

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

**Faculdade de Ciências e Letras
Campus de Araraquara - SP
Departamento de Economia**

OZIAS SANTOS DA CONCEIÇÃO OLIVEIRA

**REDES DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS 5G:
Contextualização a partir de uma revisão da literatura**



ARARAQUARA- SP

2021

OZIAS SANTOS DA CONCEIÇÃO OLIVEIRA

**REDES DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS 5G:
Contextualização a partir de uma revisão de literatura**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências e Letras – Unesp/Araraquara, como requisito para obtenção do título de Mestre em Economia.

Linha de pesquisa: Economia da Tecnologia e da Inovação.

Orientador: Prof. Dr. Enéas G. de Carvalho

Coorientador: Prof. Dr. Rogério Gomes

ARARAQUARA- SP

2021

O48r Oliveira, Ozias Santos da Conceição
Redes de comunicações móveis 5g : contextualização a partir de uma revisão da literatura / Ozias Santos da Conceição Oliveira. -- Araraquara, 2021
127 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Letras, Araraquara
Orientadora: Enéas de Carvalho
Coorientadora: Rogério Gomes

1. Teoria evolucionária. 2. Indústria 4.0. 3. Tecnologia 5G. 4. Economia. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Letras, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

OZIAS SANTOS DA CONCEIÇÃO OLIVEIRA

REDES DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS 5G: Contextualização a partir de uma revisão de literatura

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências e Letras – Unesp/Araraquara, como requisito para obtenção do título de Mestre em Economia.

Linha de pesquisa: Economia da Tecnologia e da Inovação.

Orientador: Prof. Dr. Enéas G. de Carvalho

Coorientador: Prof. Dr. Rogério Gomes

Data da defesa: 21/10/2021.

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Presidente e Orientador: Prof. Dr. Enéas G. de Carvalho
Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Departamento de Economia

Membro Titular: Prof^ª. Dra. Tatiana Massaroli de Melo
Universidade Estadual Paulista (UM GESP) – Departamento de Economia

Membro Titular: Prof. Dr. Marcelo Pinho
Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR

Local: Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências e Letras
UNESP – Campus de Araraquara

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram para que eu conseguisse chegar até aqui, especialmente agradeço à minha mãe e à minha irmã que sempre torceram por mim e me forneceram todo apoio nesta curta, mas árdua jornada que foi o mestrado.

Agradeço ao Núcleo de Apoio ao Estudante (NAE) da Unesp-Fclar que me concedeu um auxílio de permanência estudantil que foi fundamental para que eu pudesse prosseguir no curso durante os períodos iniciais nos quais eu não possuía nenhuma bolsa.

Ao orientador, professor Enéas de Carvalho, pelo acompanhamento com críticas e conselhos durante todas as etapas desta pesquisa e pela paciência e compreensão diante das dificuldades e desafios que eu enfrentei ao longo do desenvolvimento deste estudo.

Ao coorientador, professor Rogério Gomes, pelos conselhos e sugestões de leitura que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço aos colegas da Pós-graduação que me acompanharam e me ajudaram com conselhos ao longo dessa jornada, especialmente: Luana, Larissa, Tatiana, Janaína, Lucas.

Agradeço a oportunidade que a Univesp me concedeu de atuar como facilitador no ensino à distância. Foi uma experiência enriquecedora e que eu vou levar comigo.

Agradeço ao professor Dr. Marcelo Pinho e à professora Dra. Tatiana Massaroli pelas críticas e sugestões. E agradeço também aos comentários e sugestões do professor Dr. Sebastião Guedes no exame de qualificação.

Aos professores e a coordenação do programa de Pós-graduação em Economia da Unesp. E a todos os funcionários e funcionárias da Unesp-Fclar que cuidam da universidade e proporcionam as condições para um ótimo ambiente de estudo.

Sou muito grato a todos!

“Na verdade, a economia capitalista não é e não pode ser estacionária. Nem está simplesmente se expandindo de maneira uniforme. Está incessantemente sendo revolucionada de dentro por novos empreendimentos, isto é, pela introdução de novos produtos ou novos métodos de produção ou novas oportunidades comerciais na estrutura industrial tal como existe a qualquer momento dado.”

Joseph Schumpeter in *Capitalismo, Socialismo e Democracia* (1942,p.13).

“O cérebro eletrônico faz tudo

Quase tudo

Quase tudo

Mas ele é mudo

O cérebro eletrônico comanda

Manda e desmanda

Ele é quem manda

Mas ele não anda”

Gilberto Gil, “Cérebro eletrônico”,1969.

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é identificar e explicitar os possíveis vínculos entre a tecnologia 5G e a Indústria 4.0 com base na teoria evolucionária neo-schumpeteriana. A mudança econômica é um dos pilares da dinâmica da economia capitalista e no atual contexto a Indústria 4.0 se apresenta como a principal mudança tecnológica que atravessa a economia global e promete reconfigurar a esfera produtiva. Esta pesquisa adota a hipótese de que a tecnologia 5G é fundamental para o pleno desenvolvimento e a efetivação da Indústria 4.0. A metodologia desta pesquisa é realizada a partir de uma revisão da literatura sobre a tecnologia 5G e de uma contextualização da Indústria 4.0; uma vez que esta última é um novo paradigma tecnoprodutivo, composto por um conjunto de inovações tecnológicas ou tecnologias emergentes, que atuam conjuntamente e que estão transformando a esfera produtiva da economia global. Por sua vez, a tecnologia 5G promete fornecer a infraestrutura de conectividade necessária para o bom funcionamento e a plena efetivação do conceito de fábrica inteligente, que é, por seu turno, um dos pilares da Indústria 4.0.

Palavras-chave: Tecnologia 5G, Teoria Evolucionária, Indústria 4.0.

ABSTRACT

The aim of this research is to identify and explain the possible links between 5G technology and Industry 4.0 based on neo-Schumpeterian evolutionary theory. Economic change is one of the pillars of the dynamics of the capitalist economy and, in the current context, Industry 4.0 is presented as the main technological change that crosses the global economy and promises to reconfigure the productive sphere. This research adopts the hypothesis that 5G technology is essential for the full development and realization of Industry 4.0. The methodology of this research is carried out from a literature review on 5G technology and a contextualization of Industry 4.0; since the latter is a new techno-productive paradigm, composed of a set of technological innovations or emerging technologies, which act together and are transforming the productive sphere of the global economy. In turn, 5G technology promises to provide the necessary connectivity infrastructure for the proper functioning and full realization of the smart factory concept, which is, in turn, one of the pillars of Industry 4.0.

Keywords: 5G Technology, Evolutionary Theory, Industry 4.0.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Pilares tecnológicos da Indústria 4.0.....p.49
- Figura 2 -** Elementos formadores da Indústria 4.0.....p.51
- Figura 3-** Esquema de IoT entre máquinas..... p.54
- Figura 4-** Internet de serviços..... p.55
- Figura 5-** Exemplo de um sistema de sensoriamento remoto de um veículo autônomo..... p.60
- Figura 6-** Uso de *Big data* em companhias de grande porte..... p.61
- Figura 7-** Interseção das áreas na Biotecnologia..... p.63
- Figura 8-** *Market Share* global dos fornecedores de equipamentos de telecomunicações..... p.77
- Figura 9 -**A evolução das tecnologias das comunicações móveis.... p.78
- Figura 10-** Comparação entre as tecnologias 1G,2G,3G e 4G.....p.82
- Figura 11-** Requisitos de capacidade da 5G comparados com a 4G.p.89
- Figura 12–** Capacidades centrais para diferentes cenários de aplicação da tecnologia 5G.....p.90
- Figura 13-** Casos de uso do 5G e IoT e setores de atividades socioeconômicas impactados.....p.92
- Figura 14 -** O conceito de sistema 5G com os três serviços genéricos e os quatro habilitadores principais.....p.96
- Figura 15 -** Comunicação massiva do tipo máquina e os três tipos de acesso previstos.....p.98
- Figura 16-** Comunicação ultraconfiável do tipo máquina e suas aplicações para segurança e eficiência no trânsito e manufatura industrial.....p.99
- Figura 17-** Principais países e regiões responsáveis pelas declarações de SEPs.....p.107
- Figura 18 –** Contribuições técnicas para tecnologia 5G por empresa.p.108
- Figura 19-** Roteiro para 5G.....p.110

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Princípios básicos da indústria 4.0.....	p.46
Quadro 2 – Tendência tecnológicas emergentes ou Tecnologias essenciais da Indústria 4.0.....	p.47
Quadro 3- Comparativo da IoT e M2M.....	p.62
Quadro 4 - Modelos de Política Industrial, segundo Unctad.....	p.69
Quadro 5- Requisitos IMT- <i>Advanced</i> para uma tecnologia de comunicação móvel ser considerada de quarta geração.....	p.85
Quadro 6 – Requisitos estratégicos para tecnologia 5G.....	p.87
Quadro 7 – Melhorias da tecnologia 5G em relação ao 4G.....	p.88
Quadro 8- Liderança da Plenária do 3GPP para os próximos dois anos.....	p.112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- os requisitos do LTE/SAE a partir do release 8 do 3GPP.....p.84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

0G: Zero Generation

1G: First Generation

2,5G: Second and a Half Generation

2G: Second Generation

3G: Third Generation

3,9G: 3,9 Generation

3GPP: 3rd Generation Partnership Project

4G: Fourth Generation

5G: Fifth Generation

GSM: Global System for Mobile Communications

IP: Internet Protocol

IMT-2020: International Mobile Telecommunications 2020

IoT: Internet of Things

IoS: Internet of Services

ITU: International Telecommunication Union

ITU-R: International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector

LTE/SAE: Long Term Evolution / System Architecture Evolution

LTE: Long Term Evolution

M2M: Machine to Machine

OCDE: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

UNCTAD: United Nations Conference on Trade and Development

Sumário

INTRODUÇÃO	13
CAP.1 – Elementos para uma abordagem evolucionária	17
1.1– Abordagem evolucionária neo-schumpeteriana	17
1.2- Concorrência Schumpeteriana	20
1.3 -Noções sobre o conceito de empresa	24
1.4- Mudança Tecnológica como processo evolucionário	30
1.5- General Purpose Technologies	35
CAP.2 – Indústria 4.0 e políticas industriais para sua efetivação	37
2.1- Origens e impactos da Indústria 4.0	38
2.2 - O conceito de Indústria 4.0	44
2.3 - Políticas industriais diante do novo paradigma tecnoprodutivo	63
2.4 - Estratégias nacionais para indústria 4.0	70
2.4.1 Estratégia da Alemanha para Indústria 4.0.....	71
2.4.2 Estratégia da China para Indústria 4.0	71
2.4.3 Estratégia dos EUA para Indústria 4.0.....	72
CAP.3 - DESENVOLVIMENTOS DA TECNOLOGIA 5G	74
3.1 Evolução das tecnologias de comunicações móveis	77
3.1.1 Especificações e requisitos das redes 4G	82
3.2- A quinta geração de redes de comunicações móveis (5G)	84
3.2.1 - Casos de usos da tecnologia 5G	90
3.2.2 - Conceito de sistema 5G	94
3.2.3- Impactos econômicos potenciais da tecnologia 5G	98
3.3 Padronização e a corrida pelas patentes	101
3.4 - Iniciativas globais e estratégias para o desenvolvimento da tecnologia 5G	112
CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
REFERÊNCIAS:	121

INTRODUÇÃO

A mudança tecnológica em curso na indústria de comunicações móveis tem gerado grandes expectativas e mobilizado não apenas empresas do setor, mas também diversos países ao redor do globo. O acirramento da concorrência neste setor pode ser percebido pela atuação ofensiva do governo americano na disputa pelos desenvolvimentos da internet 5G. Isto ocorre devido à importância da internet 5G no atual contexto da economia global. Como aponta o *World Economic Forum* (2020, p.4), as principais tecnologias¹ emergentes associadas à chamada ‘Quarta Revolução Industrial’ dependem da conectividade para se concretizarem e terem um desempenho satisfatório. Esta revolução tecnológica trará consigo, muito provavelmente, novos determinantes para competitividade e produtividade dos mais variados setores industriais e proporcionará significativas implicações para o desenvolvimento socioeconômico das nações.

O setor de internet foi fundamental para a ‘Terceira Revolução Industrial’, pois gerou impactos consideráveis no desenvolvimento dos países, uma vez que a ampla difusão dos subprodutos da internet pela economia se configurou como relevante vetor de crescimento econômico (PEREIRA,2014, p.29). Agora, com a ‘Quarta Revolução Industrial’, a Internet também desempenhará um papel relevante e as redes de comunicações móveis 5G, em especial, prometem assegurar e impulsionar todo o potencial desta ‘Revolução Tecnológica’. Segundo o *World Economic Forum* (2020, p.4), as redes 5G serão um fator crítico para o sucesso da iminente ‘Revolução Tecnológica’, pois permitirá níveis de conectividade sem precedentes que transformarão muitos setores. Estes níveis de conectividade serão promovidos principalmente por cinco elementos: banda larga super-rápida, comunicação de baixa latência ultra confiável, comunicações massivas do tipo-máquina, alta confiabilidade e (ou) disponibilidade e uso eficiente de energia (ibid., p.4).

Adiciona-se a isto, o fato de que “o número crescente de dispositivos conectados impõe outro desafio à futura rede móvel”, pois no contexto atual de uma sociedade super

¹Tecnologias como: internet das coisas, inteligência artificial, processos de automação, computação em nuvem, realidade virtual etc.(World economic Forum,2020,p.4)

conectada, outra tendência marcante propagada pela internet das coisas é que “todos e tudo estarão interconectados”, ou seja, uma grande quantidade de dispositivos estará interconectada e à disposição das pessoas (Saghezchi et al., 2015.p.2). Como apontam Saghezchi et al. (2015, p.2), a infraestrutura requerida para as redes móveis 5G, ao ser compatibilizada com o Big Data, possibilitará a construção de cidades inteligentes, pois os dados serão gerados em todo e qualquer lugar “tanto por pessoas como por máquinas”. A promessa é que a análise e uso destes dados gerados, ao filtrar informações sobre “hábitos e preferências das pessoas”, conduziria a melhorias no trânsito de veículos nas cidades e também contribuiria para o “monitoramento de saúde” de pacientes e o acompanhamento de idosos (ibid.p.2). As redes de comunicações móveis serão fundamentais para o sucesso das comunicações entre máquinas e, segundo os autores mencionados (ibid., p.2), as redes 5G poderão contribuir para que “veículos comuniquem-se entre si ou com uma infraestrutura na estrada para avisar ou até ajudar os motoristas em caso de riscos invisíveis, abrindo caminho para carros autônomos”. Saghezchi et al. (2015, p.2) destacam que as redes 5G poderão efetivar algo que antes era apenas visto como uma possibilidade, isto é, a convergência entre redes com e sem fio (wireless). Isto significa que a infraestrutura das redes 5G, principalmente devido à baixa latência da infraestrutura de wireless, “conectará a sociedade e impulsionará a economia do futuro” (idem.p.2).

O principal objetivo desta pesquisa é mostrar como os desenvolvimentos da tecnologia 5G se conectam com o atual contexto de revolução tecnológica, especificamente com a consolidação da indústria 4.0. Parte-se da hipótese de que a tecnologia 5G é fundamental para a viabilização da indústria 4.0. Sendo assim, os países que se destacarem no fornecimento da infraestrutura da tecnologia 5G tenderão a ocupar posições de destaque na divisão internacional do trabalho.

A relevância desta pesquisa está no fato de que a economia global está atravessando um momento de significativas mudanças na esfera produtiva. A emergência da assim chamada ‘Quarta Revolução Industrial’ (Schwab,2017) pode ressignificar o que se chama de indústria e pode estar por trás de uma nova reconfiguração da divisão internacional do trabalho. A internet desempenhou um papel importante na ‘Terceira Revolução Industrial’ e, agora, na ‘Quarta Revolução Industrial’, ela, muito provavelmente, desempenhará também um papel central.

Por isto, a tecnologia 5G tem despertado o interesse de diversos agentes econômicos pelo mundo e pode ser um elemento crítico para o futuro da economia global. Logo, não surpreende, a acirrada disputa entre as duas maiores potências econômicas da atualidade, EUA e China, pelo fornecimento da infraestrutura 5G. Como apontou a OCDE (2019), esta infraestrutura poderá impactar amplamente muitas indústrias verticalmente integradas, assim como terá implicações para o transporte, o setor da saúde, a agricultura, a segurança pública, o meio ambiente e o turismo.

Para atingir os objetivos desta pesquisa, a metodologia utilizada terá como base uma revisão da literatura sobre 5G e uma necessária contextualização da indústria 4.0. É importante ressaltar que o tema analisado nesta pesquisa ainda é muito recente e que o acesso aos dados sobre os desenvolvimentos da tecnologia 5G também é muito restrito – uma vez que esta tecnologia é vista como estratégica para muitos países e empresas. Outro ponto observado na revisão de literatura é o caráter especulativo em torno tanto do 5G quanto da Indústria 4.0.

Além desta introdução, esta dissertação é composta de três capítulos mais as considerações finais. O primeiro capítulo faz uma breve apresentação de alguns dos principais conceitos da corrente de pensamento evolucionária neo-schumpeteriana. Neste esforço, busca-se demonstrar porque a concorrência através das inovações é o pressuposto básico para as mudanças tecnológicas na economia capitalista.

No segundo capítulo é feita uma breve revisão da literatura sobre a Indústria 4.0. Inicialmente apresentam-se as origens da Indústria 4.0 e alguns dos seus possíveis impactos econômicos. Apresentam-se também algumas visões sobre o conceito de Indústria 4.0, ressaltando as tecnologias essenciais que compõem tal Indústria. Como esse conceito envolve muitas expectativas de diversos agentes econômicos, é apresentada também uma crítica ao excesso de expectativas em torno da Indústria 4.0 - mostrando que não é muito adequado encará-la como uma nova revolução industrial -, pois a Indústria 4.0 é fruto de prolongados desenvolvimentos incrementais que se estenderam ao longo das últimas décadas. Por fim, apresentam-se algumas visões sobre a retomada da política industrial por diversos países interessados em construir as bases para indústria 4.0 ou Manufatura Avançada em seus territórios.

No terceiro capítulo é realizada uma revisão da literatura sobre as redes de comunicações móveis 5G. Inicialmente mostra-se a evolução das tecnologias de comunicações móveis e seus referidos padrões técnicos. Em seguida é feita uma caracterização da tecnologia 5G, apresentado seus objetivos e requisitos principais. Também são apresentados os principais cenários de uso e casos de uso para tecnologia 5G. Apresenta-se, ainda, o conceito de sistema 5G, que é composto por três serviços base e quatro capacitadores. Por outro lado, é feita, também, uma caracterização do processo de padronização da tecnologia 5G, destacando o papel que as patentes e as contribuições técnicas desenvolvidas pelas empresas desempenham em tal processo. Por fim, apresentam-se algumas estratégias nacionais e regionais para os desenvolvimentos da tecnologia 5G.

CAP.1 – Elementos para uma abordagem evolucionária

Este capítulo busca apresentar alguns dos elementos ou ingredientes para uma abordagem evolucionária do sistema econômico capitalista e está dividido em cinco seções. Na primeira seção é feita uma caracterização da abordagem evolucionária neo-schumpeteriana, contrapondo este enfoque à abordagem da ortodoxia neoclássica. Na segunda seção apresenta-se o conceito de concorrência schumpeteriana, destacando a importância de uma visão ativa do processo de concorrência e também o papel central das inovações em tal processo. A terceira seção apresenta algumas noções sobre o conceito de empresa, destacando a importância das empresas no processo de valorização do capital, bem como visões que analisam a empresa enquanto um agente ativo no processo de concorrência. A quarta seção apresenta alguns aspectos da abordagem evolucionária neo-schumpeteriana sobre a mudança tecnológica, na qual esta é vista como um processo evolucionário e com múltiplas dimensões. A última seção apresenta algumas noções sobre o conceito de General Purpose Technologies.

1.1– Abordagem evolucionária neo-schumpeteriana

O objeto de estudo da ciência econômica está sujeito a sofrer mudanças e transformações ao longo do tempo. Os elementos mais básicos que compõem e configuram a economia lhe conferem um caráter dinâmico inextrincável – tornando a analogia com um organismo vivo, desde que mantida dentro de certos limites, bastante plausível e útil. Por isto, a ciência econômica necessita de uma abordagem capaz de explicar as mudanças e as transformações (as ‘mutações’) que ocorrem no sistema econômico. A abordagem evolucionária neo-schumpeteriana surgiu com o intuito de superar as deficiências da ortodoxia neoclássica, no que tange às explicações e à importância da mudança econômica para dinâmica do sistema capitalista.

