologia disruptiva surge como principal, e não como extensão de várias outras, e abala todo o sistema ao ser inserida nos processos produtivos.

Apesar de cada revolução trazer tecnologias diferentes e novos processos, há sempre a destruição do antigo para o estabelecimento do novo, seja em termos tecnológicos ou sociais. As revoluções não apresentam uma linearidade tecnológica, pois, se assim fosse, possivelmente não seriam classificadas como revoluções.

CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 PELA ÓTICA *MAINSTREAM*

2.1 Introdução a Indústria 4.0 nos moldes *mainstream*

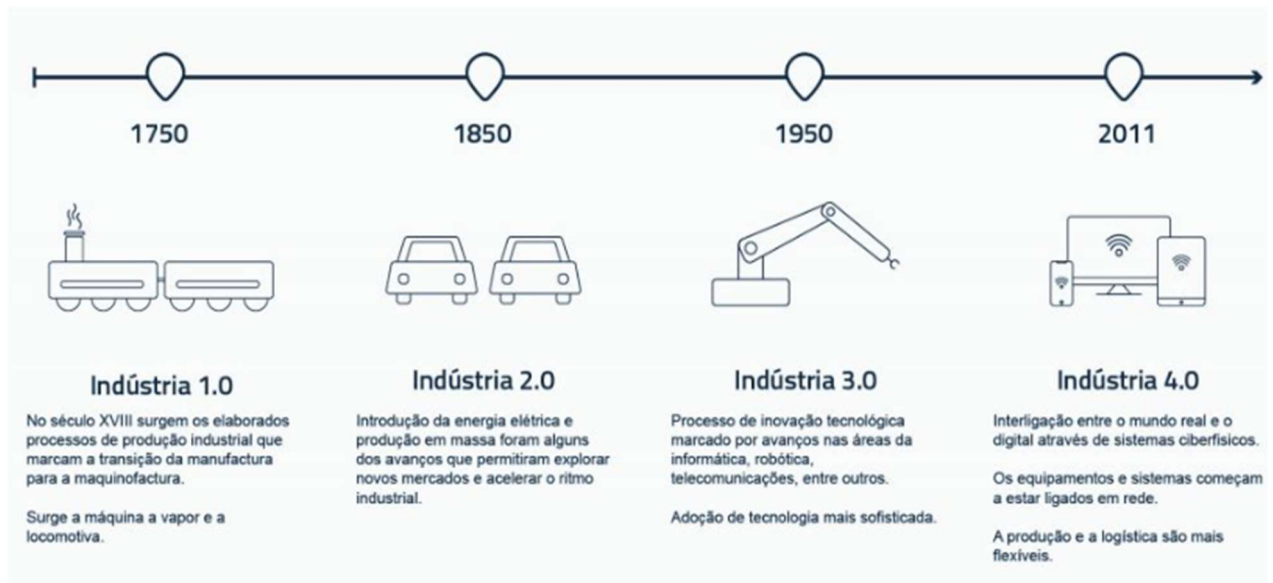
O conceito de indústria 4.0 surge pela primeira vez na Alemanha, na feira de Hannover² em 2011, onde o governo alemão apresentou um projeto de desenvolvimento de tecnologias que tornaria as fábricas inteligentes e mais competitivas frente aos concorrentes. Através de conexões rápidas, bancos de dados imensos e *machine learning*, a intervenção humana seria mínima no processo produtivo dessas fábricas.

Com o surgimento do conceito e a introdução de tecnologias de ultraprocessamento de dados, inteligência artificial, aumento da fusão entre o físico e o digital, entre outras características que compõem a I4.0, o *mainstream* - composto, basicamente, por economistas ortodoxos, consultorias, empresas de tecnologia como a IBM e até mesmo governos de países centrais -, trata a Indústria 4.0 não apenas como um processo de maior automação das fábricas a partir de tecnologias preexistentes, mas, sim, como uma revolução industrial, aos moldes das revoluções previamente conhecidas, o que pressupõe um nível altíssimo de disrupção tecnológica.

Do ponto de vista *mainstream*, a industrialização atingiu uma nova fase (quarta fase), capaz de mudar os paradigmas tecnológico e socioeconômico atuais, principalmente as relações de trabalho no chão de fábrica, onde a I4.0 traz a proposta de maior automação de processos que são feitos majoritariamente de forma manual ou com larga intervenção humana na fabricação.

² Principal feira de tecnologia do mundo, onde foi apresentado ao governo Alemão o tema da Indústria 4.0.

Figura 2 – As mudanças tecnológicas ao longo dos anos



Fonte: Accept (2019)³.

Para a definição da Indústria 4.0 do ponto de vista *mainstream* ao longo deste capítulo será utilizado cartilhas feitas por consultorias como KPMG e Deloitte, além de estudos realizados pelo Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI). A partir dessa definição e do que é entendido como I4.0 pelo *mainstream*, será possível realizar um aprofundamento no próximo capítulo dessa chamada revolução a partir do ponto de vista da literatura neoschumpeteriana e mais crítica/científica.

2.2 Principais tecnologias da Indústria 4.0

Para a plena compreensão do conceito de Indústria 4.0, é primordial a definição das principais tecnologias desse fenômeno, já que uma das principais características do processo é uma integração de alto nível das tecnologias já existentes, possibilitando sistemas industriais praticamente autônomos, com o mínimo de intervenção humana.

A I4.0 possui alguns princípios, como os quatro principais: 1) Interoperabilidade, que se baseia na capacidade de comunicação entre produtos, sistemas de produção e de transporte através da rede, independentemente da natureza do elemento inteligente e de seu fabricante; 2) virtualização, que se refere à capacidade dos sistemas de monitorar processos e, utilizando dados provenientes de sensores, criar

³ Disponível em: <https://www.accept.pt/revolucao-industrial-fases/>, último acesso em 28/10/2023.

uma versão digital que espelha o mundo físico por meio de modelos matemáticos; 3) descentralização: com o aumento na complexidade e individualização na produção, é difícil manter os padrões de sistema de controle centralizado, tornando a descentralização da tomada de decisão um fator essencial no desenvolvimento de soluções para a Indústria 4.0; e 4) a modularidade dos sistemas é essencial para concretizar os objetivos da Indústria 4.0, pois tem a capacidade de se ajustar e reorganizar *pari passu* com mudanças na demanda ou necessidade de customização de produtos (IEDI, 2017) .

Para além dos princípios que norteiam a I4.0, há inúmeras combinações tecnológicas que estão em ação, de modo que aqui serão definidas apenas as principais, ou seja, aquelas que são descritas como seus pilares até o presente momento.

2.2.1 *Big Data e Analytics*

Segundo a empresa IBM⁴, o *Big Data* é um conjunto de dados grande e diverso, que vai além da capacidade dos bancos de dados relacionais⁵ gerenciar o processo. O *Big Data* possui 4V's: volume, variedade, velocidade e veracidade. O volume se refere a grande quantidade de dados gerados e impossíveis de serem gerenciados por softwares convencionais; a variedade diz respeito às fontes dos dados, sendo eles estruturados ou não estruturados; a velocidade está presente no fluxo constante de dados que alimentam o banco e demanda uma velocidade significativa de processamento; e, a veracidade, onde são reconhecidos os diferentes níveis de confiança dos dados, que exige novas técnicas de refinamento para obtenção de dados cada vez mais consistentes.

2.2.2 *Internet das Coisas (Internet of Things – IoT)*

A Internet das Coisas é uma extensão da internet convencional, onde há a conexão de dispositivos físicos em rede que interagem entre si de maneira autônoma e conectadas na internet. A IoT permite o controle remoto dos objetos conectados e que os objetos sejam acessados através de provedores de serviço. Assim, a partir da conexão com a internet, essas “coisas” podem ser controladas, acessadas ou até

⁴ Disponível em <https://www.ibm.com/br-pt/topics/industry-4-0>, último acesso em 28/10/2023.

⁵ Banco de dados relacionais é um conjunto de informações que organiza dados em relações predefinidas.

mesmo reparadas (a nível de software) de qualquer lugar do mundo com acesso a rede mundial de computadores (SANTOS *et al.*, 2018). Um dos principais exemplos de internet das coisas é o *smartwatch*, um relógio que se conecta ao *smartphone* via IoT.

2.2.3 *Sistemas Ciber-físicos (Cyber-Physical System – CPS)*

Os CPS são sistemas que combinam elementos computacionais, como analytics, com elementos físicos e processos. Tal combinação permite capturar informações reais e transformá-las em dados, podendo ser utilizados na tomada de decisão, e são essenciais na I4.0 por realizar a interface entre processos físicos e digitais, coletando informações necessárias para outras tecnologias relacionadas a inteligência ou conectividade. Exemplos de CPS são os carros autônomos, cidades inteligentes, redes elétricas inteligentes ou até mesmo o aplicativo Waze. (IEDI, 2017)

2.2.4 *Computação em nuvem (Cloud Computing)*

A computação em nuvem está baseada na transferência de dados e realização de processos em ambientes externos a empresa, normalmente, em uma “nuvem” conectada à internet, onde há um armazenamento constante de informações essenciais, com backups constantes. Essas informações podem ser recuperadas ao acessar a nuvem, caso a empresa tenha algum problema de hardware ou software. Uma das vantagens da computação em nuvem é que as informações estão armazenadas em servidores gigantes e bem protegidos, o que dificulta o vazamento de informações confidenciais de produção ou inovações. (IEDI, 2017). O Google é um modelo em computação em nuvem, pois armazena os dados dos usuários na rede.

2.2.5 *Cibersegurança (Cyber Security)*

A cibersegurança tem como objetivo proteger sistemas informacionais, redes e dados de invasões, roubos ou outras ameaças cibernéticas. A segurança cibernética trabalha com métodos avançados para monitorar, detectar e mitigar violações em computadores, smartphones, servidores e afins. A cibersegurança é algo presente no dia a dia, como nos aplicativos de bancos e no monitoramento de redes e aplicativos para mitigar o acesso a sites maliciosos e, conseqüentemente, invasões nos dispositivos.

2.2.6 *Manufatura Aditiva (Additive Manufacturing)*

Esse conceito abrange todas as tecnologias que permitem a criação e produção de objetos por meio de sobreposição de camadas e a partir de modelos virtuais, como a impressora 3D. Essa tecnologia é um método inovador pois permite que os produtos sejam criados em um curto espaço de tempo, sem a necessidade de moldes físicos. A Manufatura Aditiva está fortemente ligada a fabricação de produtos, contudo, está presente em outros segmentos, como no campo da saúde ao imprimir próteses, por exemplo.⁶

2.2.7 *Robôs autônomos*

Os robôs autônomos são máquinas inteligentes que possuem a capacidade de obter informações, analisar dados sem a intervenção, prever situações e executar ações sem a necessidade de intervenção humana, pois rodam por meio a partir da integração de um *software* e *hardware* superpotentes. Um exemplo simples é o robô aspirador de pó, que detecta o ambiente em que está inserido, evitando bater em paredes, móveis, pessoas ou animais de estimação, tudo isso através de sensores e/ou sistemas integrados⁷.

2.2.8 *Realidade Aumentada (AR)*

A realidade aumentada permite a sobreposição de itens virtuais sobre o ambiente físico e em tempo real, de forma que o usuário possa incluir elementos em sua visualização, desde visuais a auditivos, aumentando a experiência de imersão em diferentes cenários. Na I4.0, a realidade aumentada é utilizada principalmente na virtualização, pois possibilita a modelização da realidade e a inserção de novas camadas atreladas aos ambientes. (IEDI, 2017)

2.2.9 *Integração de Sistemas*

A integração de sistemas é uma forma automatizada de sistemas distintos se comunicarem entre si. Essa técnica promove grande melhoria nos desempenhos, na organização e operações de empresas e indústrias. Um exemplo de integração de

⁶ Disponível em: <https://blueedtech.com.br/manufatura-aditiva-o-que-e-e-quais-sao-as-aplicacoes/>, último acesso 17/11/2023.

⁷ Disponível em: <https://industrial.ai/blog/robos-autonomos-na-industria-4-0>, último acesso 17/11/2023.

sistemas é a transferência de dados de prontuário de paciente entre clínicas da mesma rede (IEDI, 2017).

2.3 O conceito de Indústria 4.0 para o *mainstream*

Segundo estudo do IEDI de 2017, um dos conceitos aceitos atualmente de caracterização da Indústria 4.0 é a proposta elaborada por Mario Hermann (2015), em tradução livre:

Indústria 4.0 é um termo coletivo para tecnologias e conceitos da organização da cadeia de valor. No interior das fábricas inteligentes e modulares da Indústria 4.0, sistemas ciber-físicos (CPS) monitoram processos, criam uma cópia virtual da realidade e tomam decisões descentralizadas. Através da Internet das Coisas (IoT) os CPS se comunicam e cooperam entre si e com seres humanos em tempo real, e através da Internet dos Serviços (IoS) são oferecidos serviços organizacionais internos e externos, utilizados por participantes desta cadeia de valor (Hermann *et al.* 2015, p. 5).

Ao que parece, o próprio *mainstream* possui dificuldade em definir o conceito da Indústria 4.0, por abranger um vasto grupo de tecnologias e, ao mesmo tempo, não ser um consenso quais são as tecnologias essenciais para desenvolver a I4.0.

O que parece ser um consenso é a necessidade das tecnologias essenciais, como: Sistemas Ciber-físicos, *Big Data Analytics*, Computação em nuvem, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Cibersegurança e Manufatura aditiva, sendo que a aplicação dessas tecnologias e a construção de um sistema inteligente, é um dos pré-requisitos para a construção das chamadas fábricas inteligentes, nas palavras de Herman:

As empresas irão estabelecer redes globais com os seus equipamentos, depósitos e unidades de produção articulados por sistemas ciber-físicos. No ambiente industrial (manufatureiro), estes sistemas ciber-físicos incluem máquinas, sistemas de armazenagem e unidades de produção inteligentes, capazes de trocarem informações de forma autônoma, desencadeando ações e controles mútuos de modo independente (Hermann *et. Al*, 2015, p. 8).

As fábricas inteligentes, para além das tecnologias, são caracterizadas pela abordagem produtiva completamente diferente dos modelos anteriores, possuindo produtos também inteligentes, com rastreabilidade de produção do começo ao fim dos processos. Uma das vantagens vendidas por aqueles que estão na vanguarda do desenvolvimento da Indústria 4.0 é a possibilidade da eliminação de estoque, e

uma produção totalmente sob demanda, consequência direta do poder de rastreabilidade dos produtos gerados.

Na Figura 3, retirada do estudo “Indústria 4.0 no Brasil”, da KPMG, é ilustrado como os estágios da I4.0 se dão na percepção do *mainstream*. Nessa visão há um claro momento de transição entre a evolução da Indústria 3.0 para a Indústria 4.0, representando de forma didática a perspectiva referente a evolução dos processos, demonstrando a progressividade da transformação digital e as etapas que são caracterizadas como elementos da I4.0

Figura 3: Estágios da evolução do conceito da Indústria 4.0



Fonte: KPMG (2021).

Diferente da III RI e das demais, que nasceram a partir de uma necessidade e de uma demanda por inovações tecnológicas e sociais, a chamada IV Revolução Industrial, segundo estudos do IEDI (2017), está sendo conduzida via estratégias empresariais e promovida por instituições públicas – principalmente em países desenvolvidos, onde as tecnologias da I4.0 estão em alta.