Antes de prosseguir, é importante salientar que a abordagem da ortodoxia neoclássica se desenvolveu bastante ao longo dos últimos anos e tem lançado esforços para incorporar elementos metodológicos capazes de proporcionar análises econômicas que capturem mais nuances da dinâmica da economia capitalista. Diante disto, as críticas que serão feitas a abordagem da ortodoxia neoclássica se referem aos manuais introdutórios e aos

estudos de nível intermediário que não abandonam nem relaxam nenhuma das premissas tradicionais. De fato, os estudos mais avançados e contemporâneos da abordagem da ortodoxia neoclássica tentam relaxar pelo menos algumas das premissas tradicionais, mas, ao não abandonarem a maior parte das mesmas, acabam limitando as possibilidades de análises do papel que as mudanças econômicas e tecnológicas exercem no dinamismo e na evolução do sistema capitalista. As premissas básicas da abordagem tradicional da ortodoxia neoclássica são: (a) o método de inferência dedutivista, baseado em uma perspectiva de individualismo metodológico; (b) algum axioma de racionalidade, predominantemente de racionalidade substantiva maximizadora de preferências; e (c) alguma concepção de equilíbrio.

Ao procurar caracterizar a abordagem evolucionária neo-schumpeteriana, Possas (2008, p.281) destaca que não é novidade o fato de que alguns pensadores da ciência econômica foram influenciados pelas ideias formuladas por Darwin e tentaram aperfeiçoar a teoria e as análises econômicas com base em algumas das suas concepções. Todavia, foi apenas com o trabalho seminal de Richard Nelson e Sidney Winter, publicado em 1982, que ocorreu uma sistematização e a incorporação efetiva de certas ideias e argumentos da biologia evolucionária no interior da teoria econômica (idem., p.281).

As contribuições destes autores foram fundamentais para a construção da chamada economia evolucionária neo-schumpeteriana, que – ao adotar uma abordagem teórica que articula alguns princípios da biologia evolucionária com um enfoque heterodoxo da teoria econômica - abandona os tradicionais princípios de racionalidade substantiva maximizadora e de equilíbrio postulados pelo enfoque neoclássico típico. Esta vertente evolucionária é, por sua vez, fortemente influenciada pelas contribuições do economista Joseph Schumpeter, especialmente pela forma com que este autor aborda o papel que as inovações assumem na dinâmica da economia capitalista.

Nelson e Winter construíram uma nova base teórica para investigação no campo da economia, a partir de analogias com alguns elementos básicos da biologia evolucionária, como, por exemplo, as noções/conceitos de fenótipos, de populações, de genes, de mutação e de aptidão. Segundo Possas (2008, p.287-288), as mutações correspondem ao processo de inovação feito pelas firmas que, por sua vez, possuem

rotinas específicas que direcionam o processo de busca por inovações. Estas firmas correspondem aos fenótipos e as rotinas correspondem aos genes. A seleção dessas rotinas e, conseqüentemente, das inovações é feita pelo mercado e a lucratividade das firmas resulta da aptidão das mesmas (idem., p.288).

É a partir destas analogias com a biologia que os autores evolucionários descrevem o funcionamento do sistema econômico, enfatizando que as firmas dependem de suas capacidades e rotinas para alcançarem maiores níveis de lucros, e que a inovação é resultado do processo de busca realizado pelas firmas (Marsilli,2001, p.71). De acordo com a abordagem evolucionária, é a interação entre o processo de busca realizado pelas firmas e o processo de seleção realizado pelo mercado que determina, em boa medida, a dinâmica industrial. E é este processo de seleção que contribui para as mudanças significativas na estrutura das indústrias, visto que, após realizada a seleção, as firmas mais antigas que conseguirem sobreviver a tal processo tendem a construir novas capacidades e novas rotinas para enfrentar as firmas recém entrantes na disputa pelo mesmo mercado (Idem., p.71)

A principal diferença entre a abordagem evolucionária e a abordagem da ortodoxia neoclássica padrão consiste nos pressupostos considerados por esta última abordagem para descrever o funcionamento do mercado. A ortodoxia neoclássica parte do pressuposto de que os agentes econômicos são perfeitamente racionais e que, conseqüentemente, conseguem, sempre, realizar escolhas ótimas. Esta noção de racionalidade substantiva é o que sustenta os modelos de equilíbrio desenvolvidos pela ortodoxia e que sintetizam a maneira pela qual este enfoque interpreta o funcionamento do mercado (Marsilli,2001, p.72).

Já a abordagem evolucionária utiliza as contribuições de Herbert Simon sobre racionalidade limitada para se contrapor à noção de racionalidade substantiva, pois, para os evolucionários o sistema capitalista é um sistema evolutivo complexo e, por isto, os agentes econômicos não têm condições de acessar todas as informações necessárias para realizar uma escolha ótima. Como foi mencionado anteriormente, o processo de seleção do mercado é crucial para os modelos evolucionários, que mostram a maneira diferenciada e original com que o enfoque evolucionário interpreta o funcionamento do

mercado - sem recorrer às noções de equilíbrio -, visto que essa abordagem enfatiza o caráter mutável e dinâmico do sistema capitalista (Marsilli,2001, p.72).

Outra diferença importante entre os enfoques mencionados é a maneira pela qual eles tentam representar os principais agentes econômicos. Segundo Marsilli (2001, p.70), a ortodoxia neoclássica *standard* trata a tecnologia como uma função de produção que abrange todos os métodos possíveis para uma firma e que condiciona o nível de conhecimento tecnológico desta. Enquanto a abordagem evolucionária, por sua vez, trata a tecnologia como uma fonte de conhecimento, incluindo atributos e características que não são consideradas pela abordagem padrão - como, por exemplo, o conhecimento tácito e as capacidades e as habilidades desenvolvidas através do aprendizado (Marsilli,2001, p.70). Como mencionado anteriormente, neste último enfoque, o conceito de rotinas cumpre um papel fundamental, uma vez que é através dele que uma firma incorpora e armazena os conhecimentos necessários para o processo produtivo.

Apesar das consideráveis contribuições fornecidas pela abordagem evolucionária, Possas (2008, p.288) chama a atenção para o fato de que ainda existem algumas limitações no que diz respeito às analogias elaboradas pelos autores evolucionários. Dentre estas limitações, o autor destaca que a correspondência entre genes e rotinas não é muito precisa, levando por isto os autores a conceituarem as rotinas de uma maneira bem ampla e a enfatizarem a necessidade de sua persistência ao longo do tempo. Além disto, segundo este mesmo autor, o modo como os evolucionários tratam a questão da replicação dos genes, isto é, das rotinas, é baseado em uma analogia fraca.

Possas (2008, p. 289) também aponta que o fato das mutações, isto é, as inovações serem geradas pelas próprias firmas cria uma certa dificuldade para a analogia proposta pelos autores evolucionários, visto que não existe uma equivalência adequada entre a evolução econômica e a transmissão genética.

1.2- Concorrência Schumpeteriana

O conceito de concorrência perfeita desenvolvido pelos teóricos da ortodoxia neoclássica nunca foi capaz de refletir plenamente a realidade da concorrência

capitalista. Esses teóricos, ancorados nas contribuições de Marshall, analisam o processo de concorrência a partir da noção de concorrência perfeita, que defende que os agentes econômicos, empresas e consumidores, são demasiadamente pequenos para interferir no preço de mercado, sendo este determinado pelo equilíbrio entre oferta e demanda (POSSAS,2012). Nesta perspectiva teórica, as empresas têm um comportamento passivo diante do mercado, atuando apenas como tomadoras de preço, o que sustenta a visão estática adotada por tal perspectiva para o processo de concorrência.

A partir do final do século XIX, com o surgimento e a consolidação das grandes empresas, ganhou ênfase o desenvolvimento do conceito de concorrência monopolística. Assim, Schumpeter (2017) enfatizou que o capitalismo deve ser entendido como um processo evolutivo, um sistema atravessado por mudanças econômicas geradas por fatores endógenos e exógenos. Segundo o autor, é a constante busca pelo novo que constitui o principal impulso para as mudanças no sistema econômico, isto é, a criação pelas empresas capitalistas de “novos bens de consumo, [d]os novos métodos de produção e transporte, [d]os novos mercados e [d]as novas formas de organização industrial” (SCHUMPETER,2017,p.119). Por esta razão, as empresas são os principais elementos que endogenamente impactam o funcionamento do sistema e o transforma.

A noção de concorrência desenvolvida por Schumpeter é, atualmente, intitulada concorrência schumpeteriana. Como dito anteriormente, ela enfatiza uma visão “dinâmica e evolucionária do funcionamento da economia capitalista” (POSSAS, 2012, p.246). Isto implica em um entendimento de que a economia evolui e se transforma com o passar do tempo, devido à incessante introdução e difusão de inovações no seio do sistema econômico e do ambiente de atuação das empresas (Idem., p. 246). Estas inovações são fruto da permanente busca das empresas por lucros extraordinários e são capazes de proporcionar a elas vantagens competitivas, além de diferenciá-las nas disputas que se desdobram no mercado. Estas são, pois, algumas das características fundamentais da concorrência schumpeteriana e é através delas que os monopólios temporários podem ser gerados e mantidos por um determinado período de tempo, até que sejam destruídos por outras inovações (Ibidem., p.247).

Por isto, diferentemente da perspectiva neoclássica, os schumpeterianos definem a concorrência como um processo ativo - em que as empresas criam novos espaços de atuação e no qual não há nenhum nível de equilíbrio preestabelecido capaz de assegurar qual será o desfecho de tal processo -, posto que as forças que interagem no mercado são complexas e passíveis de alterações ao longo do tempo (POSSAS, 2012, p.247).

Como a criação de diversidade é entendida como recorrente dentro do capitalismo, o processo de geração de diferenças entre as empresas se torna mais relevante do que a eliminação das mesmas (POSSAS, 2012, p.247). Analogamente, a concorrência em preços - que tem posição central na abordagem neoclássica - é deslocada na concorrência schumpeteriana para uma posição secundária, uma vez que nesta última atribui-se papel ainda mais relevante às inovações e à diferenciação de produtos (Idem.p.247). Sendo assim, os preços não são a única e nem a principal arma utilizada pelas empresas nas disputas pelo mercado. Existem outras armas que são, até, mais eficazes.

A empresa é o principal agente analisado pela abordagem da concorrência schumpeteriana e o mercado é entendido como o principal ambiente no qual as empresas interagem e implementam as suas estratégias competitivas. Como aponta Possas (2012, p.247), é a interação entre as estratégias competitivas das empresas e os fatores ambientais, isto é, as estruturas de mercado já consolidadas, que molda a dinâmica industrial que vai se transformando com o passar do tempo. As próprias estruturas de mercado estão sujeitas a sofrerem alterações, visto que elas podem influenciar e condicionar a atuação dos agentes econômicos, mas também podem ser modificadas pelas estratégias implementadas por estes agentes. As estruturas de mercado são, portanto, parcialmente endógenas ao processo de concorrência e resultam da referida interação dinâmica. A concorrência, por sua vez, deve ser vista, principalmente, como “um processo de interação entre empresas voltadas à apropriação de lucros” (idem., p.248). Na maioria das vezes, estas interações provocam desequilíbrios e não se adequam ao pressuposto de equilíbrio suposto pelos neoclássicos, pois as empresas lutam para obter e manter vantagens competitivas e se diferenciarem entre si (ibidem., p.248).

Foi a partir da noção de que a incessante busca pelo novo, por parte das empresas, está vinculada a não existência de um equilíbrio competitivo que Schumpeter desenvolveu o conceito de destruição criadora - que ressalta que as antigas estruturas são transformadas pelas ações dos agentes econômicos, especialmente das empresas, e substituídas por novas estruturas, num processo interminável que dinamiza e renova continuamente o sistema capitalista.

Por isto, Schumpeter defende que a noção de concorrência deve ser ampliada para além da suposta centralidade dos preços, devendo incorporar também outras dimensões mais importantes como as inovações e a diferenciação de produtos. Isto porque o que está por trás das mudanças econômicas são formas de concorrência que transcendem a simples utilização dos preços como arma nas disputas que se realizam nos mercados através da introdução de “nova[s] mercadoria[s], nova[s] tecnologia[s], nova[s] fonte[s] de abastecimento” (SCHUMPETER, 2017, p.122). Estas outras formas de concorrência prevalecem, segundo Schumpeter, pois elas são mais eficazes do que a concorrência em preços.

Para Schumpeter (2017, p.133), a estratégia de concorrência almeja evitar flutuações sazonais, fortuitas ou cíclicas dos preços e que estes variem apenas como reação às mudanças nas condições dos custos que servem de base a estas oscilações. Assim, tal estratégia procura se mover ao longo de uma linha funcional que aproxima as tendências a longo prazo (Idem, p.134). Portanto, a definição e a implementação de uma determinada estratégia de concorrência pelas empresas, em uma estrutura de mercado oligopolista, leva em consideração, dentre outros fatores, a evolução desta estrutura, a presença de vantagens competitivas significativas por parte destas empresas e a observação atenta do comportamento dos concorrentes estabelecidos e potenciais (POSSAS,1999).

Em suma, como aponta S. Possas (1999), o processo de concorrência é incessante e inesgotável, e seu possível fim pressupõe o fim do próprio sistema capitalista. Sempre existe a possibilidade de surgir um novo concorrente e os que são vitoriosos hoje podem deixar de ser amanhã (idem.). Por isto, o entendimento da concorrência como um processo evolutivo implica que a abordagem econômica deve levar em consideração o caráter dinâmico do sistema econômico - em especial, o papel que as inovações

desempenham ao gerar endogenamente mudanças neste sistema (POSSAS, 2012). Esta tarefa não pode ser levada a bom termo pela abordagem neoclássica convencional, uma vez que esta, em razão das limitações dos seus principais pressupostos, não escapa às restrições da estática comparativa, enquanto a realidade do mundo capitalista é predominantemente dinâmica.

1.3 -Noções sobre o conceito de empresa

Neste momento é válido destacar algumas noções elementares sobre o conceito de empresa, enquanto empreendimento², ou seja, enquanto um projeto e/ou uma ação conjunta dos membros de uma “organização formada para explorar um negócio” ou nicho(s) de mercado(s). Em essência, o agir cotidiano da empresa visa, primordialmente, a auto-expansão (o próprio crescimento enquanto organismo social e/ou entidade administrativa), pois a empresa é “uma unidade de acumulação de capital” (POSSAS,1995).

Desta forma, a empresa possui uma série de objetivos para os quais são requeridos inúmeros processos e atividades que visam conquistar vantagens competitivas e, com elas manter e/ou ampliar o *market share* (fatias de mercado) e as margens de lucro. Sendo estes dois últimos objetivos intimamente conectados e, muitas vezes, até confundidos por alguns estudiosos das empresas preocupados em hierarquizar os objetivos das firmas (POSSAS,1995). Na verdade, o principal objetivo da firma é conquistar, gradativamente, mais poder econômico e com isso ampliar seu capital (POSSAS,1995). Para tanto, manter e buscar incessantemente mais e mais vantagens competitivas nas intermináveis rodadas dos processos de concorrência é crucial (POSSAS,1999).

Nelson e Winter (2005, p.45), como mencionado anteriormente, destacam que a principal deficiência da teoria neoclássica padrão reside nas dificuldades enfrentadas por esta corrente ao analisar as várias nuances da mudança econômica. Segundo Dantas et al. (2012, p.20), essa tradicional corrente econômica trata o mercado como um espaço abstrato de encontro entre oferta e demanda, sob a dicotomia concorrência perfeita

²HOUAISS (2009): “1.atô de quem assume tarefa ou responsabilidade; 2.essa tarefa ou responsabilidade; projeto, realização; 3.organização montada para explorar um negócio. ”

versus monopólio. Além disto, a tradição neoclássica postula que a maior preocupação dos economistas deve ser com a resolução do problema da “alocação de recursos escassos e necessidades ilimitadas” (DANTAS et al,2012, p. 20). A empresa, nesta perspectiva, é como uma caixa-preta, pois o mais importante não é saber o que acontece dentro desta unidade de produção, mas sim saber que - ao perseguir o seu objetivo principal que é a maximização de lucros - a empresa combina insumos (input, fatores de produção) e gera produtos (output), sendo este processo produtivo capaz de atingir uma alocação ótima dos recursos da empresa, inclusive, por esta estar sujeita às leis dos rendimentos decrescentes (DANTAS et al,2012.p.17).

Ronald Coase identificou, além da alocação de recursos através do mercado, uma outra forma de alocação condicionada pela hierarquia interna da empresa (DANTAS et al,2012. p.17). Porém, este autor perpetua o lugar central ocupado pelo “problema alocativo” dentro da teoria econômica, inclusive, utilizando “o cálculo racional e a análise marginal na formulação do tamanho ótimo da empresa que maximiza lucros”, que são ferramentas de análise comuns a abordagem da ortodoxia neoclássica (idem, p.17). Foi só com Chandler e Penrose que os problemas alocativos começaram a perder relevância no campo da Economia Industrial.

Para estes últimos autores, a empresa, enquanto objeto de análise, é multidimensional. Isso significa que diferentes abordagens podem enfatizar diferentes aspectos desse objeto de investigação científica (DANTAS et al.,2012, p.15-16). Chandler afirma que a empresa é antes de qualquer coisa uma “entidade legal” e, portanto, firma contratos para atingir seus objetivos (idem, p.15-16). Ainda segundo este autor, a empresa é também uma entidade administrativa, pois existe uma divisão de tarefas e uma organização hierárquica de grupos de pessoas que buscam alcançar os objetivos (e estratégias) previamente formulados pelas pessoas que estão no topo da hierarquia organizacional (idem, 16). Depois de firmados tais objetivos “a empresa se torna um conjunto articulado de qualificações, instalações e capital líquido” (ibidem, p.16). Desta forma, na busca por lucros, “as empresas têm sido e são instrumentos de economias capitalistas para produção de bens e serviços e para o planejamento e a alocação para produção e a distribuição futuras” (CHANDLER,1992, p.483 apud DANTAS et al,2013, p.16).

Assim, como destacam Nelson e Winter (2005, p.64), Chandler, em sua análise histórica, discutiu a articulação entre o conceito de estratégia empresarial e a análise da organização da firma. Este autor aceitou, ainda que implicitamente, a tese de H. Simon de que é impossível maximizar os lucros, pois a realidade econômica é complexa demais para ser plenamente compreendida pelos agentes envolvidos nas transações e decisões de cunho econômico (NELSON e WINTER,2005, p.64). Na verdade, as ações das firmas são guiadas por regras de decisão e procedimentos que não podem ser caracterizados como ótimos (idem. p.64). Esta é a síntese do conceito de Racionalidade Limitada de H. Simon e, que serviu de base para Chandler elaborar o seu conceito de estratégia. Este último sugere que a conduta da empresa é moldada pelas “interpretações subjetivas” que esta faz da realidade econômica. Essas interpretações tendem a se conectar com as estratégias adotadas pelas firmas que orientam suas ações. Por sua vez, as estratégias “diferem de uma firma para outra” e são delimitadas pela estrutura organizacional” (ibidem.,p.64).

Já Penrose se enquadra no grupo de economistas que Nelson e Winter (2005, p.64) classificam como aqueles que fazem análises da organização buscando investigar as relações “que unem o crescimento e a lucratividade de uma firma à sua estrutura organizacional, às suas capacidades e ao seu comportamento”. Penrose, assim como os gerencialistas, percebe que as empresas buscam outros objetivos além dos lucros, já que leva em consideração o fato de que a “motivação gerencial” também influencia os rumos e o comportamento da empresa. Isto é, existe uma relação entre crescimento da empresa, a sua estrutura e a respectiva motivação gerencial (idem.,p.64).

Ainda segundo Penrose, o modo mais adequado para definir o que é uma empresa é aquele que privilegia a explicação das atividades exercidas internamente no cotidiano desta entidade (PENRONSE,1959, p.10, apud DANTAS *et al.* p.16). Assim, o conceito de empresa³ é indissociável da perspectiva teórica adotada pelo pesquisador, isto é, diferentes abordagens do conceito de empresa equivalem a diferentes visões da origem e do funcionamento da economia capitalista. Como sugerem Dantas et al. (2012, p.16), um aspecto que pode contribuir para o entendimento do que é empresa é a perspectiva

³Assim como outros conceitos como tecnologia.

da “evolução histórica das unidades que organizam a produção”, o que seria uma junção das contribuições da Penrose e do Chandler.

Ao considerar a “separação entre propriedade e controle”, os gerencialistas estão assumindo que os executivos possuem objetivos que podem destoar dos propósitos e interesses dos acionistas e investidores que privilegiam o máximo de lucratividade (DANTAS et al,2012, p.18). O corpo executivo (ou gerentes profissionais) consideraria, além das margens de lucros, elementos como: “parcelas de mercado das empresas, grau de risco, crescimento das vendas” (idem, p18). Ou seja, elementos que podem impactar a progressão da carreira do corpo executivo, como, por exemplo, remunerações mais elevadas. Por isto, os executivos poderiam abrir mão de um pouco de lucro para obter um volume maior de vendas. Diante deste quadro, nota-se que “variáveis associadas ao crescimento da empresa ocupam papel preponderante na abordagem dos gerencialistas” (ibidem, p.18).

A principal contribuição de Penrose é exatamente relacionada à teoria da empresa, segundo a qual as empresas crescem “acumulando capacidades e recursos”, uma vez que elas recolhem e absorvem “experiências e conhecimentos acumulados ao longo de sua existência” (DANTAS et al.2012, p.18). Isto é o que torna cada empresa única, pois é resultado de uma trajetória particular que contém os problemas que ela enfrentou, as estratégias bem-sucedidas ou fracassadas que permitiram gerar e acumular conhecimentos, que podem ser reaproveitados futuramente (idem., p.18-19). Assim, para Peronse, os vários objetivos dos gerentes podem ser sintetizados na busca pelo crescimento da empresa e os outros possíveis objetivos são tratados como “resultado e fator de crescimento, em uma visão dinâmica da empresa que se transforma e cresce” (ibidem.,p.18-19).

Para entender essa lógica de expansão das empresas é interessante seguir as interpretações propostas por S. Possas (1995,p.1). Esta autora trata a empresa como uma “unidade de valorização do capital”, cujo processo produtivo está condicionado ao movimento da valorização. Segundo a autora:

“...numa economia capitalista toda lógica de decisão e ação econômicas deve ser apreendida a partir da predominância da busca de valorização. A firma industrial produz, ‘é a unidade

básica para a organização da produção’, e há uma lógica básica nos processos produtivos que realiza” (Possas, 1995, p.1)

Nesta perspectiva, as empresas são os principais agentes do processo de concorrência que se desdobra no palco do mercado mundial. Empresas são como organismos que, dentre outras coisas, são capazes de mudar a si mesmos visando aperfeiçoar capacidades para as próximas batalhas competitivas; e elas fazem isso através das inovações. Estas últimas modificam “o poder relativo dos diversos participantes do mercado, alterando seu próprio ambiente de seleção” (Possas,2006, p.32).

Ao interpretar as contribuições de Steindll, S.Possas (2006,p.32) destaca que “o papel das economias de escala e dos diferenciais de margens de lucro gerados por inovações” atua “na criação de assimetrias nos mercados”. Isto significa que, com economias de escala, as firmas mais progressistas – em geral as maiores - têm margens de lucro (diferenciais de custo e de lucro) “que lhes permitem acumular capital mais rapidamente” (idem., p.32). Existe, portanto, entre as firmas maiores e menores “uma assimetria de poder e de margens de lucro” (ibidem,p.32)

Ainda seguindo os argumentos da autora (Possas,1995, p.2), pode-se perceber que a principal característica da empresa é a sua “estrutura de poder de compra, a partir da utilização de seus recursos também pensados enquanto valores”, cuja alocação é determinada por decisão de cunho administrativo (como definido por Penrose).

Como aponta S. Possas (1995,p.2), a empresa “dispõe de recursos e precisa valorizá-los”. Tais recursos são físicos, humanos, financeiros e imateriais como, por exemplo, a experiência e as capacidades⁴(idem., p.2). O grau de flexibilidade desses recursos é variável, sendo os financeiros os mais flexíveis e os ativos intangíveis - como conhecimento tácito - os de menor flexibilidade, isto é, apresentam maior dificuldades para serem transformados em dinheiro (ibidem., p.2). As empresas, na busca por proteção frente às incertezas envolvidas em seus processos de tomada de decisão, levam em consideração “o diferente grau de flexibilidade dos seus recursos” e privilegiam a

⁴As firmas podem e devem ser representadas “pelas capacidades que possuem e sua competência em empregá-las e aumentá-las”. Teece,1992, p.101-2 apud Possas,1995, p.2.

experiência acumulada, ao longo do tempo, antes de definirem os objetivos e estratégias a serem perseguidos por certo período (ibidem., p.2).

Uma vez que toda produção envolve algum tipo de ativo intangível e pouco flexível, este tipo de ativo está umbilicalmente conectado à natureza das vantagens competitivas que mais se destacam. Isto é, “que mais aumentam o grau de apropriabilidade das inovações”, e, portanto, possibilitam à empresa, a aquisição de um volume significativo de poder de compra por uma extensão temporal significativa para a organização empresarial (S. POSSAS,1995, p.2-3). Nas palavras da autora S. Possas (1995, p.3), estes ativos são “específicos e (ou) não transmissíveis. São (...) atributos que os tornam difíceis de se reproduzir e obter e, por isso, dão aos seus detentores um elevado grau de poder sobre o processo produtivo e, com ele, capacidade de apropriação de valor”.

Como destaca S. Possas (1995, p.3), existe um consenso entre as diversas correntes de pensamento econômico sobre a relevância do “estabelecimento de uma taxa de salário básica para o trabalho desqualificado” e do estabelecimento de “uma remuneração básica para o capital”, uma vez que “abaixo desses níveis básicos, a produção não se efetua, devido à mobilidade de capital e trabalho”. Portanto, como afirma a autora (POSSAS,1995, p.3), “a concorrência é a luta pela apropriação de poder de compra, de preferência, acima desses níveis básicos”.

S. Possas (1995, p.3) destaca também que o que importa é que, além de existirem particularidades nos processos explorados (desenvolvidos) pelas empresas, existem “trunfos” ligados a estas particularidades. Estas vantagens possibilitam que as empresas empreendam no contexto da dinâmica da concorrência capitalista contemporânea e /ou moderna. Isto é, os “trunfos” permitem que as empresas conquistem ganhos extraordinários, uma vez que os primeiros geralmente tomam “a forma de ativos especiais, não reprodutíveis com facilidade pelos concorrentes existentes e potenciais, portanto não encontráveis no mercado” (idem,1995, p.4).

Os teóricos da abordagem evolucionária neo-schumpeteriana, como mencionado anteriormente, caracterizam a empresa a partir das suas capacidades e das competências específicas. E interpretam que estas últimas são influenciadas pelas rotinas organizacionais de cada empresa. As rotinas, por sua vez, são definidas como os

procedimentos adotados pelas empresas para atingir certos objetivos. Tais procedimentos são passíveis de aprendizado e compostos por atividades muito padronizadas e que requerem um certo nível de conhecimento tácito (KON,2017, p.127).

Foi com base nas contribuições de Penrose e de Chandler, entre outros, que D. Teece e G. Pisano desenvolveram a abordagem teórica das assim chamadas “capacitações dinâmicas”, segundo a qual empresa é definida como “um repositório de ativos e capacitações voltados para valorização do seu capital, em especial por meio de processos inovativos” (GRASSI,2005, p.37).

Nesta abordagem as rotinas das empresas cumprem o papel de acumular todo o conhecimento organizacional das mesmas e as fontes de lucratividade e crescimento das empresas são determinadas pelos recursos ou ativos que as empresas possuem e pelo conhecimento e capacitações adquiridas e acumuladas ao longo do tempo pelas mesmas (GRASSI,2005, p.38). Segundo esta perspectiva, o acúmulo de conhecimentos adquirido através de processos de aprendizado organizacional caminha conjuntamente com a obtenção de capacitações e de competências capazes de fornecer vantagens competitivas para as empresas nas intermináveis disputas que se efetuam no mercado (Idem, p.38).

1.4- Mudança Tecnológica como processo evolucionário

Existe uma distinção importante entre os conceitos de invenção e inovação. Enquanto a primeira diz respeito à criação “de um processo, técnica ou produto inédito” sem necessariamente conquistar uma adequada aplicação comercial e econômica, a segunda consiste exatamente na adequada e bem-sucedida aplicação comercial e econômica de uma invenção, ou seja, a inovação pode ser entendida como uma invenção que gera impactos econômicos e se difunde pelo mercado e pela sociedade (TIGRE, 2014, p.74). A partir dessa distinção elementar é possível entender os desenvolvimentos das teorias sobre a mudança tecnológica

Os primeiros modelos sobre a mudança tecnológica eram lineares, pois considerava-se que o processo de inovação seguia um caminho igualmente linear. Isto é, supunha-se

que a pesquisa fundamental originava a pesquisa aplicada que, por sua vez, viabilizava a produção de um protótipo que, uma vez aperfeiçoado e adaptado às condições de fabricação, dava origem, por fim, a um produto comercial acabado (REIS,2008, p.51). Com o avanço das pesquisas neste campo, alguns autores perceberam que os modelos lineares originais não eram os mais adequados e deveriam ser substituídos por modelos interativos de inovação, que abordam o processo de inovação como não sendo unidirecional e conta, em geral, com a participação de diversos atores (REIS,2008, p.51). Segundo Reis (2008, p.52) o processo de inovação tecnológica sugerido por Schumpeter seria composto por três fases: (a) a invenção - que aponta a viabilidade de um novo produto ou processo criado; (b) a inovação - que denota os resultados bem-sucedidos obtidos pela empresa com a venda de um produto novo ou aprimorado; e (c) a difusão tecnológica - que é caracterizada pela crescente adoção das inovações por outras empresas.

No que diz respeito às origens das mudanças técnicas, duas teorias principais acabaram se destacando, são elas: a teoria da indução pela demanda (*demand-pull*) - que aponta o papel das forças do mercado e dos seus sinais como sendo as principais fontes da mudança tecnológica -, e a teoria do impulso pela tecnologia (*technology-push*) - que destaca uma certa autonomia da tecnologia (DOSI,2006, p.30).

Dosi (2006, p.31) teceu algumas críticas à abordagem da indução pela demanda, ou seja, à centralidade dos sinais fornecidos pelo mercado para efetivação da mudança tecnológica. Esta abordagem reforça a ideia do “reconhecimento de necessidades”, uma vez que existiriam, no âmbito do mercado, alguns bens que supostamente representariam, num certo momento, as distintas “necessidades dos consumidores” (DOSI,2006, p.31). Entretanto, as noções sobre necessidades podem apresentar certa ambiguidade, uma vez que as necessidades dos consumidores podem acabar sendo analisadas sem se levar em consideração as formas pelas quais elas são satisfeitas - o que indicaria falta de relevância econômica - ou poderiam, ainda, ser analisadas levando-se em consideração as formas específicas pelas quais elas são satisfeitas - mas isto implicaria que cada “necessidade” específica não poderia surgir “antes da invenção básica à qual se refere”(idem, p.31).

O segundo argumento defendido por esta abordagem de indução pela demanda é o que sustenta que os consumidores manifestariam as suas preferências, em relação às características dos bens que almejam adquirir e que satisfazem suas necessidades, por meio dos seus padrões de demanda (DOSI,2006, p.32).Segundo esta perspectiva, o processo de inovação se iniciaria somente após os produtores identificarem as necessidades manifestadas pelos consumidores e embutidas nos movimentos da demanda e dos preços (DOSI,2006,p.32).

De maneira geral, os teóricos da abordagem da indução pela demanda defendem que é possível saber antes de se iniciar o processo de inovação qual é a precisa direção que o mercado deve seguir, de modo a condicionar e induzir as atividades relacionadas ao processo de inovação dos produtores. Eles também afirmam que os sinais fornecidos pelo mercado podem ser identificados pelos movimentos dos preços relativos e das quantidades (DOSI,2006, p.32).

Dosi (2006, p.33) aponta, também, as dificuldades enfrentadas pelo enfoque da indução pela demanda na tentativa de oferecer uma adequada interpretação do processo inovação, uma vez que as teorias da inovação baseadas principalmente nos movimentos da demanda podem não ser as mais adequadas para se entender e interpretar os determinantes da mudança tecnológica. Na visão de Dosi (2006, p.33), uma teoria da inovação deve se voltar para interpretação dos “avanços tecnológicos principais e secundários” e não se restringir a mera explicação do progresso técnico “incremental”, com base apenas nos produtos e processos já existentes.

Nesta perspectiva, Dosi (2006,p.34) aponta três fragilidades da abordagem da indução pela demanda. São elas : 1) a “reatividade” às mudanças tecnológicas é tratada de maneira demasiadamente mecânica e passiva; 2) a dificuldade para se definir por que e quando alguns desenvolvimentos tecnológicos são escolhidos em vez de outros; e 3) “a desconsideração das mudanças ao longo do tempo, da capacidade de invenção”, que, por sua vez, não tem relação direta com os condicionamentos fornecidos pelo mercado e que estão sujeitos a sofrer alterações (DOSI,2006,p.34).

No que tange às teorias do impulso pela tecnologia, Dosi (2006,p.36) aponta que tais teorias se baseiam no fato de que elementos econômicos são relevantes para condução

do processo de inovação. Com efeito, “o processo de crescimento e de mudança econômica, as variações nas participações distributivas e nos preços afetam a direção da atividade de inovação” (DOSI,2006,p.36). Dosi (2006,p.36) assinala, ainda, que existe de fato uma “complexa estrutura de retroalimentação entre o ambiente econômico e as direções das mudanças tecnológicas” e que uma teoria sobre a mudança tecnológica precisa definir a natureza dos mecanismos envolvidos e responsáveis por tais interações. No entanto, nem as teorias da indução pela demanda nem as teorias do impulso pela tecnologia parecem ser capazes de executar tal tarefa (idem, p.36).

Por isto, Dosi (2006, p.38) desenvolveu um modelo alternativo, sobre os determinantes e direções da mudança tecnológica, levando em consideração as principais características do processo de inovação. Este modelo é caracterizado pelo que Dosi (2006,p.40) chamou de paradigmas tecnológicos e de trajetórias tecnológicas. Os paradigmas tecnológicos, ou os programas de pesquisa tecnológica, funcionam como uma analogia aos paradigmas científicos, ou aos programas de pesquisa científica apontados por Kuhn.

Os paradigmas tecnológicos são definidos por Dosi (2006, p.41) como “um ‘modelo’ e um ‘padrão’ de solução de problemas tecnológicos selecionados, baseados em princípios selecionados, derivados das ciências naturais, e em tecnologias materiais selecionadas”. Isto significa que um paradigma tecnológico é capaz de definir “um certo campo de investigação” e, conseqüentemente, “os problemas e procedimentos/tarefas a ele associados” (SILVA,2010, p.227).

Já a trajetória tecnológica é definida por Dosi (2006,p.42) “como o padrão da atividade ‘normal’ de resolução do problema (isto é, do ‘progresso’), com base num paradigma tecnológico”. Ou seja, as trajetórias tecnológicas “podem ser definidas pela atividade normal de resolução de problemas tecnológicos que se expressa pelo avanço nos múltiplos *trade-off* entre variáveis que o paradigma considera relevantes” (SILVA,2010, p.227).

Assim sendo, a mudança tecnológica pode ser entendida como um processo evolucionário em que novas possibilidades tecnológicas disputam umas com as outras e com a prática em vigor e a seleção dos vencedores ocorre posteriormente e é marcada

por forte incerteza (SILVA,2010, p.224). Com base nestes conceitos de paradigma e trajetória tecnológica, Dosi(2006) propõe outros três conceitos com o intuito de viabilizar explicações mais adequadas da dimensão econômica das inovações e de suas principais características. Eles são os conceitos de cumulatividade, de grau de oportunidade tecnológica e de apropriabilidade.

O conceito de cumulatividade do progresso técnico denota o fato deste não se dar de modo aleatório, mas seguir uma trajetória tecnológica (POSSAS,1999, p.92). O conhecimento e a experiência acumulada no aperfeiçoamento de uma tecnologia estão submetidos às regras rotineiras das firmas na busca por inovações (idem, p.92). Por um lado, isto evidencia que apesar da incerteza forte presente no processo de busca, tal processo apresenta regularidades e não é aleatório. Por outro lado, a cumulatividade se relaciona com a ideia de que existe *path-dependency* no avanço tecnológico, ou seja, uma vez escolhido um caminho, este impõe uma trajetória tecnológica própria e descarta rotas alternativas conforme o caminho escolhido for difundido. Outra consequência da cumulatividade é que ela cria assimetrias, pois o caminho escolhido gera diferenciação, lucros extraordinários e favorece novos avanços acentuando as diferenças entre as firmas (ibidem, p.93).

A apropriabilidade privada dos efeitos da mudança tecnológica define “o grau de compromisso das empresas em relação às atividades de inovação” (DOSI,2006, p.131). Segundo Possas (1999, p.91), “o que determina a apropriabilidade de uma inovação é a evolução do grau de diferenciação do produtor que ela proporciona”. Em outras palavras, a apropriabilidade diz respeito à capacidade e a possibilidade da empresa que inovou ter um controle sobre sua inovação, buscando garantias de que a sua inovação não será facilmente imitada por outras empresas. O empresário decide se vale a pena ou não investir no desenvolvimento de algo novo de acordo com essas referidas garantias.

O último conceito a ser tratado aqui é o de oportunidade tecnológica que corresponde “às possibilidades vislumbradas de incorporar avanços tecnológicos a um ritmo intenso” e que ao mesmo tempo sejam rentáveis (POSSAS,1999, p.95). Dosi considera os conceitos de oportunidade tecnológica e de apropriabilidade como as condições interligadas para a atividade de inovação, mas destaca que a oportunidade tecnológica

está subordinada à apropriabilidade privada dos frutos da mudança tecnológica [Dosi (2006); Possas (1999); Silva (2010)].

A combinação destes três últimos conceitos reflete a criação, a manutenção e a ampliação das vantagens competitivas de algumas empresas em relação a outras. Isto gera assimetrias tecnológicas e econômicas e fornece, ao mesmo tempo, os impulsos para que a dinâmica tecnológica continue permanentemente - acompanhando o insaciável desejo de valorização do capital - o que acaba promovendo, por sua vez, a contínua mutação do ambiente competitivo (mudanças nas estruturas de mercado).

A adaptabilidade dos agentes é pré-requisito para a própria sobrevivência dos mesmos, que, uma vez adaptados, transformam - através das suas interações complexas - o ambiente econômico. A partir destes conceitos é possível inferir que as dinâmicas tecnológica e econômica se combinam e contribuem para a continuada transformação das estruturas de mercado dentro de um sistema complexo adaptativo - atravessado pela persistência evolutiva da mudança tecnológica. Isto significa que a incessante e interminável busca pela valorização do capital é o que está por trás e o que torna a mudança tecnológica um processo evolutivo, uma vez que as empresas, enquanto unidades de valorização do capital, estão predispostas a adotar inovações e, conseqüentemente, a ampliar as suas vantagens competitivas e conquistar lucros cada vez maiores.

1.5- General Purpose Technologies

Esta seção busca apresentar algumas noções sobre *general purpose technologies*. Primeiramente, é importante diferenciar técnica e tecnologia. Segundo Tigre (2014, p.74), tecnologia corresponde ao “conhecimento sobre técnicas”, enquanto estas “envolvem aplicações deste conhecimento em produtos, processos e métodos organizacionais”. Dosi (2006, p.40), por sua vez, define tecnologia como “um conjunto de parcelas de conhecimento de know-how, métodos, procedimentos, experiências de sucesso e insucessos e também dispositivos físicos e equipamentos”.

Os estudos sobre *general purpose technologies* se iniciaram nos finais dos anos 1980 e foram influenciados pelas contribuições de Nathan Rosenberg (ALBUQUERQUE, 2021, p.65). Como aponta Albuquerque(2021, p.65), alguns dos principais autores que

contribuíram para os desenvolvimentos dos estudos sobre GPTs - como Bresnahan e Trajtenberg⁵ - fizeram comentários agradecendo as contribuições de Rosenberg e citaram a obra escrita por este autor - *Inside the black box* - para basear suas formulações.

E. Helpman – que é o autor do livro intitulado *general purpose technologies* - classificou uma GPT como resultado de um drástico processo de inovação e que possui quatro características principais. Elas são: i) um amplo espaço para os aperfeiçoamentos iniciais; ii) a existência de muitos usos possíveis; iii) a possibilidade de várias aplicações em diversos ramos da economia; e iv) a existência de uma considerável complementaridade com outras tecnologias (ALBUQUERQUE,2021, p.66).

Segundo Bresnahan (2010, p.763), o conceito de *general purpose technologies* passou a ser adotado por diversos campos de estudo dentro da economia. Este conceito foi utilizado por estudiosos do campo da macroeconomia do crescimento, por exemplo, com o intuito de observar as interligações de eras de expressivo crescimento econômico com a aplicação de determinadas tecnologias consideradas GPTs, como o motor a vapor, o motor elétrico e os computadores (BRESNAHAN,2010, p.763). No campo da microeconomia, o conceito de GPTs vem sendo utilizado para analisar a mudança tecnológica e fazer uma distinção entre determinados tipos de inovações (idem.,p.763).

O conceito de GPTs surgiu a partir da curiosidade de se analisar o papel que certas tecnologias-chave desempenharam para o crescimento econômico ao longo da história (BRESNAHAN,2010, p.763). Para Bresnahan (2010, p.764), a estrutura básica do GPT é composta por três partes: “(1) é amplamente utilizada, (2) é capaz de melhoria técnica contínua e (3) permite a inovação em setores de aplicação”, sendo que os componentes (1) e (2) formam o que o autor chama de “complementaridades inovativas”. Estas complementaridades significam que as inovações realizadas no âmbito de uma GPT podem contribuir para elevação dos retornos oriundos das inovações realizadas em cada setor de aplicação específico (idem, p.764).

⁵ Conhecidos como os criadores do termo *General Purpose Technologies*.