Essas estratégias empresariais nascem dentro do cenário econômico pós-crise de 2008, onde, segundo Hiratuka e Sarti (2017), o ambiente de concorrência, que já era intenso devido à forte internacionalização das empresas na década de 80, se torna mais feroz em razão do lento crescimento da economia global, afetando diretamente o crescimento da própria demanda global, e forçando países e empresas a buscarem novos mercados para ocupação da capacidade produtiva. Nesse sentido, países centrais voltaram o olhar novamente para a indústria, para o avanço manufatureiro e

a necessidade de inovações em áreas estratégicas para o desenvolvimento econômico. Dessa forma, a Indústria 4.0 nasce dentro de um contexto em que a reorganização, a inovação e a retomada da produção manufatureira se mostraram essenciais para a reestruturação dos países desenvolvidos no pós-crise.

Dentro de todo esse contexto econômico que nasce a I4.0, segundo os estudos do IEDI (2017), a Indústria 4.0 promete ter impactos significativos no âmbito do trabalho, da economia e da produção manufatureira. No tópico seguinte, será discutido rapidamente a Indústria 4.0 pela ótica das demais revoluções industriais, e porque a trajetória dessa suposta revolução aparenta ser tão diferente das três revoluções anteriores, e estimula discussões de conceitos, caracterizações e o que a I.40 é de fato.

O que se pode concluir sobre a caracterização conceitual da I4.0 dentro do *maisntream*, é que não há nenhuma definição sólida e padrão do que, de fato, é a Indústria 4.0. O único consenso que se tem é referente às tecnologias a serem empregadas para alavancar o seu desenvolvimento e como elas devem ser aplicadas no contexto manufatureiro para uma produção mais inteligente, com menos desperdícios, mais dados e menor intervenção humana.

2.4 As Revoluções Industriais e a Indústria 4.0

Diferente da I, II e III Revoluções Industriais, a chamada IV RI não surgiu de modo a suprir novas demandas de produção, empresariais ou sociais, sendo conceitualizada como suas antecessoras, mas, sim, primeiramente foi prevista, como um processo deliberado e estratégico, definindo os pilares tecnológicos para seu desenvolvimento e, a partir daí, surge sua implementação nas economias desenvolvidas, com ênfase para a Alemanha, onde o conceito foi citado pela primeira vez. Por possuir um movimento inverso em relação às três RIs, a direção do desenvolvimento é moldada por empresas de tecnologia, industriais, organizações e até mesmo o poder público.

Nesse sentido, os governos dos países desenvolvidos, principais detentores de todas as tecnologias a serem utilizadas no desenvolvimento da Indústria 4.0, trabalham fortemente como articuladores para o deslanche dessa nova forma de produção. Para os estudiosos do IEDI, o fato da I4.0 ser prevista primeiro e colocada em prática depois, proporciona aos países as chances de se traçar uma rota

estratégica de desenvolvimento industrial para acompanhar as transformações que se anunciam, tanto na produção, quanto tecnológica e socialmente (IEDI, 2017).

Além da diferença no sentido de como surgiu as primeiras revoluções e a chamada IV Revolução Industrial, o impacto tecnológico também se mostra diferente. Isso porque nas primeiras revoluções tem-se o surgimento de tecnologias disruptivas, que acabam conflitando com as tecnologias e o modo de produção precedentes, até a destruição total do padrão anterior. Já na Indústria 4.0, é possível notar que não há, até o momento, nenhuma grande ruptura de padrões, pelo contrário, a I4.0 apropria-se de inúmeras tecnologias criadas principalmente durante a Terceira Revolução Industrial, agora as combinando e recombinaando de forma a aprimorar ou reestruturar tecnologias preexistentes. É importante mencionar também que até o momento não se tem nenhum paradigma definido na I4.0, apenas um conjunto de tecnologias essenciais, o que traz mais uma diferença em relação aos outros momentos de transformações tecnológicas, que possuíam um paradigma bem conhecido.

No sentido socioeconômico, a Indústria 4.0 promete tornar os processos cada vez mais automatizados, sendo a intervenção humana quase que mínima na maioria dos processos, além de prometer também uma nova concepção de manufatura, com criação de pequenas fábricas modulares, flexíveis e ultra conectadas (IEDI, 2017), o que possibilitaria a redução de escala sem afetar o preço final do produto, acabando com a necessidade de geração de estoque nas fábricas. Até o momento, e levando em considerando de que o conceito da I4.0 foi concebido antes de surgir na prática, nenhuma dessas mudanças aconteceu ou parece que irá acontecer no curto prazo.

Devido às grandes diferenças entre as revoluções industriais e a chamada 4ª Revolução Industrial, há inúmeras dúvidas do caráter revolucionário das transformações que a Indústria 4.0 promete trazer, principalmente, por não ter um paradigma definido e uma tecnologia predominante. Conceitualmente, ao pensar nas três revoluções, e tentar traçar um paralelo, é difícil colocar a I4.0 dentro da caixa “Revolução”, mas, ao mesmo tempo, já é tratada como tal e vem se mostrando, pelo menos segundo o *mainstream*, como a mais dinâmica das revoluções e a que mudará tudo o que foi concebido como manufatura ao longo das últimas décadas.

2.5 Considerações sobre a Indústria 4.0

Ao longo do desenvolvimento deste capítulo foi possível descrever algumas tecnologias e definir o conceito de I4.0 a partir da caracterização feita por Hermann *et al.* (2015), a qual, atualmente, é uma das definições mais aceitas do que seria a I4.0 para o *mainstream* econômico.

Contudo, vale ressaltar que não há um consenso dentro do próprio *mainstream* em relação a uma definição mais precisa do que é a Indústria 4.0. Mas, no que tange às tecnologias envolvidas no processo da I4.0, parece haver um consenso, como foram descritas ao longo do item 2.2, não limitando-se apenas as apresentadas, pois há diversas combinações tecnológicas secundárias, mas ainda assim necessárias para uma indústria estar dentro dos parâmetros conceituais descritos por Hermann *et al.* (2015) e ser considerada uma indústria 4.0.

De modo comparativo, a chamada Quarta Revolução Industrial difere das três revoluções anteriores, pois não nasce a partir de uma necessidade social de expansão da oferta e da demanda, ou de modos de produção mais efetivos, mas sim a partir de uma estratégia governamental e empresarial dos países desenvolvidos, sendo previamente planejada e estudada, tanto que foi anunciada pelo governo alemão o seu surgimento, ou seja, o surgimento dessa chamada revolução 4.0 não nasce de forma orgânica como as demais. Para o *mainstream*, o planejamento da revolução é algo positivo, pois, teoricamente, apesar de inicialmente parecer uma ameaça, supostamente dará chance e tempo para os países em desenvolvimento realizar um planejamento para atualizar suas plantas fabris para as novas tecnologias, já que seu desenvolvimento está sendo moldado e sua velocidade também (IEDI, 2017).

No que tange às tecnologias, a I4.0 também apresentou diferenciação das três revoluções industriais, pois, até o presente momento, não houve uma inovação tecnológica disruptiva que gerasse a necessidade de desenvolvimento de tecnologias e bens/produtos de suporte ao insumo-chave (que, aliás, no caso da I4.0, nem é possível de ser identificado). As tecnologias da I4.0 são uma combinação de inúmeras tecnologias pré-existentes, sendo assim, não há uma ruptura com os padrões tecnológicos anteriores e nem mesmo conflito com os modos de produção anterior, logo, não há o que Schumpeter (1984) descreveria como um autêntico processo de destruição criativa. Como há uma combinação de tecnologias pré-existentes, mais precisamente as desenvolvidas na III Revolução Industrial, pode-se concluir que, ao invés de uma destruição, tem-se um fortalecimento e/ou rearranjo das tecnologias “antigas”.

Por fim, todas as nuances mencionadas sobre a I4.0 levantam algumas dúvidas sobre tratar-se de uma revolução no presente momento, principalmente do ponto de vista crítico da Economia Política da Inovação, pelo fato da trajetória da I4.0 não se encaixar nos padrões teóricos estabelecidos, principalmente pelos neoschumpeterianos. Dessa forma, no próximo e último capítulo, é apresentada uma tentativa de refletir, a partir do respaldo de inúmeros autores especialistas em trajetórias econômicas de inovação, se o mundo presencia nesse momento uma nova revolução industrial ou não.

CAPÍTULO 3: A Indústria 4.0 sob a ótica da economia política da inovação

3.1 Expandindo Schumpeter: Carlota Perez e o paradigma tecnoeconômico das revoluções tecnológicas

As contribuições de Schumpeter para o estudo da inovação é algo inegável, tendo o economista austríaco trazido preciosos *insights* e questões sobre a inovação em uma economia capitalista. Uma dessas questões é o papel das mudanças inovativas no sistema econômico e em sua evolução. Para Schumpeter, o veículo para a inovação são os empresários e as firmas, ao passo que a competitividade é o elemento propulsor das inovações, gerando consequências diretas no sistema econômico, provocando mudanças estruturais e evoluções e promovendo o processo de criação e destruição das inovações. A concorrência torna-se dinâmica quando introduzida a inovação, pois estabelece vantagens de qualidade e custos, gerando uma mudança não apenas na aferição dos lucros, mas como na firma em si (SCHUMPETER, 1939). Em Schumpeter, os ciclos econômicos são um efeito direto dos *clusters* de inovação e acontecem em ondas e ciclos longos, contudo, o autor não buscou explicar por que as inovações surgem em agrupamentos e em determinados momentos históricos.

Na ausência de alguns elementos na análise schumpeteriana, como o da importância do processo e instituições sociais para a inovação, Freeman e Perez (1988) avançam na teoria schumpeteriana ao trazerem para a análise uma função variada a ser desempenhada pelo empresário dentro das mais diversas firmas, variação essa que depende da tecnologia, período histórico e o país onde o processo acontece. Perez critica Schumpeter por sua abordagem puramente econômica, onde os fatores sociais, institucionais e econômicos são secundários e exógenos ao processo de inovação. Na visão de Freeman e Perez (1988), o desenvolvimento econômico é caracterizado por mudanças e evoluções econômicas associadas ao surgimento de novas tecnologias, indústrias ou instituições. Tal mudança acontece de forma tão bruta que está atrelada a destruição dos modelos vigentes, sejam industriais, sejam do sistema econômico, causando mudanças permanentes na sociedade.

A partir dessa crítica e da utilização do conceito de paradigma tecnológico desenvolvido por Dosi (1982), Perez (1985) expande as ideias iniciais de Schumpeter,

ao compreender que a tecnologia não se trata apenas de um problema das engenharias ou ciências, mas se trata de uma questão fundamentalmente econômica e social. Perez (1983) aponta que o processo de inovação é caracterizado por sua aplicação e difusão na esfera produtiva, que tem como determinante as condições econômicas e sociais do período em que ocorre, pois há uma influência direta das condições socioeconômicas nas decisões de investimento e de financiamento. Na busca por transformar invenções em inovações com retornos econômicos, os agentes decidem qual direção tomar, em qual tecnologia investir e trabalhar, gerando uma trajetória de inovação. Nesse sentido, segundo Carlota Perez (2010 p. 186) “o espaço onde a mudança tecnológica necessita ser estudada é o da inovação, da convergência da tecnologia, da economia e do contexto socioinstitucional”.

Perez (2010) não vê os ciclos econômicos como efeitos dos *clusters* da inovação como Schumpeter. Para ela, há um fator causador dos ciclos econômicos dentro do capitalismo e que surge como um efeito direto da assimetria das revoluções tecnológicas, nas esferas técnicoeconômica e socioinstitucional, onde a primeira é vista como mais mutável e a segunda de difícil mudança, o que explica a necessidade de quase meio século, segundo o ciclo de Kondratieff - ondas longas ou ondas de Kondratieff são curvas econômicas de longo prazo que impulsionam o desenvolvimento social e econômico de forma ampla -, para uma inovação radical difundir-se por todas as esferas sociais, consequentemente alterando a esfera socioinstitucional da sociedade onde ocorreu o processo.

Na tentativa de explicar os ciclos econômicos de Schumpeter, Perez desenvolve o conceito de “paradigma tecnoeconômico” para uma ampliação do conceito de paradigma tecnológico, sendo possível abarcar outras áreas da sociedade consideradas importantes na visão de Freeman e Perez (1988). Para ser tratado como uma revolução tecnológica, Freeman e Perez (1988) destacam a introdução de novas tecnologias, que promovem uma redução drástica nos custos de inúmeros bens e serviços e uma considerável melhoria nas características técnicas desses mesmos bens e serviços, com um viés cada vez mais ecológico e que pode ser aplicado em diversos setores.

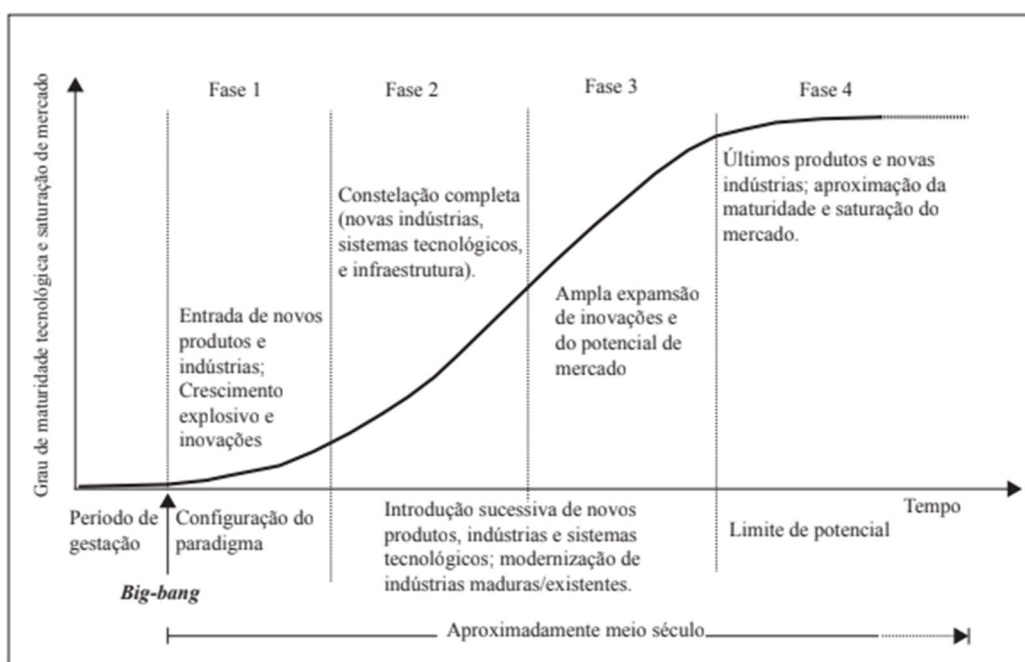
Uma revolução tecnológica pode ser definida como um conjunto poderoso e visível de tecnologias, produtos e indústrias novas e dinâmicas, capazes de abalar os alicerces da economia e promover uma onda de desenvolvimento a longo prazo. É uma constelação de inovações técnicas intimamente inter-relacionadas, que geralmente incluem insumos de baixo custo e uso

amplamente difundido – muitas vezes uma fonte de energia, em outros casos um material crucial – bem como novos produtos, processos e uma nova infraestrutura importantes. (PEREZ, 2004, p. 15, tradução livre)

Um novo paradigma pode gerar janelas de oportunidades que podem levar países a um salto qualitativo de desenvolvimento, o que pode vir a gerar uma possibilidade de convergência dos níveis de crescimento de países desenvolvidos e países em desenvolvimento (*catching-up*), mas, igualmente, há também a possibilidade de os países desenvolvidos ultrapassarem ainda mais os países em desenvolvimento (*falling behind*).