CAP.2 – Indústria 4.0 e políticas industriais para sua efetivação

Este capítulo busca entender o que é a chamada Indústria 4.0, quais são os seus principais agentes e, também, quais as principais estratégias implementadas pelos mesmos para sua efetivação. Deste modo, inicialmente mostra-se que a Indústria 4.0 só pode surgir devido aos avanços tecnológicos desenvolvidos e implementados pelas revoluções industriais e tecnológicas que se desdobraram ao longo da história humana. Após apresentar as origens da Indústria 4.0, aborda-se, também, alguns dos possíveis impactos econômicos desta indústria para as economias contemporâneas. Em seguida, apresentam-se três visões sobre as tecnologias que compõem a chamada Indústria 4.0. A primeira visão é a das tecnologias essenciais e dos princípios básicos da Indústria 4.0. A segunda abordagem é a dos pilares tecnológicos e o terceiro enfoque é o dos elementos formadores da Indústria 4.0.

Além destas três abordagens, existe ainda a perspectiva das tecnologias impulsionadoras, que são aquelas capazes de ampliar os horizontes de atuação da Indústria 4.0. Apesar destas visões não serem tão divergentes entre si, é interessante apresentá-las pois, assim, entende-se, com mais profundidade, as características e os papéis que serão desempenhados por estas tecnologias no âmbito da chamada Indústria 4.0. Este novo estágio do desenvolvimento das tecnologias industriais ainda está em uma etapa inicial de formação, uma vez que ao mesmo tempo em que os atores tentam desenvolver e implementar estas referidas tecnologias, ocorre, simultaneamente, a discussão a respeito da natureza destas novas tecnologias e da sua respectiva importância para as atividades produtivas da sociedade contemporânea.

Na seção seguinte apresenta-se a concepção da Indústria 4.0 como um novo paradigma tecnoprodutivo, a partir da perspectiva de autores selecionados. Serão feitos, também, alguns comentários críticos a respeito de certos exageros interpretativos em torno da Indústria 4.0. Neste sentido, destaca-se que a Indústria 4.0 é fruto de um desenvolvimento incremental de tecnologias, ao longo das últimas décadas, e que seria provavelmente prematuro considerá-la como o centro ou o motor propulsor de uma

nova revolução industrial, uma vez que o seu único caráter potencialmente revolucionário é a fusão de tecnologias de distintas áreas do conhecimento humano.

Apresentam-se também algumas visões sobre as políticas industriais necessárias para a implementação da Indústria 4.0. E, por fim, procura-se caracterizar as principais bases das estratégias nacionais de países selecionados para a construção e a implementação da indústria 4.0 em seus territórios, destacando as narrativas construídas por estes países para adotarem políticas industriais explícitas, bem como a estrutura e os instrumentos destas referidas políticas.

2.1- Origens e impactos da Indústria 4.0

Para entender as origens da Indústria 4.0 - também chamada por alguns autores de Quarta Revolução Industrial - é necessário ter algumas noções sobre as revoluções industriais que a antecederam. Por isto, será traçado, a seguir, um breve esboço das principais características de cada revolução industrial que ocorreu ao longo da história.

Os artesãos do final do século XVIII eram os principais responsáveis pela fabricação dos produtos não agrícolas necessários à sobrevivência das suas famílias nas sociedades ocidentais. Alguns destes artesãos vendiam seus produtos para outros indivíduos, porém a produção naquela época era principalmente voltada para o próprio consumo de quem produzia (QUINTINO,2019a, p.11). A Inglaterra e França possuíam as maiores oficinas da Europa e nelas vários artesãos vendiam sua força de trabalho para os donos das respectivas oficinas. Tais oficinas de artesãos ficaram conhecidas como manufaturas artesanais, e tinham como características: produtos sem padronização, “baixo volume de produção, com alto custo de fabricação” e trabalhadores que dominavam todo processo de fabricação e comercialização (idem, p.11-12).

Foi aproximadamente a partir de 1750 que diversos processos de produção, que antes eram realizados pelos artesãos de forma manual, passaram a ser realizados por fábricas que utilizavam equipamentos mecanizados (QUINTINO,2019a, p.12). A invenção do tear a vapor, por James Whatt, possibilitou que os trabalhadores não especializados participassem dos processos de produção e também inaugurou a tecelagem num nível

industrial, dando início à **Primeira revolução industrial**. Esta última tinha como suas características principais a “mecanização da produção com uso de máquina a vapor”, a aceleração dos processos produtivos e a emergência dos donos das empresas e do operários fabris como novos atores sociais (idem, p.12). Foi neste período que surgiu a classe operária - que vendia sua mão-de-obra para os detentores dos meios de produção e que cumpria extensas jornadas de trabalho nas fábricas, que chega a atingir dezesseis horas diárias (SACOMANO e SÁTYRO,2018a, p.19).

A partir dos anos de 1870 ocorreu um impressionante desenvolvimento tecnológico, pautado pela utilização da energia elétrica, pela difusão do uso do aço e da química orgânica, que possibilitou um considerável aprimoramento das máquinas, equipamentos industriais e dos processos produtivos. Além disto, o processo de industrialização rompeu fronteiras e se expandiu por diversos países, dando origem, nos EUA, a um novo modelo de produção industrial conhecido como fordismo. Este último primava pela padronização, pela produção em massa de produtos que demandavam atividades extremamente repetitivas e extenuantes dos operários nas linhas de produção (QUINTINO,2019a, p.12).

Isto deu início à **Segunda Revolução Industrial**, que foi basicamente marcada pelo uso da eletricidade, das novas tecnologias do aço e pelos avanços da indústria Química. Nesta etapa ocorreram também a introdução da manufatura em massa de produtos discretos - com o pioneirismo da indústria automobilística - e houve uma considerável redução nos custos de produção e nos preços dos produtos fornecidos aos consumidores. Além disto, ocorreu, ainda, a padronização de produtos e a preocupação das empresas em participar de todas as etapas do ciclo de produção, desde o manuseio da matéria-prima até a venda dos seus produtos (SACOMANO e SÁTYRO,2018a, p.20).

Com o esgotamento do fordismo, desenvolveu-se no Japão, a partir dos anos 1950, um novo modelo de produção industrial chamado toyotismo, que adotava uma produção flexível (QUINTINO,2019a, p.13). O Sistema Toyota de Produção tinha como princípios para uma produção enxuta a “redução de desperdícios ao mínimo, a eliminação de perdas, a preocupação constante com a qualidade desde o projeto do produto, o bom desempenho do processo de manufatura, a produção conforme a demanda dos clientes, redução de estoques, automação” (SACOMANO e

SÁTYRO,2018a, p.21). Adiciona-se a isto o desenvolvimento dos semicondutores – que ganhou força com a criação dos circuitos integrados nas empresas Texas Instruments e na Fairchild, no biênio 1960-61 (DOSI, 2006, p. 65) - que contribuiu de maneira decisiva para o desenvolvimento da microeletrônica e para a criação dos microcomputadores, e que facilitou, por sua vez, a posterior introdução no mercado de equipamento eletrônicos e digitais. Este processo consubstanciou a revolução tecnológica da microeletrônica e que tem sido considerada, por vários autores, como a **Terceira Revolução Industrial**. A revolução tecnológica microeletrônica pode ser descrita por apresentar as características seguintes: a automação industrial microeletrônica, a nanotecnologia, a biotecnologia, a mecatrônica e as tecnologias de comunicações e informações (QUINTINO,2019a, p.13). É importante destacar também o surgimento dos controladores lógicos programáveis que contribuíram para a evolução da automação industrial microeletrônica e para a introdução das tecnologias da informação como suporte e controle dos processos de manufatura (SACOMANO e SATYRO,2018a, p.21). A produção enxuta, a evolução da microeletrônica - incluindo-se os avanços na automação industrial - e o uso intensivo das tecnologias da informação proporcionaram, por sua vez, significativos ganhos para os diversos ramos industriais e formaram as bases do que tem sido chamada, por vários autores, de Terceira Revolução Industrial (idem, p.21).

O surgimento do conceito de fábrica inteligente (ou *Smart Factory*) marcou o período de intensa interação digital, conhecido como Indústria 4.0, e que tem, também, sido qualificada por alguns autores de Quarta Revolução Industrial (QUINTINO,2019a, p.13). Em 2011, o governo alemão lançou um projeto chamado Plataforma Indústria 4.0 (*Plattform Industrie 4.0*), buscando aperfeiçoar os sistemas automatizados que monitoram os equipamentos e as operações industriais - de maneira a permitir que estes equipamentos se tornassem capazes de estabelecer comunicações e troca de informações e de dados entre si mesmos e os seres humanos - com o intuito de atingir os mais elevados patamares de otimização dos processos industriais (SACOMANO e SÁTYRO, 2018a ,p.23). Este projeto foi realizado através de uma parceria público-privada e foi disseminado por diversas organizações, tornando-se um programa governamental da Alemanha em 2015 (idem, p.23).

Em um primeiro momento, o conceito de Indústria 4.0 se restringia ao âmbito da manufatura; posteriormente passou a ser incorporado em outros ramos de atividades, como a agricultura e os serviços (QUINTINO,2019a, p.13). O governo alemão criou o projeto Indústria 4.0 visando atingir maiores níveis de produtividade e de competitividade industrial e assim enfrentar os novos desafios trazidos pelo desenvolvimento dos países asiáticos (idem, p.13). No entanto, este projeto ambicioso, que se originou na Alemanha, acabou se difundindo por diversos países ao redor do globo, e ganhou novos âmbitos, além da automação mais elevada dos processos produtivos. Âmbitos estes que incorporam diversas áreas do saber humano como a “nanotecnologia, [a] computação quântica, [o] sequenciamento de DNA, [a] Internet das coisas” etc (ibidem, p.13). A indústria 4.0 promete, segundo vários autores, transformar, consideravelmente, a forma como os indivíduos trabalham, se relacionam e vivem suas vidas (idem, p.13).

É válido ressaltar que o termo “Quarta Revolução Industrial” foi introduzido por Klaus Schwab, na reunião do Fórum Econômico Mundial em Davos, em 2016. Klaus Schwab defende que este termo denota o surgimento de uma nova fase do desenvolvimento industrial, fase esta que tem sido impulsionada pela evolução e invenção de um conjunto de tecnologias que podem funcionar conjuntamente e serem aplicadas em processos de fabricação, em serviços e em muitas outras atividades da vida humana (QUINTINO,2019b, p.21).

Klaus Schwab destaca, também, que a principal diferença da Quarta Revolução Industrial com as revoluções anteriores é que nela estão ocorrendo transformações tecnológicas ao mesmo tempo em que tenta entender e definir suas especificidades, alcances e limitações, uma vez que as outras revoluções industriais só passaram a ser estudadas depois que as transformações se efetivaram (AGUIAR,2019, p.97). Uma especificidade da Quarta Revolução Industrial é que nela diversas tecnologias passam a ser consideradas conjuntamente, permitindo a fusão dos mundos físicos, digitais e biológicos, e por isto esta revolução, na visão de Klaus Schwab, é um movimento que incorpora “uma onda de novas descobertas” fundamentada na evolução da tecnologia digital (idem, p.97).

No que tange aos possíveis impactos econômicos da chamada Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, Aguiar (2019, p.94) destaca que esta revolução poderá afetar significativamente a economia global, influenciando o comportamento de diversas variáveis econômicas como o PIB, os investimentos, o consumo, o crescimento econômico, o emprego e o comércio. A noção de indústria como é tradicionalmente entendida está em vias de sofrer uma drástica transformação graças à combinação de variadas tendências tecnológicas, capazes de unir os âmbitos virtual e físico (AGUIAR,2019, p.94). Esta transformação promoverá, ainda segundo este autor, impactos econômicos e sociais e influenciará principalmente as bases das relações entre governos e cidadãos, e das empresas com seus empregados, acionistas e clientes, influenciando inclusive o modo como as superpotências econômicas interagem com países menos desenvolvidos (idem, p.94).

A Indústria 4.0 poderá impactar, principalmente, o comportamento da variável emprego, visto que a modernização das atividades industriais e a transformação digital tende a reduzir os custos de produção, fazendo com que mais profissionais sejam requeridos para atividades estratégicas das empresas e menos profissionais sejam requeridos para atividades operacionais; o que exigirá um grande esforço de capacitação da mão-de-obra para os países que buscarem se adaptar ao que é esperado da Indústria 4.0 (AGUIAR,2019, p.94).

Isto acontecerá porque a produção e toda cadeia de valor se tornará mais flexível, visto que uma maior descentralização da gestão dos processos produtivos e uma maior utilização de dispositivos inteligentes e interconectados passarão a determinar as bases de funcionamento de praticamente toda cadeia de produção e de logística (AGUIAR,2019, p.95). Soma-se a isto o fato de que a redução do custo de produção tem facilitado aos produtores fabricarem produtos personalizados com um custo próximo ao custo da produção em massa (idem, p.95).

O mercado também será afetado pela Indústria 4.0, pois cada vez mais novos modelos de negócios poderão ser criados pelas empresas que buscam se adaptar às exigências desta indústria para se manterem competitivas (AGUIAR,2019, p.95). Assim como as empresas, os países também precisarão incentivar não só a inovação, mas também a

criação de um ambiente de mercado que favoreça e estimule o fornecimento de produtos e serviços inovadores (idem, p.95).

Ainda no que tange aos possíveis impactos da Indústria 4.0 sobre a variável emprego, é válido destacar que existe muito receio de que os computadores e os robôs substituam os seres humanos nas mais diversas atividades produtivas. De fato, um dos possíveis efeitos da Indústria 4.0 é a substituição do trabalho humano por capital e com isso o desaparecimento de alguns cargos de trabalho e aumento de pessoas desempregadas (AGUIAR,2019, p.96). Todavia, como já foi mencionado, ao mesmo tempo em que algumas profissões desaparecerão haverá, com o aumento da procura de novos produtos e serviços, a criação de novas oportunidades de emprego, isto é, novas profissões que exigirão pessoas capacitadas (idem, p.96). Não é possível prever, claramente, o número de profissões e postos de trabalho que serão substituídos pela automação. O que muitos estudiosos especulam é que, de fato, a natureza do trabalho nos mais variados setores será alterada pelo surgimento de novas tecnologias, uma vez que muitas mudanças radicais estão ocorrendo simultaneamente e com muita rapidez (ibidem, p.96). Assim, ressurge o espectro do chamado desemprego tecnológico, que terá como efeitos principais, segundo Venturelli (2018 apud AGUIAR,2019, p.97): 1) a “substituição de mão-de-obra por máquinas ou sistemas”; 2) a “substituição de operação intelectual conhecida por máquinas ou sistemas”; e 3) a “dispensa de trabalhadores por novos modelos e padrões que evoluíram ou não existiam”.

Algo que alguns estudiosos têm observado é que a chamada Quarta Revolução Industrial “parece estar criando menos postos de trabalho nas novas indústrias do que as revoluções anteriores” (AGUIAR,2019, p.97). Todavia, como esta “revolução” ainda está na etapa inicial, é preciso cautela antes de se tirar conclusões prematuras.

O que se sabe, até aqui, é que, com a evolução e adoção em massa da internet, máquinas e equipamentos, dotados de inteligência artificial, terão a capacidade de “aprender”, e uma vez aplicados nas indústrias poderão levar a “substituição do conhecimento humano por sistemas inteligentes e automatizados” (AGUIAR,2019, p.98). Resumidamente, o que tende a acontecer é que profissões como motoristas, operadores de caixa, operadores industriais, que são profissões que desempenham tarefas repetitivas e rotineiras (pouco qualificadas) tenderão a ser substituídas por máquinas (idem, p.98).

Enquanto profissões que exigem criação, abstração e atuação em atividades novas, como engenharias, computação, matemática, gestão estratégica, tendem a crescer e definir um novo perfil para os trabalhadores nesta era em transformações (ibidem, p.98).

2.2 - O conceito de Indústria 4.0

O conceito de Indústria 4.0 ainda está em desenvolvimento. Por isto, coexistem múltiplas visões sobre os elementos e tecnologias que compõem a Indústria 4.0. Esta seção toma como principal referência, para o entendimento do conceito de Indústria 4.0, a perspectiva de Furtado et al (2019) que defendem que as grandes transformações na esfera produtiva global podem ser sintetizadas nas noções de Indústria 4.0 (ou Manufatura Avançada). Como mencionado na seção anterior, o termo Indústria 4.0 foi concebido na Alemanha - com o intuito de descrever um conjunto de novas tecnologias da manufatura – que, supostamente, viabilizariam a elevação dos níveis de competitividade internacional da indústria germânica. Já a expressão Manufatura Avançada, que têm significado e propósito semelhantes, foi adotada pelos EUA. Basicamente, estes termos se referem ao conjunto de inovações tecnológicas associadas ao novo paradigma industrial contemporâneo, muitas vezes intitulado de “Quarta Revolução Industrial” (FURTADO et al.,2019, p.172). O funcionamento da Indústria 4.0 é sintetizado na seguinte passagem:

“...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, cooperam entre si e com seres humanos em tempo real, e por meio da Internet dos Serviços (IoS) são oferecidos serviços organizacionais internos e externos, utilizados por participantes desta cadeia de valor.” (Hermann, Pentek e Otto,2015, apud., FURTADO et al.,2019, p.172)

Nota-se nesta passagem o papel central da internet para a dinâmica de funcionamento da Indústria 4.0. A conectividade será pré-requisito para a operação das fábricas do futuro. Conseqüentemente, todos os atores integrantes da construção e consolidação da indústria 4.0 também estão interessados e, portanto, com muitas expectativas em relação

à tecnologia 5G - que será a internet do futuro, responsável por promover um salto expressivo nos padrões de conectividade atuais.

As tecnologias essenciais para a consolidação da Indústria 4.0 dependem deste novo padrão de conectividade. Porém, o conceito de Indústria 4.0 não se restringe ao uso destas tecnologias, uma vez que, de acordo com Furtado et al. (2019), ela também “cria e articula fábricas inteligentes em um sistema produtivo e de comercialização substancialmente diferentes”. A gestão destas fábricas inteligentes possibilitará a redução ou, até mesmo, a eliminação de estoques, tornando o processo de fabricação condicionado pela demanda de quantidades mínimas (FURTADO et al.,2019,p.173).

Isto poderá ocorrer porque haverá uma interconexão entre os sistemas de produção e os respectivos processos das fábricas e empresas envolvidas, viabilizando a gestão, em tempo real, dos processos de logística e de fabricação do momento inicial até o final (idem,p.173). Basicamente, a consolidação da Indústria 4.0 possibilitaria que “equipamentos e componentes lógicos colem, compartilhem e processem dados em tempo real”, a partir do uso combinado de tecnologia essenciais como a “IoT, computação em nuvem, inteligência artificial, *big data* e sensores inteligentes” (DIEGUES e ROSELINO, 2020, p.8).

Seguindo a exposição de Furtado et al. (2019) apresenta-se, a seguir, dois quadros que procuram sintetizar os princípios básicos e as tecnologias essenciais à Indústria 4.0.

Quadro 1- Princípios básicos da indústria 4.0

Interoperabilidade	Diz respeito à “capacidade de comunicação entre produtos, sistemas de produção e de transporte através da rede” (Furtado et al.,2019, p.175).
Virtualização	Diz respeito à “capacidade dos sistemas de monitorar processos, utilizando dados provenientes de sensores, para criar uma versão digital que espelha o mundo físico” (Furtado et al.,2019, p.175).

Descentralização	Devido à crescente complexidade e individualização nos processos produtivos ligados à Indústria 4.0, a tomada de decisão descentralizada é crucial (Furtado et al.,2019, p.176).
Capacidade de Resposta em Tempo Real	Visa “garantir a capacidade de reação do sistema a mudanças de demandas ou problemas de operação”, por isso é preciso que exista “coleta e análise dos dados gerados pelos sistemas inteligentes para propiciar respostas em tempo real” (Furtado et al.,2019, p.176).
Orientação ao Serviço	“Trata-se da disponibilização das funcionalidades de empresas, sistemas inteligentes e operadores humanos encapsulados sob a forma de serviços prestados em plataformas da Internet dos Serviços” (Furtado et al.,2019, p.176).
Modularidade	São sistemas modulares com capacidade “de se ajustar e reorganizar <i>pari passu</i> com mudanças na demanda ou necessidade de customização de produtos” (Furtado et al.,2019, p.176).

Quadro 2 – Tendência tecnológicas emergentes ou Tecnologias essenciais da Indústria 4.0

Sistemas ciber-físicos (CPS)	“[C]ombinam atuação no mundo físico com conexão com o mundo virtual, empregando sensores que permitem capturar informações sobre a realidade, transformá-las em dados e utilizá-los na tomada de decisão e atuação com algum grau de automatismo” (Furtado et al.,2019, p.176).
Computação em nuvem	Esta tecnologia “se baseia na transferência de dados e realização de processos computacionais em instalações externas à empresa e posterior recuperação destes dados e resultados, por meio da internet” (Furtado et al.,2019, p.177).
Internet das Coisas (IoT)	“[T]rata-se do meio digital por onde as versões virtuais de sistemas inteligentes e integrados se comunicam. Com a redução de custos de sensores e miniaturização de componentes eletrônicos cresce o número de objetos conectados à Internet (<i>Smart Objects</i>) gerando dados obtidos por eles sobre a realidade, dando origem ao termo que descreve sua interação e dinâmica de comunicação” (Furtado et al.,2019, p.177).

Internet dos serviços (IoS)	“[É] o meio digital por onde empresas, pessoas ou sistemas inteligentes podem se comunicar com o objetivo de disponibilizar e obter serviços” (Furtado et al.,2019, p.177).
Impressão 3D	Diz respeito “a processos produtivos que, diferentemente dos métodos clássicos de fabricação, adicionam camadas de material como forma de traduzir uma geometria virtual em objeto físico.” (Furtado et al.,2019, p.177).
Big Data Analytics	“Compreendem um conjunto de técnicas e ferramentas computacionais para extrair valor (analisar e utilizar esses dados de forma estratégica) de grandes volumes de dados gerados pela aplicação de CPS e demais equipamentos conectados no sistema produtivo” (Furtado et al.,2019, p.176).
Inteligência Artificial	Que é “definida pela capacidade de computadores de realizar tarefas tipicamente associadas exclusivamente a seres dotados de inteligência. Idealmente, um elemento que exiba inteligência artificial será capaz de avaliar seu ambiente, processar informações de forma flexível, aprender com novas experiências e maximizar suas chances de sucesso em seus objetivos” (Furtado et al.,2019, p.178).
Colheita de energia	“[Q]ue reúne um conjunto de técnicas e mecanismos que buscam aproveitar pequenas quantidades de energia de processos físicos e mecânicos ou do ambiente (como energia solar, do vento, gradientes de salinidade, campos eletromagnéticos e gradientes de temperatura) e transformá-las em energia útil” (Furtado et al.,2019, p.178).
Realidade Aumentada	“[É] a sobreposição computacional de elementos virtuais sobre o ambiente físico do usuário em tempo real, modificando ou incluindo elementos visuais e/ou auditivos que complementam sua experiência” (Furtado et al.,2019, p.179).

Quintino (2019a, p.14) apresenta uma abordagem do conceito de Indústria 4.0 que não difere muito da apresentada anteriormente. A principal distinção entre estas visões está no entendimento das tecnologias essenciais que compõem a Indústria 4.0. Quintino (2019a, p.14) entende que existem nove tecnologias que compõem os pilares básicos da Indústria 4.0, como pode ser visto na figura 1 abaixo.

Figura 1- Pilares tecnológicos da Indústria 4.0



Fonte: QUINTINO,2019, p.14 adaptado de elenabs/ Shutterstock.com

Assim, além de considerar a Internet das coisas, a computação em nuvem, a impressão 3D, a realidade aumentada, o *big data*, Quintino (2019a) também considera como tecnologias essenciais para Indústria 4.0 a cibersegurança, a integração de sistemas, a simulação e a robótica autônoma. Ainda segundo Quintino (2019a, p.15), a robótica autônoma indica que foi só com a chegada dos conceitos da Indústria 4.0 que a robótica ganhou inovações como a robótica colaborativa, em que os robôs e os seres humanos atuam conjuntamente nos processos produtivos. Os robôs utilizam equipamentos capazes de tomar decisões e trocar informações com outros equipamentos, proporcionando soluções e dividindo tarefas com alguns seres humanos especializados (QUINTINO,2019a, p.15). Além disto, os robôs podem ser utilizados em tarefas que exigem mais precisão, velocidade e repetição, enquanto os humanos podem manter o foco no gerenciamento e na realização de outras tarefas (idem, p.15).

A simulação computacional, de acordo com o mesmo autor, indica que os *softwares* de simulação são programas capazes de simular fidedignamente “comportamentos de produtos, processos e até plantas industriais completas” (QUINTINO,2019a, p.15). A simulação computacional consiste na execução do programa que abrange as equações ou algoritmos de modelos computacionais, que visam capturar os possíveis comportamentos de um sistema qualquer sujeito à modelagem (QUINTINO,2019a, p.16). Assim, é possível saber, com antecedência, quais são os pontos fortes e fracos de um projeto sujeito à modelagem, corrigindo eventuais erros e falhas antes da sua implementação (idem, p.16).

A cibersegurança, como aponta Quintino (2019a, p.16), “contempla o conjunto de técnicas e tecnologias que visam detectar, prevenir e combater ataques a dados, programas e redes”. Isto é importante porque na Indústria 4.0 “praticamente tudo está conectado e integrado” e a proteção dos dados e dos sistemas torna-se uma necessidade crucial (QUINTINO,2019, p.16).

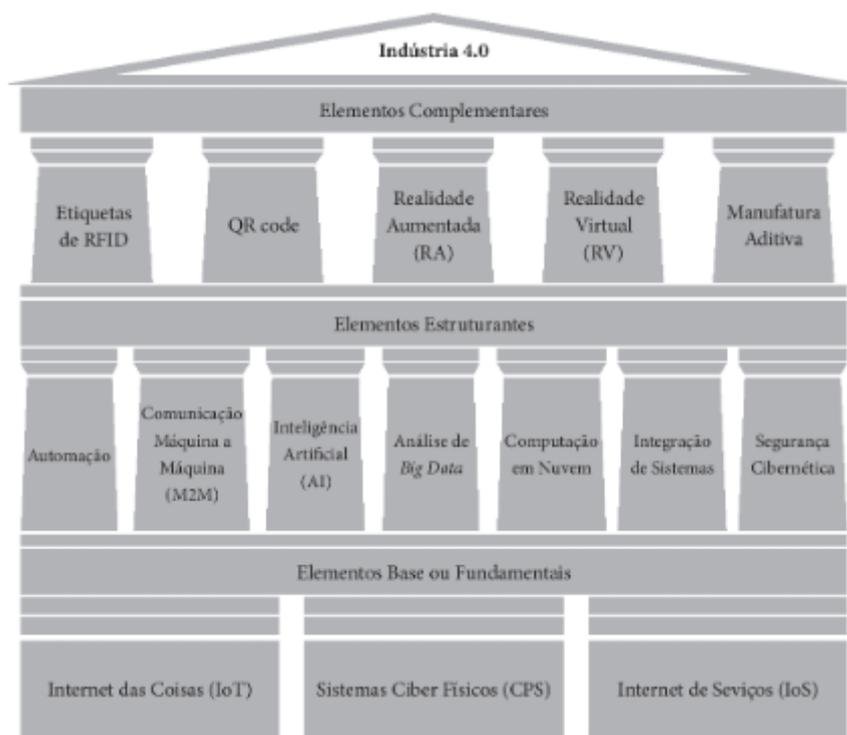
Já a integração de sistemas, ainda segundo Quintino (2019a, p.16), indica a integração de “sistemas que compõem toda a cadeia de valor produtiva, como SAP, ERP, MES e outros, integrando fabricante, fornecedores, distribuidores e clientes, facilitando análise e tomada de decisão”.

Com o intuito de aprofundar o entendimento sobre o papel que estas novas tecnologias tenderão a desempenhar na Indústria 4.0, apresenta-se, a seguir, uma visão complementar resumida do referido conceito, isto é, relacionadas à arquitetura das tecnologias fundamentais que compõem a indústria 4.0. Como muitas destas tecnologias já foram tratadas anteriormente, busca-se apenas destacar as características que tornam algumas delas tecnologias cruciais para o bom desempenho da Indústria 4.0.

Sacomano e Sátyro (2018b,p.33) sugerem uma classificação dos elementos formadores da Indústria 4.0 dividida em três partes: a) os elementos fundamentais - que denotam a base tecnológica essencial do conceito de indústria 4.0; b) os elementos estruturantes - que denotam as tecnologias e conceitos necessários para que uma fábrica inteligente tenha as aplicações que se enquadrem no que é esperado para a Indústria 4.0; e c) os elementos complementares - que são aqueles que podem expandir as capacidades da

Indústria 4.0. A figura 2, a seguir, apresenta estes elementos formadores da Indústria 4.0.

Figura 2- Elementos formadores da Indústria 4.0



Fonte: SACOMANO e SÁTYRO, 2018b, p.39

A internet é fundamental para o funcionamento de uma linha de produção em uma fábrica inteligente, pois atuadores e sensores controlam a linha de produção e transmitem informações para uma central. Esta última, através da internet, retransmite tais informações para os sistemas, que atuam na supervisão dos equipamentos envolvidos na linha de produção (SACOMANO e SÁTYRO, 2018b, p.30). Fábrica inteligente (ou *smart factories*) são as fábricas capazes de utilizar a interconectividade nos processos produtivos, podendo inclusive fazer com que a linha de produção se reconfigure e produza grandes volumes de produtos customizados (SACOMANO e SÁTYRO, 2018b, p.31).

Assim, Sacomano e Sátyro (2018b, p.32) definem a indústria 4.0 como

“um sistema produtivo, integrado por computador e dispositivos móveis interligados à internet ou à intranet, que possibilita a programação, gerenciamento, controle, cooperação e interação com o sistema produtivo de qualquer lugar do globo em que haja acesso à internet ou à intranet, buscando, assim, a otimização do sistema e toda a sua rede de valor, ou seja, empresa, fornecedores, clientes, sócios, funcionários e demais stakeholders”.

Ainda na visão de Sacomano e Sátyro (2018, p.34). os CPS, a IoT e a IoS fazem parte dos elementos fundamentais da indústria 4.0. Os sistemas ciber físico (ou Cyber-Physical Systems(CPS)) são basicamente os sensores e atuadores que utilizam a internet para dar prosseguimento às operações e processos produtivos dentro de uma fábrica inteligente. Estes sistemas atuam na vinculação da linha de produção aos demais mecanismos e envolvidos ou interessados no monitoramento dos equipamentos (SACOMANO e SÁTYRO,2018b,p.30). Os sistemas ciber físicos (CPS) consistem uma nova maneira de “implantar sistemas de informação e automação”, facilitando o compartilhamento de informações, acionando comandos e monitorando todo processo produtivo de uma fábrica a distância (SACOMANO E SÁTYRO,2018b,p.34).

Estes sistemas mecatrônicos são constituídos por sensores e atuadores, que são controlados por *softwares*, que analisam, por sua vez, dados e informações em tempo real e realizam a manutenção e o controle de diversos processos industriais que ocorrem no âmbito físico (SACOMANO e SÁTYRO,2018,p.34). As aplicações incorporadas às arquiteturas dos sistemas ciber físicos são compostas por duas camadas, sendo uma física (ou de tecnologia operacional) e uma outra ciber (ou virtual) que trata das aplicações referentes à tecnologia de informação (PETRONI et al,2018, p.48).

Os elementos computacionais do CPS são conectados pelos referidos sensores e atuadores aos elementos físicos, possibilitando que o ambiente virtual mantenha o controle e a manutenção do ambiente físico (PETRONI et al, 2018, p.48). Os sensores “são dispositivos que captam informações do ambiente físico e as transformam em sinais elétricos e, então sinais digitais, para alimentar os sistemas de monitoramento e controle em tempo real” e os atuadores contribuem para a realização de “intervenções

no mundo físico a partir de sinais e comandos digitais(...) podendo assim controlar ações de máquinas, posicionamento de peças e objetos, velocidade de esteira, temperatura e pressão e outras características do ambiente físico”. Em suma, os sensores e atuadores contribuem para integração das camadas física e ciber (PETRONI et al,2018,p.49).

A Internet das coisas (ou internet of things) diz respeito à capacidade de objetos, através da internet, se comunicarem entre si mesmos e com seres humanos; assim, as coisas poderão emitir e/ou receber informações para realizarem certas tarefas (SACOMANO e SÁTYRO,2018,p.34). Estes autores dão o seguinte exemplo de aplicação da IoT em indústrias:

“um sensor de temperatura que capta a temperatura de determinado ponto de inspeção em um forno industrial, e transmite este valor de temperatura pela internet para uma central(...). Esta central poderia ser acessada remotamente pela internet, por um servidor que verificaria a temperatura”. (SACOMANO e SÁTYRO,2018,p.34)

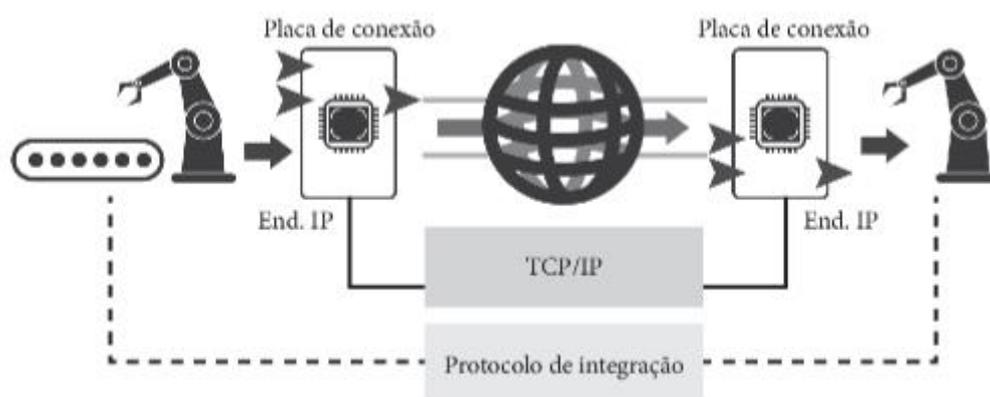
Além disso, quando aplicada na indústria, a IoT poderá reduzir o consumo de energia e aprimorar a eficiência do trabalho. No que diz respeito à manufatura, os sensores ajudarão a controlar máquinas, processos produtivos variados, melhorar os processos de logística, elevar a competitividade das empresas, diminuir custos operacionais e aumentar a segurança dos trabalhadores (SACOMANO et al, 2018, p.58). Um outro exemplo de aplicação de IoT é o caso de um sensor que pode “identificar peças ao longo de uma linha de montagem e informar ao almoxarifado quantos componentes serão necessários na estação seguinte”. Da mesma forma, os sensores são capazes de identificar o mau funcionamento de uma máquina e acionar imediatamente a manutenção da mesma, podendo inclusive informar “o planejamento da produção do ocorrido e apresentar possibilidades para minimizar o tempo que será gasto para manutenção” (idem, p.58-59).

Os objetos (as coisas) inteligentes (ou *smart proudcts*) dizem respeito a qualquer coisa que tenha conjuntamente capacidade de processamento e de conexão com a internet (SACOMANO e SÁTYRO,2018b, p.35). Adiciona-se a isto a possibilidade de criação de novas aplicações facilitadas pela IoT, como as cidades inteligentes, que permitirão

que elementos urbanos sejam conectados por sistemas e assim reduzam congestionamentos e melhorem o tráfego de carros nos grandes centros urbanos (idem, p.35).

Através da IoT os objetos podem atuar, simultaneamente, como emissores e como receptores de informações, e podem ser adicionalmente elementos computacionais que utilizam placas de conexão - cada uma com um endereço IP - e que atuam na conexão com a rede, possibilitando a codificação das mensagens com base no protocolo TCP-IP (SACOMANO et al,2018,p.61). Desta forma, uma máquina inserida no processo produtivo de uma fábrica consegue se comunicar com outra máquina, “desde que estejam de pré-acordo conforme um protocolo de integração”. Este último requisito configura uma desafio técnico para implantação de uma rede da IoT em uma linha de produção qualquer, visto que máquinas produzidas por diferentes fabricantes podem enfrentar dificuldades para estabelecer comunicações entre, uma vez que cada uma pode “falar um idioma” diferente da outra (SACOMANO et al,2018,p.61). A figura 3, abaixo, exemplifica a comunicação entre máquinas a partir da IoT.

Figura 3- Esquema de IoT entre máquinas



Fonte: SACOMANO et al,2018,p.61

Já a internet de serviços (ou *internet of services (IoS)*), na visão de Sacomano e Sátyro(2018b,35), permitirá que novos serviços sejam fornecidos através da internet ou até mesmo dentro de uma empresa. Um exemplo disto é a possibilidade de um carro sinalizar o momento adequado para troca de pneus. No caso de uma indústria, existirá a

possibilidade do próprio equipamento solicitar reparos aos serviços de manutenção ou responsáveis (idem,p.35). Assim, é válido salientar que internet de serviços é o nome dado aos novos serviços que surgiram e também aqueles que podem surgir devido a “convergência entre o mundo real e a tecnologia digital” - em que a internet possibilita toda uma nova gama de aplicações, que são desenvolvidas por empresas-, para atender consumidores que anseiam por serviços que facilitem sua vida em um mundo cada vez mais interconectado (REIS et al,2018, p.70). A figura 4, a seguir, ilustra alguns dos novos serviços possibilitados pela internet.

Figura 4- Internet de serviços



Fonte: REIS et al,2018, p.71

Segundo Sacomano e Sátyro (2018b, p.36), os **elementos estruturantes** fazem parte de diversas aplicações possíveis para Indústria 4.0. São elementos estruturantes a automação, a comunicação máquina a máquina (M2M), a Inteligência artificial (AI), o *Big data Analytics* e a computação em nuvem. A automação diz respeito a possibilidade de tarefas e operações industriais serem realizadas sem (ou com o mínimo) de intervenção humana, pois os equipamentos de uma fábrica ao seguirem instruções e programações prévias conseguem gerir a si mesmos (SACOMANO e SÁTYRO,2018b ,p.36). Os robôs poderão contribuir para que as empresas adquiram patamares mais elevados de produtividade e elevem a qualidade dos produtos fabricados, além de

reduzirem os possíveis riscos para os trabalhadores em tarefas consideradas muito cansativas, repetitivas ou perigosas (idem,p.36).

Convém ressaltar que a automação não significa, necessariamente, a eliminação completa da mão-de-obra, visto que algumas unidades de produção necessitarão da interação entre humanos e máquinas (ibidem,p.37). Os robôs, por sua vez, são vistos como acessórios da Indústria 4.0 - pois sua utilização não significa necessariamente que a empresa esteja, de fato, atuando nos moldes da Indústria 4.0 -, uma vez que uma empresa que atue no ramo industrial pode fazer uso dos CPS, da IoT e da IoS e dispensar o uso de robôs (ibidem, p.37).

A comunicação máquina a máquina (ou *machine to machine* (M2M)) é basicamente a comunicação entre máquinas ou até mesmo o compartilhamento de dados entre um dispositivo qualquer e um computador central através da internet (SACOMANO e SÁTYRO,2018b,p.37). A comunicação M2M ocorre em quatro etapas: “[a] geração de dados, [a] transmissão dos dados, [a] análise dos dados e [a] tomada de decisão” (SACOMANO e SÁTYRO,2018b,p.37). Esta comunicação entre máquinas pode ser utilizada conjuntamente com os sistemas ciber físicos, pois estes ajudam no compartilhamento dos dados e informações entre os principais equipamentos que compõem o processo produtivo de uma fábrica inteligente (idem, p.37). Através do processo M2M, os dados de um processo produtivo qualquer são processados, ainda na linha de produção, e informados por uma máquina que toma decisões de forma descentralizada (ibidem. p.37). Apesar da comunicação M2M ser feita autonomamente, os seres humanos interessados no processo produtivo em questão podem monitorar e interferir em tal processo quando acharem necessário (MOARES e SÁTYRO,2018,p.80).

A Inteligência artificial tem como finalidade “utilizar dispositivos ou métodos computacionais de forma similar à capacidade de raciocínio humano, resolvendo problemas da maneira mais eficiente possível” e contribuindo para o controle do processo de produção (SACOMANO E SÁTYRO,2018b, p.37). A inteligência artificial também cumpre a tarefa de auxiliar os seres humanos na resolução de problemas com graus de complexidade cada vez maiores e de maneira mais rápida - incluindo tarefas como o reconhecimento de voz, a aprendizagem, a resolução de problemas e o auxílio

nas atividades de produção de uma fábrica inteligente (MOARES e SÁTYRO,2018, p.82). A inteligência artificial será fundamental para que todo um conjunto de objetos inteligentes sejam integrados harmonicamente, com a finalidade de auxiliar atividades humanas nos mais diversos setores (MOARES e SÁTYRO,2018, p.83).

A análise de *big data* consiste basicamente na “massa de informações geradas por todo sistema, seja ele produtivo, comercial, marketing” e que é analisada para atingir os propósitos de uma organização no curto ou longo prazos (SACOMANO e SÁTYRO, 2018b, p.37). Como objetos inteligentes e interconectados geram um expressivo e considerável volume de dados, a análise destes dados torna-se um grande desafio para os gestores e interessados nos rumos dos negócios. Assim, o *big data* corresponde a análise da massa de dados geradas e torna-se condição para definição e tomada de decisões estratégicas das mais variadas empresas (MOARES e SÁTYRO,2018, p.85). O *Big data* também pode ser entendido como sendo ativos de informação para organizações que precisam definir modelos de negócios eficazes para obtenção dos seus objetivos, o que envolve novas formas de processamento do elevado volume de informações, requeridas para tomada de decisões estratégicas (idem, p.86).

A análise de dados (ou *data analytics*) denota, por sua vez, a necessidade das organizações, dos mais diversos setores atividades de analisar informações e obter conhecimento das mesmas. Estes procedimentos são realizados através de “modelos matemáticos, estatística, modelos preditivos e *machine learning*”, com o propósito de inferir possíveis padrões nos dados analisados (MOARES e SÁTYRO,2018, p.86). Isto forma uma pirâmide na qual os dados constituem a base, a informação constitui o meio e o conhecimento o topo que indica o caminho para a tomada das melhores decisões, capazes de contribuir para geração de valor de uma empresa (idem, p.86). O principal papel da análise de *big data* na indústria 4.0 é a formação de uma nova classe de ativo organizacional, pois os dados analisados e armazenados passam a funcionar como potenciais ativos intangíveis das organizações, que podem ser usados para geração de valor, tais como o capital intelectual ou a marca da organização (idem, p.87).