Um paradigma tecnoeconômico pode ser definido por um ciclo de expansão e de contração de investimentos, através de quatro fases: i) difusão inicial, caracterizado como o momento em que surge as inovações radicais em produtos e processos; ii) crescimento rápido ou prematura, quando as novas indústrias firmam-se e exploram as inovações sucessivas; iii) crescimento lento ou tardio, havendo uma desaceleração no crescimento das novas indústrias e o paradigma se difunde por outros setores da economia; iv) fase de maturação, quando os mercados começam saturar-se, há uma padronização dos produtos e processos, os produtos chegam a um ponto de esgotamento e as inovações incrementais nos processos trazem pouca produtividade (LA ROVERE, 2006)

Figura 4 - Ciclo de vida da revolução tecnológica



Fonte: Perez (2010).

A inovação radical possibilita não melhorias incrementais, mas inovações incrementais para dar suporte a inovação radical. Essas inovações incrementais dão origem não apenas a novos produtos, mas também a novas indústrias. O desenvolvimento de novos sistemas tecnológicos afeta o espaço social em que está inserido, desde a forma como é comercializado produtos e serviços, às políticas macroeconômicas e aos aspectos culturais (mudanças estruturais), gerando novas áreas de estudos, novas normas regulamentais, treinamentos especializados e até mesmo novas instituições organizacionais, sendo que essas mudanças retroalimentam e moldam a direção da tecnologia diante das várias possibilidades de trajetórias tecnológicas (Perez, 2010).

Carlota Perez (2010) aponta que a fase de maturação de uma tecnologia é alcançada quando os sistemas tecnológicos começam a reduzir e seus mercados apresentam os primeiros sinais de saturação.

[...] o ponto fundamental é que as tecnologias individuais não são introduzidas em isolado, mas sim em um contexto de mudança que influencia fortemente seu potencial, assim como as inovações do sistema anterior (Perez, 2010, p. 188, tradução livre).

Freeman e Perez (1988) formulam uma taxonomia das inovações, onde há uma distinção clara entre inovação incremental e radical, e entre novos sistemas tecnológicos e paradigmas tecnoeconômicos. Para Perez (2010), uma nova revolução tecnológica implica em um novo paradigma tecnoeconômico, que irá corresponder a um novo conjunto de práticas produtivas - e mais lucrativas, no que tange aos insumos -, métodos e tecnologias, juntamente com novas estruturas de organização, novos modelos de gestão e novas estratégias empresariais. Ou seja, uma mudança de paradigma tecnoeconômico implica em mudanças institucionais, produtivas e de hábitos, a fim de viabilizar a utilização do insumo-chave (Perez, 2010).

Ainda segundo Perez, o paradigma tecnoeconômico ocorre de forma simultânea em três áreas principais com relação às práticas e percepções dos agente:

- 1) Dinamização da estrutura de custos relativos aos insumos de produção: surgem novos elementos com baixos custos ou custos decrescentes e tornam-se atrativos devido as possibilidades de maiores margens de lucros e maior retorno de investimentos;
- 2) Espaços percebidos de inovação: as oportunidades das firmas são mapeadas visando o desenvolvimento crescente das novas tecnologias ou para

utilização otimizada dos setores existentes; e 3) Nos critérios e princípios organizacionais: as práticas possuem um maior desempenho a partir de determinados métodos e estruturas que objetivam tirar o máximo proveito das novas tecnologias, visando maior eficiência e maximização dos lucros (Perez, 2010).

Para Perez (2010), há um aprendizado social e uma adaptação mútua da tecnologia e da sociedade ao novo paradigma tecnoeconômico, juntamente com um redesenho da estrutura institucional onde o novo paradigma está instalando-se. Quando um paradigma tecnoeconômico se esgota e uma nova revolução emerge, os hábitos e instituições do paradigma anterior agem como força inercial que precisa ser transformada para permitir uma expansão da nova revolução e do desenvolvimento da nova tecnologia. Esse pensamento vai ao encontro da destruição criativa de Schumpeter (1984), onde a nova tecnologia destrói a antiga para poder emergir e dar lugar ao novo.

3.2 Sistemas tecnológicos: as tecnologias que compõe a Indústria 4.0

O *mainstream* consegue definir claramente quais as principais tecnologias da Indústria 4.0, como abordado no capítulo 2, e, como evidenciado no mesmo capítulo, as tratam como novas tecnologias que configurariam uma revolução industrial totalmente nova, a Indústria 4.0. Segundo Brixner *et al.* (2019), os principais componentes da I4.0 podem ser agrupados em quatro categorias: dispositivos (sensores, chips, módulos de comunicação etc.); redes de comunicação (fornecem conectividade a celulares, satélites); plataformas de *software* (possibilitam a capacidade de integração entre dispositivos, redes e aplicativos); e aplicações e procedimentos de produto do processamento de dados via plataformas. Apesar de estar em linha com o que o *mainstream* considera as principais tecnologias da I4.0, Brixner *et al.* (2019) ressaltam que a origem dessas tecnologias remonta à década de 1990, e que não há, de fato, uma um novo insumo-chave em ação. Nesse sentido, os autores elaboram o seguinte quadro na tentativa de vincular as principais tecnologias da I4.0 com a época de seu surgimento de fato.

Quadro 1 - Principais tecnologias da Indústria 4.0, componentes e dispositivos, presença de *hardware* ou *software* e real ano de surgimento

Tecnologia	Componente/ dispositivo	Hardware	Software	Ano de surgimento	Primeiras citações
Internet das coisas	Sensores, redes, sistemas integrados, codificadores, decodificadores, m2m, hmi, h2m	X	X	Dispositivos existentes desde o início de 1990	Dew (2003); Gershenfeld et al. (2004)
Sistemas ciberfísicos	Sistema de controle em rede, <i>middleware</i> , sistemas operacionais	X	X	2008 (a nível industrial)	Lintelman et al. (2008); Wang et al. (2008); Baheti y Gill (2011)
Inteligência artificial	Algoritmos, modelos matemáticos, <i>software</i>		X	O conceito, com conotações mais antigas, existe desde os anos 1950	Turing (1950); McCarthy et al. (1955); Shubik (1960)
Realidade virtual	<i>Headsets</i> , dispositivos para captura de movimentos no espaço 3D	X	X	Como conceito aparece no quarenta; como tecnologia baseado em computador, os anos oitenta. Os primeiros <i>headsets</i> surgem nos anos sessenta.	Sutherland (1965); Loeffler (1993); Sherrard y Narayanan (1994); Schofield et al. (1995)
Realidade aumentada	<i>Headsets</i> , dispositivos para simular objetos 3D em espaços reais		X	Surge em paralelo a realidade virtual, mas a fabricação acontece nos anos 1990	Caudell y Mizell (1992); Azuma (1997); Van Krevelen y Poleman (2010)
Manufatura aditiva	Impressão e <i>desing</i> por <i>software</i>		X	1981	Kodama (1981a y 1981b)
Computação em nuvem	Servidores	X		Surge nos anos 1960, mas com desenvolvimento tardio, na década de 2000 (Amazon, Google)	Licklider (1963); Barry (2003); Buyya et al. (2008); Kshetri (2010); Low et al. (2011); Etro (2015)
Análise <i>Big Data</i>	Bases de dados não relacionais, dados não estruturados	X	X	Primeira década de 2000	Diebold (2003); Ratner (2003)
Robôs autônomos	Rôbos, computadores, algoritmos de inteligência artificial	X	X	Década de 1970	Parks y Bell (1970)

Fonte: Elaboração própria a partir de Brixner et al. (2019).

Nota-se, a partir da análise do Quadro 1, que a maioria das tecnologias utilizadas na I4.0 remonta a segunda metade do século XX, período em que, como se viu no capítulo 1, emerge a Terceira Revolução Industrial e o avanço nas áreas da informação e, sobretudo, microeletrônica. Perez (2010) distingue uma revolução tecnológica de um conjunto de sistemas tecnológicos. A revolução possui interconexão e interdependência tecnológica, econômica e organizacional e o poder de transformação na economia e na sociedade, ao passo que um sistema tecnológico é um conjunto de procedimentos e métodos que visa facilitar a produção de bens e serviços a partir das tecnologias existentes.