A computação em nuvem diz respeito a capacidade de usuários acessarem dados, arquivos e informações que estão armazenadas e processadas em servidores que podem estar localizados em distintas regiões do globo. Por isso alguns servidores localizados

em um certo país podem processar dados gerados por uma empresa localizada em um país distinto (SACOMANO e SÁTYRO,2018b,p.38). O termo “nuvem” se refere ao ciberespaço que não especifica a localidade exata dos servidores que originaram os dados (idem, p.38). A computação em nuvem permite que os dados e as informações sejam acessadas em qualquer região do globo desde que exista conexão com a internet para um possível “controle multilocal do processo produtivo” (ibidem,p.38).

A integração de sistemas diz respeito a necessidade de “todo o sistema estar integrado para permitir o funcionamento da Indústria 4.0 em sua plenitude” (SACOMANO e SÁTYRO,2018b,p.38). Esta integração é atualmente um dos maiores desafios para a efetivação da Indústria 4.0, visto que muitos equipamentos que funcionam com sistemas elaborados pelos seus mesmos fabricantes não costumam ter uma boa interação com sistemas de fabricantes distintos (idem, p.38). Segundo Moraes e Sátyro (2018, p.89), “[a] integração é absolutamente fundamental, pois sem ela um conjunto de equipamentos, máquinas, robôs e sistemas de informação não integrados são quase inúteis para os benefícios que se espera da Indústria 4.0”.

Os **elementos complementares**, segundo Sacomano e Sátyro (2018b), adicionam e expandem as possíveis aplicações dos outros elementos da Indústria 4.0. Os principais elementos complementares são a realidade aumentada, a realidade virtual e a manufatura aditiva (ou impressão 3D). A realidade aumentada (RA) permite que o mundo real seja reunido aos objetos virtuais e possui três características básicas: “[c]ombina o real com o virtual; interage em tempo real; apresenta-se em três dimensões” (SACOMANO e SÁTYRO,2018b, p.41). Com a RA um trabalhador é capaz de acessar um conjunto de informações relevantes para um bom desempenho das suas atividades, como a arquitetura, a cadeia de montagem e os itens do estoque que precisam de reposição (idem, p.41). Como todas as informações relevantes estão presentes no campo visual do trabalhador, suas atividades acabam sendo facilitadas (ibidem, p. 41).

A realidade virtual diz respeito a “um conjunto particular de *hardware*, que pode incluir computadores, *headphones*, óculos, luvas sensíveis a movimento e outros, para dar a sensação de uma realidade que não se encontra no local, uma realidade apenas virtual” (SACOMANO e SÁTYRO, 2018b, p.42). Com a RV é possível observar com

antecedência protótipos de máquinas antes mesmos delas estarem fisicamente instaladas no local. Diferentemente da realidade aumentada que complementa a observação do que de fato está instalado em um local, a realidade virtual permite a observação de uma realidade que só existe no plano virtual e que, posteriormente, pode ser implementada num determinado local (idem, p.42). A RV tem sido utilizada para fornecer aos clientes a sensação de experimentar produtos, sejam eles carros ou roupas, sem que estes produtos estejam fisicamente a disposição.

A impressão 3D, também chamada de manufatura aditiva, foi inventada na década de 1980, mas só com os desenvolvimentos da microeletrônica e de novos materiais ganhou mais espaços no mercado. Basicamente esta tecnologia denota “um processo de impressão de objetos a partir da deposição de variados materiais em camadas” (SACOMANO e SÁTYRO,2018b, p.43). Esta tecnologia permite que uma impressora 3D localizada num certo lugar, ao receber instruções online, fabrique peças (idem, p.43). Existem impressoras 3D capazes de fabricar peças de conteúdos metálicos, plásticos e de concreto que podem ser utilizadas em indústrias e outros setores de atividades (ibidem, p.43).

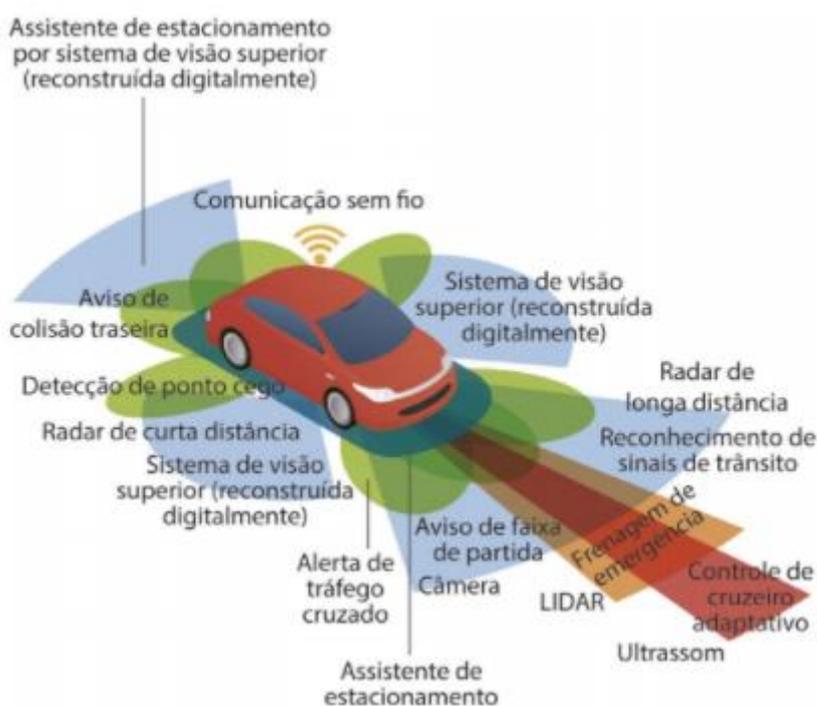
Além das concepções sobre o conceito de Indústria 4.0 apresentadas até aqui, existe também a visão dos **elementos impulsionadores da Indústria 4.0**. Quintino (2019), inspirado nas formulações de Klaus Schwab, aponta que a compreensão dos elementos ou tecnologias impulsionadoras é importante porque estas tecnologias podem favorecer o pleno desenvolvimento da Indústria 4.0. Os principais impulsionadores da Indústria 4.0 estão distribuídos em três categorias, a física, a digital e a biológica. Estes impulsionadores são basicamente megatendências tecnológicas que podem expandir os horizontes de atuação da Indústria 4.0.

Klaus Schwab apresenta como principais impulsionadores da categoria física, na Indústria 4.0, as seguintes megatendências tecnológicas: os veículos autônomos, a manufatura aditiva, a robótica avançada e os novos materiais (QUINTINO,2019b, p.21). Enfatizando-se os elementos que ainda não foram vistos, é possível destacar os veículos autônomos (ou veículos sem motorista) que são “qualquer tipo de transporte, tripulado ou não, que funcione sem a necessidade de comandos humanos” (idem, p.22). Estes veículos trazem consigo um conceito fundamental para construção dos chamados

“sistemas de transporte inteligentes”, que incluem além dos carros, “aviões, drones, barcos, submarinos, empilhadeiras, paletérias, robôs” dentre outros (idem, p.22).

Os veículos autônomos utilizam técnicas variadas para execução de comandos, sem a intervenção humana, buscando encontrar os melhores trajetos e chegar no destino almejado, além de serem capazes de estabelecer comunicações com outros veículos, equipamentos e sistemas de trânsito (QUINTINO,2019b, p.22). Na figura 5, abaixo, é possível ver um caso padrão de um sistema de sensoriamento de veículos autônomos.

Figura 5- exemplo de um sistema de sensoriamento remoto de um veículo autônomo



Fonte: QUINTINO,2019b, p.23 adaptado de Metamorworks/Shutterstock.com

O sistema de sensoriamento apresentado na figura 5 demonstra algumas bases de um sistema de controle de um carro autônomo, incluindo a capacidade de comunicação sem fio que requer conexão com a internet (QUINTINO,2019b, p.23). Existem vários níveis que compõem a arquitetura de veículos autônomos e obedecem a sequência “percepção-planejamento-controle” de maneira repetitiva e interminável. Estes níveis podem ser entendidos de seguinte forma: o nível de percepção - que executa tarefas de detecção e

filtragem; o de planejamento - que executa tarefas de planejamento de missão, tomada de decisão, planejamento de caminho; e o nível de controle - que tem como tarefa a estabilização e o rastreamento (idem, p.24).

A nanotecnologia e os novos materiais também se enquadram na categoria física dos impulsionadores tecnológicos da Indústria 4.0. A nanotecnologia pode ser entendida como “a tecnologia de manipulação de átomos e moléculas que trabalha em escala nanométrica” e contribui para a geração de novos materiais, produtos e processos (QUINTINO,2019b, p.29). Estes novos materiais possuem diversas aplicações potenciais (algumas já efetivas) e provavelmente contribuirão para criação de muitas inovações tecnológicas, visto que são adaptáveis, recicláveis, mais leves e resistentes que os materiais tradicionais (idem, p.26). Alguns exemplos destes novos materiais são o grafeno, o aerogel, o metal amorfo, o metamaterial, os nanotubos de carbono, a seda artificial de aranha.

No que tange aos impulsionadores tecnológicos da categoria digital da Indústria 4.0, Quintino (2019) destaca a inteligência artificial, o *big data*, a IoT. Como todas estas tecnologias já foram abordadas, não é preciso aprofundar a caracterização das mesmas - bastando apenas apontar algumas informações relevantes -, como o modo que o *big data* tem sido usado pelas empresas e a diferença entre a IoT e a M2M. Na figura 6, a seguir, há um exemplo de uso de Big data pelas empresas

Figura 6- Uso de *Big data* em companhias de grande porte



Fonte: Fard,2018 apud QUINTINO,2019c, p.47.

Quanto às diferenças entre IoT e M2M, Quintino (2019c, p.43) entende que as soluções M2M fazem parte de um subconjunto da IoT. A M2M e a IoT podem ser utilizadas conjuntamente representando “a coordenação de máquinas, dispositivos e aparelhos de vários fornecedores conectados à internet por meio de várias redes” (idem, p.43). O Quadro 3, abaixo, apresenta um comparativo entre as características da IoT e da M2M.

Quadro 3- Comparativo da IoT e M2M

IoT	M2M
Os dispositivos comunicam-se usando redes IP, incorporando-se a vários protocolos de comunicação.	Comunicação ponto a ponto normalmente incorporada ao <i>hardware</i> local do cliente.
A entrega de dados é feita por meio de uma camada intermediária hospedada na nuvem.	Muitos dispositivos usam celular ou rede sem fio.
Na maioria dos casos, os dispositivos exigem uma conexão ativa com a internet.	Dispositivos não dependem necessariamente de uma conexão com a internet.
Opções de integração ilimitadas, mas requerem uma solução que possa gerenciar todas as comunicações.	Opções de integração limitada, como dispositivos, têm padrões de comunicação correspondentes.

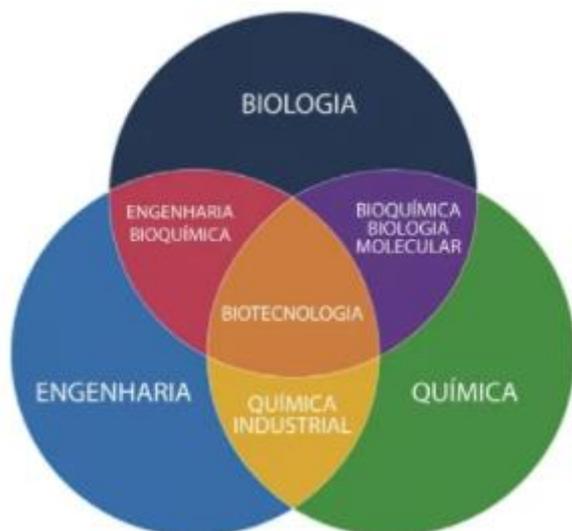
Fonte: QUINTINO,2019c, p.43

A biotecnologia é principal tecnologia componente da dimensão biológica da indústria 4.0. Segundo Quintino (2019d, p.53), a biotecnologia

“é a utilização de um conjunto de processos e técnicas que visam a utilização dos conhecimentos da biologia em diversas áreas tecnológicas e científicas, especialmente para desenvolver e melhorar a produção agrícola e a indústria de alimentos, utilizando micro-organismos, células ou componentes celulares”.

A biotecnologia é um campo de estudo que intersecciona diversas áreas, como pode ser visto na figura 7, a seguir.

Figura 7- Interseção das áreas na Biotecnologia



Fonte: Vialta,2019 apud QUINTINO,2019d, p.54.

A biotecnologia industrial é o nome dado à aplicação da biotecnologia nos ramos industriais e visa “desenvolver e aprimorar processos e produtos com uso dos recursos oferecidos pela tecnologia” (QUINTINO,2019d, p.56). Desta forma, com o “ uso de microrganismos e enzimas, é possível a geração de materiais e produtos, como também a melhoria de diversos processos” (idem, p.56). São diversas as possibilidades de aplicações da biotecnologia como, por exemplo, o sequenciador de DNA portátil - que contribuirá para o diagnóstico de certas doenças; as bactérias bioluminescentes; a técnica de edição de DNA (CRISPR) - que pode ser usada na alteração do DNA de qualquer organismo, inclusive seres humanos; a terapia genética avançada - que poderá viabilizar o tratamento de doenças genéticas (ibidem, p.56-60).

A biotecnologia também gera preocupações e desafios para os seres humanos. As situações potencialmente mais desafiadoras parecem ser a biossegurança - que atua no fornecimento de normas e medidas de prevenção a possíveis acidentes ligados ao trabalho dos biotecnologistas, que manuseiam vírus, bactérias, fungos e células; a edição genética e a biologia genética - que envolvem questões éticas e de segurança; a guerra biológica e o bioterrorismo, pois muitos estudiosos consideram que armas biológicas podem ser mais nocivas que armas convencionais (QUINTINO,2019d, p.62-64).

Como pôde ser visto até aqui, o conceito de Indústria 4.0 pode variar de acordo com a percepção dos autores sobre quais são as tecnologias essenciais e quais são as tecnologias complementares. Mas em essência a Indústria 4.0 é uma compilação de tecnologias que podem ser utilizadas conjuntamente, em processos e em operações dentro de fábricas inteligentes. Como aponta Kupfer (2016), “Manufatura Avançada ou Indústria 4.0 nada mais são do que um elenco de técnicas que dependem do uso coordenado de informação, automação, computação, software, sensoriamento e conexão em rede”. Mas o conceito de Indústria 4.0 vai além da manufatura e pode abranger, também, o setor de serviços, a agricultura e até mesmo o meio urbano, com as cidades e edifícios inteligentes. Foram apresentadas nesta seção as quatro visões que parecem ser complementares entre si.

2.3 - Políticas industriais diante do novo paradigma tecnoprodutivo

Furtado et al. (2019, p.174) enfatizam que a Indústria 4.0 poderá proporcionar uma reconfiguração da dinâmica econômica mundial, visto que, com a consolidação deste novo paradigma, os países desenvolvidos poderão diminuir, consideravelmente, a demanda por commodities básicas processadas nos países que não fazem parte do grupo de países desenvolvidos. Tal situação impactará, muito provavelmente, os fluxos de comércio e de investimentos e, conseqüentemente, afetará também as posições competitivas de diversos países que forem capazes de adotar o novo paradigma. Porém, como destacam estes os autores, os países não serão impactados de maneira uniforme, podendo resultar em novas assimetrias internacionais (ou no aprofundamento das já existentes) nos âmbitos produtivos, tecnológicos e comerciais.

Diegues e Roselino (2020, p.3) destacam que, além de fomentar um novo paradigma tecnoprodutivo, a introdução da Indústria 4.0 busca, também, revigorar as iniciativas dos países desenvolvidos rumo a construção de novos determinantes da competitividade das suas indústrias. De acordo com estes autores, as políticas industriais dos países centrais, ligadas à construção das suas respectivas indústrias 4.0, visam enfrentar o protagonismo industrial alcançado pela China nos últimos tempos e, com isso, “reestabelecer a hierarquia historicamente construída entre as nações no que diz respeito às suas superioridades produtiva e tecnológica” (idem, p.3). Isto significa que a

chamada Indústria 4.0 é, também, fruto das estratégias nacionais de países desenvolvidos que utilizam suas respectivas políticas industriais para reconquistarem posições competitivas no âmbito mundial, ameaçadas pela emergência chinesa e de alguns outros países emergentes.

Por isto, ainda segundo estes autores, o paradigma tecnoprodutivo sintetizado e introduzido pelas iniciativas dos países centrais para fomentar a Indústria 4.0 deve ser analisado levando-se em consideração, dentre outros fatores, a circunstância de que tais países buscam construir uma resposta à ameaça representada pelo recente protagonismo industrial e tecnológica da China (Diegues e Roselino, 2020, p.10).

Estes autores não são os únicos que apontam para esta perspectiva estratégica, relacionada ao fomento da Indústria 4.0, por parte dos países centrais. Furtado et al(2019, p.174) também afirmam que é possível alegar que a chamada ‘Quarta Revolução Industrial’ em certa medida é

“(...)fruto da estratégia dos países desenvolvidos de articulação coesa de estratégias empresariais e ações públicas de suporte para combater as ameaças ao protagonismo ocidental advindas do crescimento industrial no Oriente. Com efeito, as mudanças promovidas pela Indústria 4.0 apresentam um potencial bastante promissor para combater o modelo de produção em larga escala e baixo custo dos países emergentes, bem como os seus efeitos nos fluxos de comércio (os déficits comerciais de muitos países ocidentais com a China, por exemplo) e, ao menos parcialmente, na desindustrialização.”

No entanto, existem alguns críticos quanto ao excesso de expectativas em torno da Manufatura Avançada ou Indústria 4.0. É o caso de Kupfer (2016), que critica o modo como alguns estudiosos definem a importância da Indústria 4.0 para o contexto atual. Estes autores, na visão de Kupfer, olham para a Indústria 4.0 como uma tecnologia disruptiva, isto é, como “o vetor de uma nova Revolução Industrial” assim como a máquina a vapor, a energia elétrica, os semicondutores e a informática foram vetores das respectivas revoluções industriais que ocorreram ao longo da história humana.

Neste sentido, Kupfer (2016) afirmou que “não há razão para se acreditar que esse seja o entendimento mais correto”, visto que a Indústria 4.0 tende a ser muito mais “um elenco de inovações incrementais que decorrem da incorporação e, principalmente, da integração de tecnologias já disponíveis ou emergentes e que, portanto, já fazem parte do estado da arte”. Por isto, o desenvolvimento inovativo não é, na visão deste autor, necessariamente o maior desafio para efetivação da Indústria 4.0; uma vez que os seus maiores desafios pertencem ao plano da escalagem e da massificação, pois trata-se de tecnologias organizacionais que estão mais ligadas à forma como se produz do que ao que de fato se produz. Assim sendo, na visão de Kupfer (2016), “a Indústria 4.0 é, fundamentalmente, uma questão ligada à difusão destas novas técnicas”.

Andreoni et al. (2021) também apresentam ressalvas sobre os horizontes da Indústria 4.0 ou da “Quarta Revolução Industrial”. Segundo estes autores, embora muitas das tecnologias que fazem parte da chamada “Quarta Revolução Industrial” sejam tratadas como “revolucionárias”, elas na verdade resultam de um longo processo de desenvolvimento incremental (ANDREONI et al.,2021). Estes são os casos da Inteligência Artificial, cujas bases - que são as redes neurais - começaram a ser desenvolvidas ainda nos anos de 1940, e da Internet, cujos desenvolvimentos iniciaram-se nos anos de 1960 (idem, 2021).

Até mesmo o uso e processamento de grandes volumes de dados, na visão destes autores, “parece ser mais uma continuação de uma trajetória das TICs do que uma nova revolução” (ANDREONI et al.,2021). Assim, na visão destes autores, as tecnologias que compõem a chamada “Quarta Revolução Industrial” não demarcam uma “ruptura evolucionária” e devem ser vistas como fruto de uma “transição evolutiva”, capazes de influenciar processos nos mais diversos setores industriais (idem, 2001).

Ainda, segundo estes autores, o que há de revolucionário na chamada Indústria 4.0 é a fusão tecnológica proporcionada pelo uso e a implementação conjunta de diversas tecnologias sobre os domínios físico, digital e biológico, pois os sistemas produtivos parecem caminhar para “um novo nível de complexidade e interdependência entre campos tradicionalmente separados e especializados de conhecimento” (ANDREONI et al, 2021).

Assim, para atingir este elevado nível de fusão tecnológica será crucial, de acordo com Andreoni et al. (2021), fomentar a interação entre diferentes atores econômicos - de modo a favorecer a criação de “ecossistemas” - nos quais estes atores possam atuar em redes e desempenhar suas atividades dentro de uma plataforma digital. Por isto, a construção de políticas industriais eficazes, na visão destes autores, requer um conjunto de medidas que contribuam para tal fusão tecnológica.