Brixner et al. (2019) apontam que a I4.0 não se trata da introdução de um novo fator chave, mas, sim, do agrupamento de uma variedade de tecnologias pré-existentes, que sofreram diversas melhorias contínuas de componentes em simbiose

de *hardware* e *software*. Os insumos-chaves da I4.0 são os mesmos da Terceira Revolução Industrial, ou seja: microeletrônica de baixo custo, computadores e *softwares*, telecomunicação e instrumentos de controle (BRIXNER *et al.*, 2019). Contudo, apesar de serem os mesmos fatores chaves, os autores (2019) apontam que nesta etapa há um barateamento e uma maior fusão entre insumo e fatores chaves, como sensores, robôs, *data center*, plataforma e aumento significativo da capacidade de processamento de dados.

Os motores da I4.0 são a integração de *software* e *hardware* em produtos e processos produtivos de diversos setores, sendo os computadores, softwares e telefones celulares os reais vetores, algo repetitivo quando comparado com a Terceira Revolução Industrial (BRIXNER *et al.*, 2019). O que parece acontecer na I4.0 é a *maturação* de um conjunto de itens criados na segunda metade do século XX - inteligência artificial, robótica, *big data*, etc. -, de modo a possibilitar uma integração ao resto dos setores produtivos da sociedade e uma alta capacidade de difusão dessas tecnologias.

las ramas inducidas en I4.0 serían el conjunto de objetos tangibles e intangibles que se usan en forma interconectada para la producción de bienes y servicios, como los servicios de logística y transporte que apuntan a lograr aumentos significativos en la productividad y en la tasa de beneficio. (BRIXNER *et al.*, 2019, pág. 44).

Dessa forma, a partir da análise das tecnologias aplicadas, com apoio dos conceitos cunhados por Perez, Brixner *et al.* (2019) apontam que a I4.0 é uma nova fase do paradigma já existente, é uma convergência, interconexão e integração do que já existe e, por esse motivo, uma caracterização da Indústria 4.0 é difícil. Além do que, o fenômeno da I4.0 se desenvolve em uma fase oligopolista do capitalismo, onde os principais atores são grandes empresas multinacionais líderes nos mercados de *software*, como Google, IBM e Microsoft e empresas multinacionais líderes em fabricação, como Siemens, Bosch, Honda. Todas essas empresas estão alocadas em países desenvolvidos, com grande potencial de pesquisa e desenvolvimento e com grandes *players* para aportar financeiramente integrações mais bruscas dentro da indústria, e onde há um grande apoio governamental para que a I4.0 deslanche com o *status* de uma nova revolução industrial (BRIXNER *et al.*, 2019).

3.3 A Indústria 4.0 como uma estratégica política

Como mencionado brevemente no início do capítulo 2, o termo Indústria 4.0 foi cunhado pelo governo alemão oficialmente em 2011, e utilizado para denominar o projeto nacional para o desenvolvimento de uma manufatura mais integrada e inteligente, visando o aumento da competitividade alemã dentro da indústria (IEDI, 2017). Nesse sentido, atualmente, há inúmeros pesquisadores das áreas das ciências aplicadas e economia que busca entender o que é a Indústria 4.0, e como as tecnologias digitais irão remodelar as indústrias de transformação (REISCHAUER, 2018). Contudo, por não possuir uma trajetória clara em relação as tecnologias utilizadas, a caracterização e até mesmo a conceitualização da Indústria 4.0 é algo difícil, justamente pelo conceito ser tratado como uma quarta revolução industrial, mas não apresentar características de um novo paradigma tecnoeconômico nos termos de Carlota Perez (BRIXNER *et al.*, 2019).

Por entender a necessidade de uma conceitualização, Reischauer (2018) realiza uma breve estudo sobre a Indústria 4.0 pela ótica discursiva da inovação, para assim esclarecer a identidade da I4.0. Ainda segundo o autor, os atores centrais dessa suposta quarta revolução industrial são governos, empresas, sindicatos e acadêmicos e agentes políticos, não apenas na Alemanha, mas em outros países europeus como França, Reino Unido, Suíça, Itália etc. Além disso, grupos de consultoria como McKinsey e Boston *Consulting Group* estão utilizando em suas publicações cada vez mais o termo “Indústria 4.0”.

O conceito de onda longa de Kondratiev quando aplicado na Indústria 4.0 apresenta limitações, pois uma onda está entrelaçada a uma revolução tecnológica, econômica e social, o que não acontece na I4.0. Outra limitação das ondas longas ao ser aplicada na I4.0 é o desenrolar diferenciado entre as nações, o que não parece acontecer na I4.0, tendo em vista que o que é seguido pelos países e seus agentes para o desenvolvimento do conceito é a cartilha alemã (REISCHAUER, 2018).

Figura 5 - Comparação da Indústria 4.0 sob o ponto de vista da teoria das ondas longas e uma visão discursiva da inovação

Dimensão comparativa	Indústria 4.0 como uma Onda Longa	Indústria 4.0 como discurso orientado por políticas institucionalizar sistemas de inovação industrializados
Identidade Central	Revolução tecnológica	Discurso de inovação orientado por políticas
Resultado	Mudanças na vida social e econômica da sociedade	Inovação institucionalizada
Prazo	Longo prazo	Médio Prazo
Relevância dos atores	Baixo	Alto
Possibilidade de co-determinação	Baixo	Alto

Fonte: Adaptado de Reischauer (2018), tradução livre.

Reischauer (2018) propõe que a Indústria 4.0 é um discurso orientado por política, sendo uma ação comunicativa que molda a realidade social. Pensar na I4.0 como discurso facilita a compreensão da identidade do conceito, por duas razões: 1) pensar a I4.0 como discurso esclarece que não se trata de uma de um novo fator chave, mas, sim, comunica uma previsão de transformação para a indústria, possibilitando um compartilhamento de conhecimento entre empresa, indústria e academia; e 2) ao se pensar a I4.0 como discurso, surge um leque de oportunidades para governos, empresas, sindicatos e academia moldarem e traçarem o percurso da I4.0 através da comunicação - o que mostra aos atores a possibilidade de mudanças, ao notarem que o conceito ainda pode ser moldado, e que não necessariamente é preciso desenvolver novas tecnologias.

Em seu artigo, Reischauer (2018) recomenda que a I4.0 deve ser entendida como um discurso de inovação orientado por políticas, e que as decisões políticas desempenham um papel fundamental no surgimento do conceito e em sua manutenção. Por ser um discurso alemão, Reischauer (2018) saliente que a economia alemã é uma economia de mercado coordenada por fortes relações industriais, e que, portanto, os industriais e sindicatos possuem grande força de atuação. Economias coordenadas tendem a serem colaborativas e incluem os atores políticos nas decisões estratégicas. Ou seja, o discurso da I4.0 seria bem desenvolvido em economias semelhantes a alemã, onde sistemas de inovações são planejados por diferentes grupos sociais, de empresários a acadêmicos e sindicalizados.

(...) o resultado pretendido da Indústria 4.0: como o discurso de inovação orientado por políticas visa sistemas de inovação que abrangem negócios, academia e política, um modo de sistema de inovação conhecido como modo de inovação *Triple Helix*. O modo de inovação da *Triple Helix* destaca a base multidisciplinar da inovação (REISCHAUER, 2018, p. 31, tradução livre).

Segundo Reischauer (2018), o modo *Triple Helix* enfatiza como universidade, empresa e política cocriam a inovação e as muitas maneiras em que academia, empresa e governo estão conectados para gerar o desenvolvimento econômico. Nesse sentido, existe uma tentativa do Estado em criar cooperação dos setores de interesse na geração de inovações, o discurso institucional da I4.0 é uma forma de estimular a inovação ao passo que anuncia a possibilidade de uma transformação.