Tendo em vista a necessidade de renovação das políticas industriais para o desenvolvimento e a implementação da Indústria 4.0, o Instituto de Estudos para Desenvolvimento Industrial (IEDI) publicou um extenso estudo intitulado “A indústria do futuro no Brasil e no mundo”. No referido trabalho foi realizada uma compilação - com a análise de uma série de relatórios e textos de renomadas organizações internacionais - que aborda a emergência e as implicações da chamada “Quarta Revolução Industrial” ou Indústria 4.0, para o desenvolvimento industrial de diversos países que compõem a economia global no contexto contemporâneo.

Apresenta-se a seguir uma síntese das análises do IEDI sobre as recomendações de políticas industriais da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento e Comércio (Unctad). Com base no *World Investment Report 2018* da UNCTAD, o IEDI (2019a) observa que, ao longo da última década, ocorreu não apenas a retomada da popularidade da política industrial em diversos países da economia global,; mas também que a política industrial, em especial, se tornou uma regra para que estes países consigam acompanhar as transformações em curso - promovidas pela gradual consolidação da Indústria 4.0. Como aponta, assertivamente, o IEDI (idem, p.30): “Somente nos últimos cinco anos, pelo menos 84 países, que respondem por 90% do PIB mundial, anunciaram política industrial ou adotaram planos políticos explícitos de desenvolvimento industrial.”

Muito embora o conceito de política industrial possua várias interpretações na literatura econômica, há um certo consenso sobre o fato de que, como aponta o IEDI (2019a, p.31), a noção de política industrial incorpora “políticas governamentais que afetam diretamente a estrutura da economia”. Sendo assim, a noção de política industrial é bem ampla e pode abranger todas as escolhas e ações adotadas pelos países com a finalidade de atingir objetivos de caráter estratégico através do “fortalecimento das capacidades

produtivas e da competitividade internacional” (IEDI,2019a, p.31). A adoção da política industrial, no contexto da economia mundial contemporânea, não está restrita, assim, apenas aos países em desenvolvimento, pois tem sido adotada também por países em todos os estágios de desenvolvimento (IEDI,2019a, p.31).

Diferentemente das políticas industriais antigas - que tinham um caráter centralizador, visando proteger certas indústrias no âmbito nacional - as políticas industriais contemporâneas são “mais ágeis, interativas, inclusivas, flexíveis e integradas com outras áreas de política” (IEDI,2019a, p.32). Estas políticas possuem um caráter mais diversificado e complexo - quando comparadas com as políticas industriais do passado - , uma vez que, segundo o IEDI (idem, p.32), as políticas contemporâneas incorporam um novo conjunto de objetivos - que vão dos esforços para promover a integração nas cadeias globais de valor (GVC) até as tentativas de estabelecer um adequado posicionamento competitivo dentro da nova revolução industrial (NRI).

Além disto, segundo o relatório da UNCTAD (2018), as políticas industriais contemporâneas também visam incorporar as estratégias de desenvolvimento industrial dos países aos desafios específicos trazidos por esta “nova revolução industrial”, políticas estas voltadas para “o desenvolvimento digital, a melhoria nas infraestruturas de conectividade da internet e a ampla adoção pelas empresas das tecnologias de informação e comunicação” (IEDI,2019a, p.34).

Isto acontece porque as tecnologias de informação são capazes de promover um aumento significativo da produtividade em vários setores da economia (IEDI,2019a, p.34). A transformação digital tem influenciado e moldado as políticas industriais contemporâneas, visto que um número crescente de países tem inserido, em suas políticas e cadeias de fornecimento da indústria, elementos que compõem a referida mudança digital, como o *big data* e a internet das coisas - enfatizando o fomento da capacidade industrial em diversas novas áreas tecnológicas (idem, p. 34).

Como aponta o IEDI (2019a, p.35), o relatório da Unctad pesquisou, a partir de 2008, as estratégias de desenvolvimento industrial de diversos países e verificou 114 políticas formais de 101 países com foco na indústria de transformação, nos setores de serviços adjacentes e na infraestrutura industrial habilitadora. Dentre estes países, alguns adotam

mais de uma política industrial, como, por exemplo, uma política industrial nacional com ênfase na manufatura avançada e também no adequado posicionamento frente à “Nova Revolução Industrial” (NRI), e ainda uma outra política com foco no fortalecimento da competitividade da indústria e no fomento a certos setores manufatureiros (idem, p.35). De maneira geral, estas políticas buscam “fortalecer a competitividade, criar empregos e promover o crescimento e o desenvolvimento econômico” (ibidem, p.36).

Diante deste quadro, a Unctad elaborou uma taxonomia de modelos de política industrial que reúne estratégias de desenvolvimento industriais em três categorias: **1) construção da base industrial** - que diz respeito às estratégias objetivando consolidar a base industrial e podem enfatizar, ainda, o aperfeiçoamento da infraestrutura física; **2) catch-up** - são estratégias que têm como ênfase a construção de competências e habilidades; **3) baseadas na NRI** - são estratégias que têm como ênfase o “fortalecimento dos ecossistemas industriais, com PPP orientadas à inovação, instituições de P&D” (IEDI,2019a,p.37-38). Estes três exemplos de política não são modelos fechados, visto que eles podem adotar alguns elementos em comum, como no caso dos modelos de catch-up - que podem fomentar a inovação e a adoção de novas tecnologias (IEDI,2019a,p.38). O quadro a seguir sintetiza algumas das principais características destes três modelos de política industrial.

Quadro 4 - Modelos de Política Industrial, segundo Unctad

Dimensões-chave	Modelos de política industrial		
	Construção da base industrial	Catch up	Baseado na nova revolução industrial (NRI)
Grau de especificidade setorial	Principalmente vertical (indústrias específicas)	Principalmente horizontal combinado com objetivos para múltiplas indústrias	Principalmente horizontal, com elementos de novas indústrias específicas
Grau de intervenção	Relativamente mais dirigido pelo governo	Mais dirigido pelo mercado, focado em facilitadores	Misto, com proteção e suporte para novas indústrias, e PPP
Grau de abertura à concorrência externa	Seletivo e com abertura gradual à concorrência	Foco na concorrência internacional	Principalmente aberto, com salvaguardas para tecnologias estratégicas
Grau de orientação às exportações	Impulsionado pela demanda doméstica e regional	Orientado à exportação, integração com as cadeias globais de valor (GVC)	Misto

Fonte: IEDI,2019a, p.39 apud Unctad,2018, p.145.

Além disto, na visão da Unctad (2018), a chamada “Nova Revolução Industrial” tem gerado significativos impactos na política de investimento industrial, uma vez que esta “revolução” se baseia principalmente em tecnologias digitais, que têm gerado novos desafios para a elaboração e a implantação de políticas de investimento associadas às estratégias de desenvolvimento industrial (IEDI,2019a, p.47). Esta “nova revolução” tem modificado a maneira pela qual as empresas multinacionais planejam seus investimentos, afetando decisões-chave das mesmas; tais como 1) o fato de que tem se elevado o número de investimentos reversos e a realocização dos investimentos - bem como uma maior possibilidade de modificação da localização das operações - em razão da tecnologias de comunicação M2M e da impressão 3D; 2) o fato de que algumas tecnologias são criadas para possibilitar mudanças nas redes internacionais de produção; e 3) o fato de que as decisões de investimentos das empresas têm gradativamente apresentando novos critérios quanto aos fatores de produção e ao ambiente de política (idem, p.47).

No relatório intitulado “Poder, Plataformas e a ilusão do livre comércio”, a Unctad avalia que os países em desenvolvimento enfrentarão muitos desafios para se adequar a era digital. Por isto, a Unctad sugere políticas para que estes países consigam construir a infraestrutura digital necessária para ingressar a esta nova era tecnológica. No entendimento da Unctad existem três componentes fundamentais na infraestrutura digital: as redes, os *software* e os dados (IEDI,2019b, p.60).

As redes digitais são os componentes da infraestrutura digital formados pelas TICs e pela banda larga e que cumprem a tarefa de recolher e transmitir informações. Esta transmissão de informações é feita através da internet - que requer uma infraestrutura de banda larga, que possibilite o compartilhamento de dados com alta velocidade (IEDI,2019b,p.60). Na visão da Unctad, a universalidade da infraestrutura de banda larga é uma condição para a formação e o desempenho adequado de uma economia digital. Como as empresas privadas não têm conseguido fornecer, em geral, uma conectividade de banda larga com fio suficiente para a população, cabe aos países em desenvolvimento realizar mais investimentos públicos em infraestrutura de banda larga (idem, p.60). Nos países em desenvolvimento ainda existem aproximadamente 4 bilhões de pessoas desconectadas, segundo dados de 2015 e 2016, e a velocidade da banda larga

nestes países ainda é muito lenta quando comparada com a velocidade apresentada nos países desenvolvidos (ibidem, p. 60). A velocidade de banda larga é um fator importante para digitalização e a realização de negócios bem-sucedidos, cabendo aos países realizarem expressivos investimentos no setor (ibidem, p.60).

O *software* é outro componente da infraestrutura digital que pode ser usado em uma série de atividades e setores econômicos. A computação em nuvem é um tipo especial de *software* que tem desempenhado um papel cada vez maior na economia, possibilitando até mesmo a reconfiguração de alguns setores da economia (IEDI,2019b, p.60).

Os dados constituem um outro componente da infraestrutura digital que funcionam como matéria-prima para que as plataformas digitais executem suas operações. Na visão da Unctad, os dados são cruciais, pois fornecem “a base para geração de grandes fluxos de lucros” e podem contribuir para o reposicionamento dos países no que diz respeito às suas participações “na produção, consumo, investimento e comércio globais” (IEDI,2019b, p.60). Por estas razões, os dados são vistos por muitos especialistas como o “novo petróleo”, visto que uma vez coletados, analisados e processados podem conceder “poderes monopolísticos aos seus proprietários” (idem, p.61).

Por fim, a Unctad observa, ainda, que as políticas industriais para digitalização, nos países em desenvolvimento, também devem levar em consideração formas de se compensar o desaparecimento de algumas profissões causadas pela introdução de novas tecnologias (IEDI,2019b, p.62).

2.4 - Estratégias nacionais para indústria 4.0

O conjunto de inovações tecnológicas que conformam a chamada Indústria 4.0 (ou Manufatura Avançada) está intimamente conectado com as atuais estratégias industriais dos principais países e economias ao redor do globo. Por isto, com base em Labrunie et al. (2020) apresenta-se, a seguir, as bases das estratégias nacionais da Alemanha, da China e dos EUA para construção da Indústria 4.0 em seus respectivos territórios.

Esses países são líderes em inovação, ciência e tecnologia e são as principais referências para consolidação da Indústria 4.0 no contexto atual.

2.4.1 Estratégia da Alemanha para Indústria 4.0

Segundo Labrunie et al (2020,p.13), a estratégia da Alemanha para Indústria 4.0, assim como a chinesa, não se restringe à digitalização da manufatura. Em 2006, o governo alemão lançou uma ‘estratégia de alta tecnologia’ que contribuiu para melhorias na competitividade da indústria alemã, com base em “aumentos e consolidação dos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação” (LABRUNIE et al.,2020,p.13). E, em 2014, o governo alemão lançou uma “nova estratégia de alta tecnologia” - que buscava ampliar o escopo da estratégia anterior -, utilizando uma política de inovação mais abrangente - incorporando novos tópicos e ferramentas de financiamento da inovação, bem como ampliando, também, o conceito de inovação que passava a abarcar as inovações sociais, além das habituais inovações tecnológicas (idem, p. 13).

A Alemanha adota, como instrumentos de política industrial, ferramentas consideradas o convencionais por Labrunie et al (2020,p.13). Dentre os instrumentos financeiros, estes autores destacam o “financiamento para P&D, pequenas e médias empresas e *start-ups*, polos de inovação” e, dentre os instrumentos não-financeiros, apontam os “centros de pesquisa e fábricas modelo, capacitação de pequenas e médias empresas e programas de desenvolvimento de habilidades da força de trabalho” (LABRUNIE et al.,2020, p.13). O plano alemão para a Indústria 4.0 também enfatiza o papel das fábricas modelos e de programas como ‘ciência cidadã’ (idem, p.13). Ainda, segundo Labrunie et al. (2020), entre os pilares da política industrial alemã estão o aumento das redes de transferência entre ciência e indústria e a criação de um ambiente que favoreça a inovação.

2.4.2 Estratégia da China para Indústria 4.0

Foi publicado pelo governo chinês, em 2015, o documento Made in China 2025, que consiste na mais recente e principal política industrial deste país. Como apontam

Labrunie et al (2020, p.10), o principal objetivo explicitado pelo governo chinês, no referido documento, é fazer com que a China se torne a mais nova ‘superpotência manufatureira’ até o ano de 2049 e também consiga automatizar e digitalizar a sua Indústria. Estes autores destacam, ainda, que o governo chinês foi bastante ambicioso, uma vez que este país destina um volume de recursos consideravelmente superior aos outros países analisados (LABRUNIE et al.,2020). A China buscará, segundo este documento, promover a substituição de importações de componentes considerados essenciais para sua Manufatura Avançada e simultaneamente “impulsionar as atividades de maior intensidade tecnológica” (idem, p.10).

Segundo Labrunie et al. (2020, p.10), a narrativa construída pelo governo chinês entende que a “atual revolução industrial” constitui uma oportunidade para a China atualizar sua indústria nacional - que é considerada por muitos como ‘grande, mas não forte’ - e também para que este país consiga enfrentar a concorrência simultânea, tanto de países desenvolvidos quanto de países menos desenvolvidos. Assim, de acordo com estes autores, a estrutura da política industrial chinesa para a Manufatura Avançada tem como foco “atingir metas de investimento em P&D, qualidade de produto, digitalização, eficiência energética e ambiental, e substituição de importações de produtos e tecnologias essenciais” (LABRUNIE et al.,2020, p.10.). Para tanto, o governo chinês utilizará instrumentos financeiros e não-financeiros diversos, tais como “a criação de centros nacionais de inovação em manufatura, e investimentos em infraestrutura digital, e outros tipos de instrumentos, como cidades piloto” (idem, p.10). Por fim, e ainda segundo Labrunie et al. (2020), os principais pilares da política industrial chinesa seriam a total integração entre a informatização e a industrialização, a internacionalização da indústria e a ampliação das capacitações industriais para inovação.

2.4.3 Estratégia dos EUA para Indústria 4.0

O governo americano lançou, em 2011, o documento *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP), que, segundo a Casa Branca, constitui “um esforço nacional que reúne a indústria, as universidades e o governo federal para investir nas tecnologias emergentes que criará empregos industriais de alta qualidade e aumentará nossa competitividade global” (THE WHITE HOUSE, 2011, apud. LABRUNIE et al, 2020,

p.23). Visando complementar este plano, um outro documento - intitulado “Plano Estratégico Nacional para Manufatura Avançada” - foi lançado em 2012.

Com base nestes e em mais outros dois documentos, Labrunie et al (2020, p.23) destacam que a estratégia americana para a Indústria 4.0 adota a narrativa de que os EUA estão “perdendo suas capacidades industriais em alta tecnologia para outros países” e que as políticas e programas construídos em âmbito federal não são capazes de darem conta, isoladamente, dos principais desafios contemporâneos da manufatura. Assim, é crucial, na visão do governo americano, construir uma abordagem que estabeleça pontes de interação entre a pesquisa, o desenvolvimento e a aplicação das tecnologias (idem.p.23).

Contudo, os instrumentos financeiros propostos pelo governo americano são, na visão de Labrunie et al (2020, p.23), demasiadamente convencionais, como, por exemplo, o “financiamento para P&D, PMEs, *Start-ups*, e regiões menos desenvolvidas, treinamento da força de trabalho e desenvolvimento de habilidades”. Dentre os instrumentos não-financeiros, os autores destacam “a criação de centros de pesquisa, de treinamento e desenvolvimento de habilidades e algumas políticas de compras públicas” (idem, p.23). A originalidade da estratégia americana, segundo Labrunie et al. (2020, p.23), reside no programa Manufacturing USA - que abrange “uma rede de 14 institutos de iniciativa público-privada para manufatura avançada, cada um com foco em uma tecnologia específica, e aberta à colaboração de empresas, academia e governo”. Estes institutos são cruciais para o aperfeiçoamento e o treinamento da força de trabalho, na busca pelo domínio das principais tecnologias de ponta (ibidem., p. 23).

CAP.3 - DESENVOLVIMENTOS DA TECNOLOGIA 5G

O setor de Tecnologia da Informação e Comunicações (TIC) é fruto da convergência entre os setores de telecomunicações e de computação (OSSEIRAN et al,2016, p.1). No atual contexto da economia global, o segmento de comunicações móveis está voltado para a produção e implementação da quinta geração de redes móveis, 5G. As novas soluções tecnológicas, novos métodos e novas técnicas que vêm sendo desenvolvidas pelos principais agentes desse segmento da indústria visam consolidar os serviços e as propostas possibilitadas pela última revolução industrial, construindo um amplo ambiente para conectividade, processamento e armazenamento de informações através da internet (idem, p.1).

Na ‘Terceira Revolução Industrial’ houve o desenvolvimento dos semicondutores, das comunicações eletrônicas modernas e o amadurecimento do setor de Tecnologia da Informação (ibidem, p.1). Isso tudo ocorreu entre os anos de 1970 e 1990. Já a atual ‘revolução tecnológica’ tenta aperfeiçoar o setor de TICs, criando uma nova estrutura para prestação de serviços e incorporando a Internet das coisas (IoT) nesta nova fase do desenvolvimento tecnológico. Esta nova fase é chamada por alguns de ‘Quarta Revolução Industrial’. Nesta fase haverá um novo impulso para automação industrial, graças aos novos métodos e tecnologias de comunicações sem fio que permitirão uma conectividade generalizada entre máquinas e coisas em geral (ibidem, p.2).

Isso pode ser verificado pelo relacionamento entre a tecnologia 5G e a IoT, uma vez que os processadores digitais foram incorporados, ao longo dos últimos anos, em todos os ramos industriais (OSSEIRAN et al,2016, p.2). Assim, as comunicações móveis e sem fio são vitais para a expansão da IoT, possibilitando novos casos de uso e contribuindo para exploração de novos setores da economia (idem, p.2).

Outro ponto que destaca a tecnologia 5G no atual contexto é que ela busca dar conta da demanda projetada de tráfego móvel para os próximos anos (Osseiran et al.,2016, p.7). Saghezchi et al. (2015, p.1) informam que houve uma tendência de crescimento exponencial no volume de dados sendo transportados pelas redes móveis, entre 2010-2011, já que esse volume dobrou. Isso significa que a tendência de aumento do trânsito

de dados móveis no nível global entre 2010 a 2020 irá girar em torno de mil vezes (idem, p.1).

Segundo Saghezchi et al. (2015, p.1), esse aumento foi impulsionado pela difusão acentuada de dispositivos móveis que consomem muitos dados dentre eles se destacam os Smartphones. Soma-se a esse impressionante crescimento no trânsito de dados móveis, a considerável procura por aplicativos de multimídia, tais como ultra-alta definição, vídeo 3D, realidade aumentada etc. (ibidem., p.1). Atualmente, como informam os autores, o consumo de vídeos “representa mais de 50% do total global de tráfego de dados móveis” e as redes sociais, ao introduzirem novos padrões de consumo, também contribuem enormemente para expansão do volume de dados sendo transportados nas redes de comunicações móveis (ibidem., p.1). Como apontam os autores, “em 2013, o número de assinaturas móveis atingiu 6,8 bilhões” e a tendência de crescimento do número de assinantes de redes de comunicações móveis comportará também “novas demandas em redes 5G” para dar conta do número gigantesco de potenciais novos assinantes de redes móveis no mundo contemporâneo, bem como do crescente número de dispositivos conectados (ibidem., p.1-2).