3.4 Indústria 4.0: uma breve análise do mercado de trabalho e as mudanças de qualificação da mão de obra

Como sinalizado por Perez (2010), um novo paradigma tecnoeconômico gera impactos diversos nas organizações, economia, sociedade e produção, logo, pode-se deduzir que o mercado de trabalho e a qualificação da mão de obra sofrerá impactos significativos, tendo em vista que, se as formas organizacionais e de produção mudam, se modificam também o perfil da mão de obra necessária para o desempenho de determinadas funções.

A Indústria 4.0 ser ou não uma revolução traz impactos significativos para os estudos sobre o mercado de trabalho, pois, se se tratasse de uma revolução, as mudanças no perfil da mão de obra seriam quase que certas devido ao caráter disruptivo das revoluções. Caso não seja uma revolução, mas apenas um novo sistema tecnológico, as implicações são outras, como, por exemplo, não necessariamente haveria a criação de novas profissões ligadas ao insumo-chave, assim como não necessariamente a forma de trabalho como é conhecida hoje mudaria de forma abrupta.

(...) muitas das competências de trabalho e de gestão que tiveram sucesso no passado tornam-se obsoletas e ineficientes, exigindo processos de desaprendizado, aprendizagem e reaprendizagem. Tais mudanças na economia são muito perturbadoras do *status quo social* e sempre acompanharam o crescimento explosivo de nova riqueza com fortes tendências polarizadoras na distribuição de rendimentos. (Perez, 2010, p. 13, tradução livre)

Ser ou não ser uma revolução gera incertezas sobre o que esperar do mercado de trabalho atual e futuro. Brixner *et al.* (2019) ressaltam que não apenas a automação e a destruição de postos de trabalho são questões a serem discutidas, mas também como a I4.0 impactaria a qualificação da mão de obra e se haveria uma demanda maior por trabalhadores com conhecimentos específicos.

Do ponto de vista dos autores (2019), há uma incerteza associada as mudanças potenciais que a I4.0 pode gerar no mercado de trabalho e na qualificação da mão de obra, pois, ao não trazer uma nova tecnologia de fato, apenas o rearranjo de tecnologias já conhecidas, não é possível afirmar que irá gerar mudanças drásticas no mercado de trabalho. Por outro lado, há uma necessidade de pesquisa e desenvolvimento geradas pela I4.0, que no geral, estão sendo desenvolvidas por empresas de tecnologia, que em muitos casos carecem de mão de obra com conhecimentos específicos não apenas tecnológico, mas da produção e do setor produtivo. Contudo, os autores também ressaltam que a I4.0 traz uma nova divisão do trabalho, mas, uma divisão do trabalho interna às empresas e à cadeia produtiva, e não necessariamente essa nova divisão teria impactos macro sobre a sociedade como um todo, nem na qualidade e quantidade da mão de obra demandada.

Assim, a I4.0 não teria grandes impactos em um maior número de graduados em cursos ligados às tecnologias bases da Indústria 4.0, ou em novas qualificações, e, tampouco, no surgimento de novas áreas profissionais. Nesse cenário, se o insumo-chave continua o mesmo da III RI – microeletrônica e semicondutores –, o sentido das políticas públicas dos países em desenvolvimento deveriam manter-se ou seguir na direção do fortalecimento das qualificações e competências necessárias para avançar no paradigma tecnoeconômico da Terceira Revolução Industrial, assim como focar em desenvolver indústrias nacionais criadoras dos insumos-chaves, visando diminuir a dependência externa. O Brasil, que no governo Bolsonaro ensaiou ir na contramão desse fortalecimento da qualificação e insumo-chave ao tentar privatizar a única fábrica de semicondutores no país, Centro Nacional de Tecnologia Avançada (CEITEC), já estava e está enfrentando tentativas de fabricantes estrangeiros em captar os engenheiros extremamente qualificados que compõem o CEITEC⁸.

⁸ Inúmeras matérias foram vinculadas nos meios de comunicação anunciando a privatização da CEITEC no governo Bolsonaro (que posteriormente foi cancelada pelo atual governo, Lula, em 2023)

3.5 Conclusões acerca da Indústria 4.0 pelo viés da economia política da inovação

Ao analisar a Indústria 4.0 pelos conceitos estabelecidos na economia política da inovação, foi possível concluir que a chamada Quarta Revolução Industrial não apresenta grandes mudanças quando comparada com a Terceira Revolução Industrial e, pelo contrário, a I4.0 utiliza de inúmeras tecnologias desenvolvidas nesse período, não apresentando um novo insumo-chave ou uma inovação radical. Logo, não houve uma quebra nos padrões tecnológicos anteriores, mas, sim, uma série de inovações incrementais em cima do insumo-chave da III RI, a microeletrônica e os semicondutores.

O argumento acima é reforçado por Brixner *et al.* (2019) ao mapear o ano de surgimento das principais tecnologias envolvidas no processo da Indústria 4.0, assim como as primeiras citações. Os estudos de Brixner concluem que as tecnológicas que compõem a I4.0 remetem, principalmente, a segunda metade do século XX, não trazendo grandes novidades em termos de *hardware* e *software*.

Ao não apresentar novos insumos-chaves e ser constituída por tecnologias antigas, a Indústria 4.0 não aparenta ser uma nova revolução industrial nos moldes teorizados pela economia política da inovação, assim, a ideia apresentada por Reischauer (2018) de que a I4.0 não se trata de uma revolução, mas de uma estratégia política desenhada pelo governo alemão para fortalecer a cooperação entre os diversos agentes envolvidos no desenvolvimento de inovações, parece ser algo plausível. Nesse sentido, Reischauer conceitualiza a Indústria 4.0 como um discurso de inovação orientado por políticas públicas e construído para economias semelhantes a alemã, que são coordenadas e colaborativas.

Compreender a I4.0 não como revolução, mas como discurso, tem impacto nas políticas públicas desenvolvidas pelos governos nacionais, principalmente dos países emergentes, pois possibilita um direcionamento mais assertivo nas qualificações e competências da mão de obra, assim como o desenvolvimento industrial em cima das tecnologias essenciais no momento, como semicondutores e microeletrônica, para

e assinalando o que as entidades científicas definiram como “capítulo trágico” do apagão tecnológico no Brasil (<https://www.metropoles.com/brasil/sob-protestos-governo-fecha-unica-fabrica-nacional-de-semicondutores>, último acesso em 04/12/2023)

assim, após uma consolidação nas tecnologias essenciais, desbravar todas as possibilidades que se tem ao possuir esse domínio, que é inclusive, avançar nas tecnologias que abrangem a Indústria 4.0.

Considerações Finais

No decorrer desta análise foi possível compreender a Indústria 4.0 através da leitura *mainstream*, que a entende como uma Quarta Revolução Industrial, capaz de reinventar os modos produtivos atuais através da integração de diferentes tecnologias, como Inteligência Artificial, Manufatura Aditiva, Computação na nuvem, *Big data* etc. Contudo, o próprio *mainstream* se mostrou incapaz de caracterizar e conceitualizar com precisão o que vem a ser a I4.0, o que não contribui para validação desta como, de fato, uma Quarta Revolução Industrial, com inovações radicais e um novo insumo-chave. Em contrapartida, há a leitura de autores como Brixner que, apoiados no conceito de paradigma tecnoeconômico de Carlota Perez, mostram que não houve uma ruptura de fato com o padrão tecnológico anterior, mas apenas uma melhoria contínua das tecnologias desenvolvidas na segunda metade do século XX, ou seja, durante a Terceira Revolução Industrial.

A Indústria 4.0, no atual momento, aparenta ser uma mudança no sistema tecnológico, a maturação de tecnologias desenvolvidas ao longo da segunda metade do século XX. Essa maturação possibilitou uma maior integração e interconexão devido a *softwares* e *hardwares* mais poderosos e maior estabilidade nas conexões devido ao avanço da conexão da internet ao longo das duas últimas décadas, passando de 2G para 5G. Nesse sentido, entender as tecnologias da I4.0 não como algo revolucionário, mas como tecnologias que se aprimoraram ao longo das décadas e hoje estão possuem uma maior integração é essencial para estipular a trajetória tecnologia da I4.0.

A ideia de Reischauer (2018) de que a Indústria 4.0 é um discursivo político criado para estimular a colaboração de diversos agentes no desenvolvimento de inovações compreende melhor a Indústria 4.0 do que a denominação de uma Quarta Revolução Industrial, e é reforçada quando analisado o trabalho de Brixner *et al.* (2019), ao mapearem o ano de surgimento das tecnologias que compõem a Indústria 4.0.

Ao ser compreendida mais como um discurso politicamente construído do que uma revolução propriamente dita, a Indústria 4.0 perde o poder atribuído a ela pelo *mainstream* - grandes transformações nos processos -, e passa a ser uma estratégica coordenada por governos dos países desenvolvidos, países estes que já possuem domínio das tecnologias desenvolvidas ao longo do século XX, e contam como mão

de obra extremamente qualificada. Para além disso, entender a I4.0 como discurso possibilita os países em desenvolvimento a focarem no que *realmente* é necessário para o desenvolvimento de indústrias nacionais produtoras dos insumos-chaves – microeletrônica e semicondutores –, e direcionar as políticas públicas para o caminho certo, como a qualificação da mão de obra e investimentos estruturais.

Por ainda estar em curso, é impossível afirmar de forma categórica que a Indústria 4.0, no longo prazo, não poderá se tornar uma revolução industrial, mesmo que seu início tenha se dado a partir de um discurso politicamente construído. Contudo, com as informações disponíveis até o momento e utilizando do respaldo dos conceitos da economia política da inovação, denominar a I4.0 como uma revolução tecnológica parece ser algo tecnicamente inadequado, além de extremo. Cabe como agenda para pesquisas futuras perseguir o desenvolvimento destes novos sistemas tecnológicos, investigar o surgimento ou não de um novo e revolucionário insumo-chave e, principalmente, analisar e refletir sobre as possíveis repercussões posteriores em termos de políticas industriais, geopolítica e mercados de trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRIXNER, C. *et al.* Industria 4.0: ¿Intensificación del paradigma tic o nuevo paradigma tecnoorganizacional? **Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación (CIECTI)**. 2019.

BRIXNER, C. *et al.* Back to the future. Is industry 4.0 a new tecno-organizational paradigm? Implication,,s for Latin American countries. **Economics of Innovation and New Technology**, v.29, n. 7, 2020.

COUTINHO, Luciano. A Terceira Revolução Industrial e Tecnológica: As grandes tendências de mudança. **Economia e Sociedade. Campinas: UNICAMP/IE**, n.1, 1992,

DIEGUES, C. A.; ROSELINO. E. J. Política Industrial, Tecno-nacionalismo e Indústria 4.0: a Guerra Tecnológica entre China e EUA. **V Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação**. 2021

DOSI, G.; PAVITT, K.; SOETE, L. **The Economics of Technical Change and International Trade**. Hertfordshire: Harvester Wheatsheaf. 1990

DOSI, G. **Innovation, Organization and Economic Dynamics**. Edward Elgar. 2000.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (IEDI). Indústria 4.0: A Política Industrial da Alemanha para o Futuro. **Carta IEDI Edição 807**, 2017. Disponível em: https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_807.html. Acesso em: Setembro, 2023.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. *Structural crisis of adjustment, business cycles and investment behaviour*. In G. Dosi; C. Freeman; R. Nelson; G. Silversberg (Eds.), **Technical Change and Economic Theory**: Pinter Publishers, 1988.

HARVEY, David. **A condição pós-moderna**. 17. ed. [Trad. Adail Ubirajara Sobral; Maria Stela Gonçalves] São Paulo: Loyola, 1992.

HERMANN, M., PENTEK, T., OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. **Business Engineering Institute St. Gallen**, Lukasstr. 4, 2015.

HIRATUKA, C., SARTI, F. Transformações na estrutura produtiva global, desindustrialização e desenvolvimento industrial no Brasil: uma contribuição ao debate. **Revista de Economia Política**, vol. 37, nº 1 (146), 2017.

HOBSBAWM. Eric J. **A era das Revoluções – 1789/1848**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1977.

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. *Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics*. **Computers in Industry**, v. 89. 2017.

FARAH JUNIOR, M. F. A Terceira Revolução Industrial e o Novo Paradigma Produtivo: Algumas Considerações sobre o Desenvolvimento Industrial Brasileiro nos Anos 90. **Revista Da FAE**, 3(2), 2017.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative. **Industrie 4.0: final report of the Industrie 4.0 Working Group**. 2013.

KPMG, **Indústria 4.0 no Brasil: Cenários e perspectivas**, 2021.

LA ROVERE, R. L. Paradigmas e trajetórias tecnológicas. **Economia da Inovação Tecnológica**. São Paulo: Hucitec: Ordem dos Economistas do Brasil, 2006.

LIMA, F. R.; GOMES, R. Conceitos e tecnologias da Indústria 4.0: uma análise bibliométrica. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, SP, v. 19, p. e0200023, 2020.

LU, Y. Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6. 2017.

KEYNES, M. J. "O Fim do Laissez-Faire". In: Szmrecsányi, T. (org.) **Keynes (Economia)**. São Paulo: Atlas, 1983.

PASQUINI, C. Revoluções Industriais: uma abordagem conceitual. **Revista Tecnológica da Fatec Americana**, v. 8, n. 01, 2020.

PEREZ, C. Structural Change and Assimilation of New Technologies in the Economic and Social Systems. **Futures**, Vol. 15, No. 5, 1983.

PEREZ, C. Microelectronics, long waves and world structural change: new perspectives for developing countries. **World Development**, v. 13, n. 3, 1985.

PEREZ, C. Technological Revolution and Financial Capital. The Dynamics of Bubbles and Golden Ages. Cheltenham, **Edward Elgar Publishing Limited**, 2002.

PEREZ, C. "Technological Revolutions, Paradigm Shifts and Socio-institutional Change," Chapters, in: Erik S. Reinert (ed.), **Globalization, Economic Development and Inequality**, chapter 7, Edward Elgar Publishing, 2004.

PEREZ, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. **Cambridge Journal of Economics**, v. ?, n. ?, 2010.

REISCHAUER, G. Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing. **Technological Forecasting & Social Change**, n. 132, 2018.

QUATROCHI, G.; SILVA, A. L. G. Banks 4.0 in Brazil: possibilities to ensure new players financing role through its market positioning. **Innovation and Development journal**, v. 13, n. 3, 2023.

SANTOS, Bruno P. *et al.* Internet das Coisas: da Teoria à Prática, 2018.

SCHUMPETER, J. Business cycles: a theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process. **New York/Toronto/London: McGraw-Hill Book Company**, 1939.

SCHUMPETER, J. **Capitalismo, Socialismo e Democracia**. Rio de Janeiro: Zahar, 1984.

SILVA, A. L. G. Concorrência sob condições oligopolísticas: contribuição das análises centradas no grau de atomização/concentração dos mercados. **Campinas: Instituto de Economia, Unicamp (Coleção Teses)**, 2010.

SILVA, M. C. A.; GASPARIN, J. L. A Segunda Revolução Industrial e suas Influências sobre a Educação Escolar Brasileira. In **HISTEDBR - VII Seminário Nacional de Estudos e Pesquisas**. Campinas: UNICAMP - Faculdade de Educação, 2006.

UTTERBACK, J. **Dominando a Dinâmica da Inovação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996.

WANG, L.; WANG, G. Big data in cyber-physical systems, digital manufacturing and Industry 4.0. **International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)**, v. 6, n. 4. 2016.