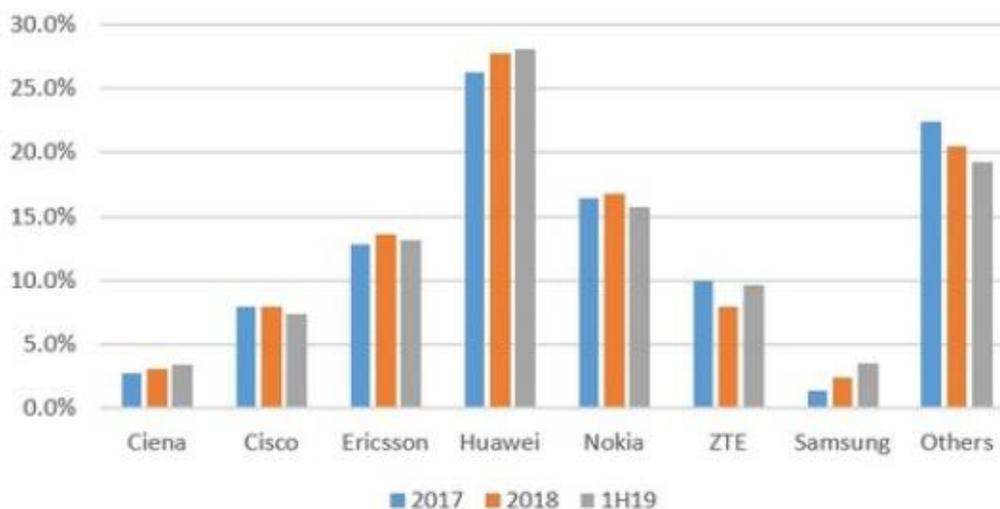
Outro ponto que merece destaque é a disputa entre países, especialmente EUA e China, para o fornecimento da infraestrutura das redes de comunicações móveis 5G. Neste contexto de “guerra tecnológica”, Mike Dano⁶ revelou que, com base na pesquisa feita pela consultoria Dell’Oro, os negócios da empresa chinesa Huawei não foram abalados pelas diversas tentativas feitas pelo governo americano para deslegitimar⁷ sua liderança no fornecimento de tecnologia 5G. O market share da empresa cresceu de 27,7% em 2018 para 28,1% na primeira metade de 2019 (Dano,2019). A figura 8, abaixo, apresenta um gráfico que mostra a Huawei no topo dos fornecedores globais de

⁶Editor da parte de 5G e estratégias móveis do site Light Reading

⁷“O presidente Trump proibiu algumas companhias americanas de fazerem negócios com a Huawei” (Dano, Light Reading,2019). Além disso, “Sob a alegação de que a empresa asiática utiliza suas redes de telecomunicação também para espionar companhias e políticos ocidentais e compartilhar as informações com Pequim, o governo Trump pediu a aliados que vetassem contratar serviços de infraestrutura 5G da Huawei” (Isto é dinheiro,2019). Além disso, pediu ao Canadá “a prisão da principal executiva financeira da Huawei, Meng Wanzhou, sob acusação — negada por ela — de fraude por violar sanções impostas pelos americanos ao Irã. Meng não é apenas uma executiva de alto escalão. Trata-se da filha do CEO e fundador da Huawei” (Isto é dinheiro,2019). No entanto, “mesmo aliados clássicos, como o Reino Unido, relutam em seguir o desejo de Trump. E a própria União Européia, Alemanha à frente, já sinalizou que dificilmente poderá abrir mão da solução Huawei. Por motivos bem liberais: os chineses são melhores, mais baratos e estão entranhados no ecossistema de telecomunicações das operadoras européias.” (Isto é dinheiro,2019)

equipamentos para telecomunicações. A Nokia aparece em segundo lugar com 15,7% de market share na primeira metade de 2019. Dano ressalta também que o estudo feito pela Dell'Oro mostra que a Ericsson aparece em terceiro lugar com 13,1% de market share (Ibidem.). É possível notar também que a Samsung saiu de aproximadamente 2% de market share em 2017 para cerca de 4% de na segunda metade de 2019.

Figura 8- Market Share global dos fornecedores de equipamentos de telecomunicações



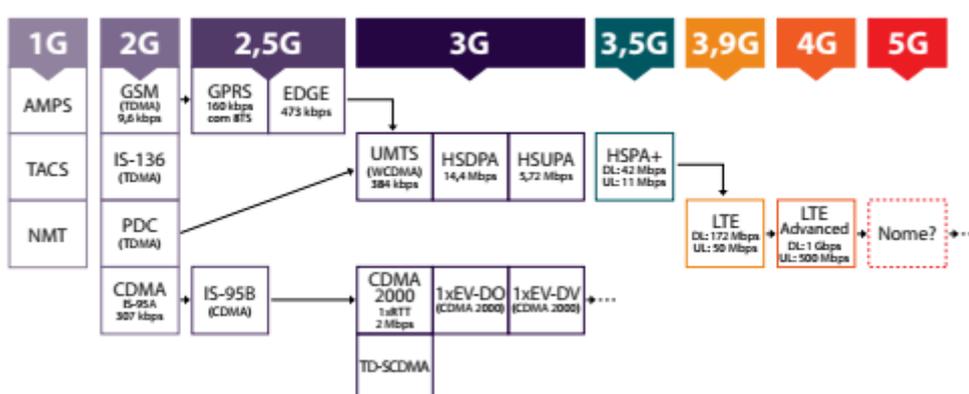
Fonte: Dell'Oro Group "Advanced Research: Telecom Equipment Market Report"; **Extraído de:** www.lightreading.com/market-research/huaweis-share-of-the-global-telecom-market-keeps-growing/d/d-id/753768?

Este capítulo é composto por quatro seções que traçam um panorama dos desenvolvimentos da tecnologia 5G. A primeira seção apresenta a evolução das tecnologias de comunicações móveis bem como os padrões tecnológicos das respectivas tecnologias e algumas mudanças na dinâmica do setor de telefonia móvel. A segunda seção apresenta as principais características da tecnologia 5G, mostrando suas melhorias em relação ao 4G, seus atributos técnicos, seus cenários de uso, seus casos de uso e possíveis vínculos com a Indústria 4.0. Ainda nessa seção são apresentados o conceito de sistema 5G, com algumas indicações de vínculos com elementos da Indústria 4.0, e alguns dos possíveis impactos socioeconômicos da tecnologia 5G. Na terceira seção é feita uma caracterização do processo de padronização do 5G e do papel que as patentes desenvolvidas pelas empresas do setor exercem nesse processo. Na seção final apresenta-se algumas estratégias e iniciativas nacionais e regionais para os desenvolvimentos da tecnologia 5G.

3.1 Evolução das tecnologias de comunicações móveis

Como apontam Neris et al. (2014, p.396), no setor de comunicações móveis prevalece a coevolução entre tecnologias e instituições, sendo esta coevolução caracterizada pelo papel que o estabelecimento de normas - isto é, a padronização das tecnologias de comunicações móveis - cumpre no desenvolvimento tecnológico do setor. A figura 9, logo abaixo, apresenta a evolução das principais tecnologias de comunicações móveis.

Figura 9 -A evolução das tecnologias das comunicações móveis



Fonte: SAMPAIO, 2018, p.10

Geração 0. A chamada geração Zero (0G) foi introduzida a partir da invenção do primeiro sistema móvel, que foi criado pelos laboratórios da Bell nos EUA, na década de 1940, em um contexto de corrida tecnológica (SAMPAIO, 2018, p.9). Os equipamentos tinham um porte muito grande e eram bem pesados, sendo destinados primordialmente para o uso em veículos (SAMPAIO, 2018, p.9).

Geração 1. A primeira geração (1G) foi uma tentativa de aperfeiçoamento da geração anterior. Nesta nova geração o serviço de comunicação móvel passou a funcionar a partir da divisão de uma cidade em pequenas células geográficas; esta foi a origem do termo “celular” aplicado às redes de comunicações móveis (SAMPAIO, 2018, p.10). A geração 1G foi desenvolvida na década de 1980 e tinha como tecnologias de suporte mais bem sucedidas o *Advanced Mobile Phone System* (AMPS), o *Total Access Communication System* (TACS) e o *Nordic Mobile Telephone System* (NMT) (SAMPAIO, 2018,p.10). As redes comunicações da geração 1 eram baseadas na

modulação analógica e o principal tráfego para essa rede era o tráfego de voz; essas redes tinham baixa capacidade e um fraco suporte para mobilidade (idem.,p.10).

Geração 2. Nos anos de 1990, a segunda geração introduziu os sistemas digitais nas redes celulares. A tecnologia GSM foi inventada na Europa e se difundiu pelo mundo. Esta tecnologia utilizava cartões de memória chamados SIM cards que eram inseridos nos aparelhos celulares e que permitiam que o usuário levasse as informações armazenadas no cartão para outro aparelho ou rede GSM (SAMPAIO,2018,p.10). Esta tecnologia usava o TDMA como técnica de acesso (idem.,p.10).

A segunda geração de comunicações móveis (2G) teve seus padrões influenciados pelo sucesso dos modelos NMT e AMPS. Neris et al. (2014, p.404-405) salientam que as empresas Nokia e Ericsson passaram a atuar na difusão de normas técnicas pela Europa, como uma forma de confrontar a concorrência americana e japonesa. Por esta razão, acabaram se tornando nos principais atores no estabelecimento de normas para o *Global System for Mobile Communications* (GSM) de segunda geração (2G). Foi nesse contexto que esses atores contribuíram decisivamente para criação do *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), em 1988.

Como aponta Sampaio (2019), a partir do GSM todos os sistemas seguintes foram padronizados, ou seja, foram sistemas criados pelo 3GPP que é “a união de organizações desenvolvedoras de padrões”. Como aponta, ainda, Sampaio (2019), “os sistemas desenvolvidos pelo 3GPP são conhecidos por serem plataformas abertas”, ou seja, toda documentação vinculada aos desenvolvimentos dos sistemas é pública e disponível para qualquer pessoa.

A segunda Geração e meia (2,5G) possibilitou “a comutação por pacotes ao invés de circuitos” (SAMPAIO,2018, p.11). O sistema GPRS aprimorou o GSM, nele “os dados são divididos em pacotes para transmissão”, o que permite uma contínua conexão de dados e também que os usuários sejam “tarifados por volume de dados e não pelo tempo de conexão” (SAMPAIO,2018,p11).

Geração 3. A terceira geração (3G) fornecia serviços de telefonia e comunicação de dados com velocidades superiores aos sistemas anteriores, e as principais tecnologias

vinculadas à esta geração são “o *Universal Mobile Terrestrial System* (UMTS), o *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA), o *High Speed Uplink Packet Access* (HSUPA), o CDMA-2000” (SAMPAIO,2018, p.11). Como também aponta Sampaio (2019), todos estes sistemas foram criados pelo 3GPP.

A terceira geração e meia (3.5G) tem como tecnologia principal o sistema *High Speed Packet Access Plus* (HSPA+), que trouxe novos atributos tecnológicos para o sistema de comunicações móveis, sendo um aperfeiçoamento do HSDPA (SAMPAIO,2018, p.11).

Geração 3.9. Esta geração é considerada a evolução das redes 3G e ficou conhecida como *Long Term Evolution/System Architecture Evolution* (LTE/SAE). Este avanço nas redes de comunicações móveis possibilitou a introdução de um novo padrão de tecnologia de banda larga para redes móveis (SAMPAIO,2018, p.12). Este sistema de comunicações móveis foi considerado um avanço significativo, pois a rede passou a ser toda baseada no protocolo IP (*Internet Protocol*) (SAMPAIO,2018,p.12).

Segundo Sampaio (2018), o LTE/SAE e os seus desenvolvimentos, que são o *LTE Advanced* e o *LTE Advanced PRO*, “fazem uso de dois esquemas de acesso, um específico para o link de subida e um específico para o link de descida”. E segundo Sampaio (2019), “a oferta de serviços do LTE é bem maior quando comparada com as gerações anteriores”. Ainda de acordo com Sampaio (2019), o LTE/SAE não pode ser considerado 4G, pois não foi capaz de atender aos requisitos estabelecidos pelo *IMT Advanced*, visto que o LTE/SAE não conseguiu atingir o a taxa de transferência de dados estipulada.

Foi ainda no âmbito da terceira geração (3G) que os telefones celulares se tornaram dispositivos que combinaram múltiplos componentes como a voz, o vídeo, a TV móvel, e o acesso à internet (NERIS et al.,2014, p.406). Todavia, a evolução promovida por esta tecnologia necessitaria de novos atributos, como as novas gerações de aparelhos celulares, as novas estações base e de mastros de transmissão dos sinais 3G (NERIS et al.,2014, p.406). Foi com esta geração de comunicação móvel que a internet passou a ganhar maior relevância.

Com o advento da internet móvel, passaram a existir novos desafios para os desenvolvimentos tecnológicos do setor de comunicações móveis, pois a solução modular de problemas já não era suficiente. Desde então passou a ser requerida uma definição prévia de “uma arquitetura global do software e de cada um dos módulos que compõem a sua estrutura” (NERIS et al.,2014, p.407). Como as empresas buscam minimizar os riscos gerados pelas novas tecnologias, “a definição de normas e padrões técnicos é fundamental para a redução da incerteza sobre o futuro da tecnologia por regulamentar as soluções vencedoras” (NERIS et al.,2014, p.408).

Neris et al. (2014, p. 408-409) apontam que, no setor de telefonia móvel, as tecnologias de redes depois de padronizadas condicionam os desenvolvimentos tecnológicos, uma vez que impõem alterações no produto e moldam a atuação das operadoras de celulares.

Geração 4. Saghezchi et al. (2015, p.3-4) apontam que a geração 4G consiste em uma “taxa de dados de alta velocidade mais um sistema de voz”. Os autores mostram que os desenvolvimentos desta tecnologia se deram através da construção de dois sistemas. O primeiro foi o WiMAX, elaborado nos EUA. Este sistema utiliza a Multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM) que, segundo os autores, é uma evolução do Wi-Fi. Outro sistema é o LTE que, como apontam os autores, é muito parecido com o WiMAX, posto que ambos se utilizam de uma largura de banda de 20 MHz. Mesmo assim, a maioria dos países optou pelo sistema LTE. De acordo com os autores, a mudança do 3G para 4G representou “uma mudança de baixas taxas de dados da internet para taxas de dados de alta velocidade” no caso de vídeo móvel. Dentre estes requerimentos do *IMT-Advanced*, Sampaio (2018,p.12) destaca que para uma tecnologia ser considerada 4G ela “deveria apresentar uma interface de transferência de dados com taxa de 1Gbps” para o caso de usuários estáticos.

Hansen (2017, p.3) ressalta que a quarta geração de redes de comunicações móveis (4G) “fornece serviços de dados de alta capacidade e taxas mais altas para multimídia móvel”. E, nesta geração, “as redes móveis são compostas de dois componentes principais, RAN (*radio access network*) e a rede principal (CN)”(ibidem, p.3). A autora também destaca que o objetivo central da 4G era proporcionar “uma solução baseada em IP coerente e segura que suporte serviços de voz, dados e multimídia para usuários em qualquer lugar, a qualquer momento” (idem, p.3). Por este motivo, esta geração de

comunicações móveis “permite transferência de dados mais rápida do que as gerações anteriores” (Hansen, 2017, p.3). Logo, “a experiência aprimorada de dados do 4G é a diferença notável do 3G do ponto de vista do usuário” e isto, segundo a autora, demonstra que “os casos de uso de dados se tornaram mais importantes do que apenas os serviços de voz e mensagens”, pois “enquanto 3G era um conceito centrado na operadora, 4G é um conceito centrado nos serviços” (ibidem, p.3). Na figura 10, a frente, é possível ver um comparativo entre as tecnologias de comunicações móveis.

Figura 10- Comparação entre as tecnologias 1G,2G,3G e 4G

	1G	2G	3G	3,9G	4G
Modulação	Analogica	Digital	Digital	Digital	Digital
Esquema de acesso	FDMA	TDMA (GMS, GPRS e EDGE)	WCDMA	OFDMA	OFDMA
		CDMA (IS-95A, IS-95B, CDMA - 2000)		SC-FDMA	SC-FDMA
Throughput		9,6 Kbps - GSM	384 Kbps - UMTS	100 Mbps - LTE/SAE	1 Gbps - LTE - Advanced
		160 Kbps - GPRS	14,4 Mbps - HSDPA		
		473 Kbps - EDGE	5,72 Mpps - HSUPA		
			42 Mbps - HSPA +		
Oferta de serviços	Voz analógica	Voz analógica e dados em taxa baixa	Voz analógica, voz sobre IP e dados em banda larga	Voz sobre IP, VoLTE e dados em taxa alta	Voz sobre IP, VoLTE e dados em taxa alta

Fonte: SAMPAIO,2018, p.23

Na primeira geração 1G, o equipamento usado pelo usuário só consegue realizar uma única chamada de voz por vez (SAMPALIO,2018, p.24). Já na segunda geração existe a possibilidade de se utilizar dois serviços simultaneamente, isto é, “pode-se realizar chamada de voz ao mesmo tempo em que se baixa o conteúdo de uma mensagem de e-mail” (SAMPALIO,2018, p.24). As redes da terceira geração, 3G, também são capazes de realizar dois serviços simultaneamente. Com a quarta geração, o equipamento do usuário “pode fazer uso de mais de dois serviços ao mesmo tempo”, isto significa que com o 4G o usuário poder “fazer uma chamada de voz, baixar o conteúdo de uma mensagem de e-mail, navegar em páginas da Internet e assistir vídeo” (ibidem., p.24). No que diz respeito a modulação, somente os sistemas da primeira geração são analógicos, os demais sistemas utilizam modulações digitais (SAMPALIO,2019).

3.1.1 Especificações e requisitos das redes 4G

Para entender os desenvolvimentos da tecnologia 5G é necessário entender as especificações e requisitos relacionados aos desenvolvimentos da quarta geração (4G). Foi a partir dessas especificações e requisitos que os desenvolvimentos iniciais do 5G se desdobraram. Os desenvolvimentos do 4G e do 5G são analisados a partir da perspectiva do 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) que é um órgão que cumpre a tarefa de definir os principais padrões de redes de comunicações móveis adotados ao redor do mundo. As documentações referentes aos padrões desenvolvidos por essa organização recebem o nome de release (NOGUEIRA et al., 2018). Assim as documentações referentes à quarta geração (4G) abrangem os releases 8 ao 13, sendo este último release o ponto de partida para o 5G (NOGUEIRA et al., 2018).

O LTE/SAE (*Long Term Evolution/System Architecture Evolution*) constitui a primeira versão para as redes 4G do 3GPP (NOGUEIRA et al., 2018, p.11). O referido LTE/SAE consiste no oitavo release do 3GPP. Nessa documentação é introduzido o EPC (*Evolved Packet Core*) que é o núcleo de rede completamente baseado no protocolo IP (NOGUEIRA et al., 2018, p.11). Além disso, o release 8 também introduz o E-UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access*) que é uma nova visão para rede de acesso do conjunto de tecnologias 3GPP (NOGUEIRA et al., 2018, p.11). Conjuntamente EPC e E-UTRAN constituem o EPS (*Evolved Packet System*). A tecnologia LTE/SAE tem como base dois esquemas para acesso: um link para descida (DL) que usa o OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) e um link para subida (UL) que usa o SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) (ibidem., p.11). A tabela 1 ilustra os requisitos do LTE/SAE de acordo com o release 8.

Tabela 1- os requisitos do LTE/SAE a partir do release 8 do 3GPP

Categoria	Objetivos
Taxa de pico	DL: 100 Mbps em 20 MHz de BW (<i>Bandwidth</i>) UL: 50 Mbps em 20 MHz de BW
Latência plano de controle	< 100 ms para transição do estado <i>Idle</i> para <i>Active</i>
Capacidade plano de controle	> 200 usuários por célula em estado <i>Active</i> em 5 MHz
Latência plano de usuário	< 5 ms para 1 usuário com 1 <i>stream</i> de dados
<i>Throughput</i> médio por usuário	DL: 3/4 vezes do HSDPA por MHz UL: 2/3 do HSUPA por MHz
Mobilidade	Otimizado para 0 a 15 km/h Oferece suporte com alto desempenho de 15 a 120 km/h Oferece suporte de 120 a 500 km/h
Cobertura	Atinge todos os alvos dentro de 5 km de raio; Pequena degradação em células de 5 a 30 km Suporte em célula de 30 a 100 km de raio
Flexibilidade no espectro	Suporte para 1,4 a 20 MHz de BW

Fonte: NOGUEIRA et al, 2018, p.12

Durante a finalização da documentação do Release 8 iniciou-se os projetos para o Release 9 do 3GPP (NOGUEIRA et al,2018, p.13). Durante esses desenvolvimentos o 3GPP viu a necessidade de apresentar propostas de solução para serem submetidas ao ITU-R (International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector) como uma forma de atender aos requisitos estabelecidos pelo IMT-Advanced (*International Mobile Telecommunications -Advanced*) (NOGUEIRA et al,2018, p.13). Este constitui um compilado de requerimentos que buscam definir as redes 4G (*Fourth Generation*), entre esses requerimentos estava definida a necessidade da rede 4G fornecer uma interface de transferência de dados com taxa de 1Gbps no caso de usuários em situações relativamente estáticas (ibidem.,p.13). Foi assim que o 3GPP passou a desenvolver o projeto *LTE-Advanced* que constituiu o Release 10, que incorporou aprimoramentos tecnológicos ao EPS no sentido de atender aso requerimentos do IMT-Advanced (ibidem, p13). O quadro 5 apresenta os requerimentos necessários para uma tecnologia se enquadrar no conceito de 4G.

Quadro 5- Requisitos IMT-Advanced para uma tecnologia de comunicação móvel ser considerada de quarta geração

Requerimentos IMT-Advanced
Alto grau de funcionalidade em todo o mundo, mantendo a flexibilidade para suportar uma ampla gama de serviços e aplicações de forma eficiente.
Compatibilidade de serviços dentro das redes IMT e redes fixas.
Capacidade de trabalhar com outros sistemas.
Alta qualidade de serviços móveis.
Equipamento do usuário adequado para uso mundial.
Aplicações, serviços e equipamentos amigáveis.
Capacidade de <i>roaming</i> mundial.
Taxa de transmissão de pico que suporta serviços e aplicações avançados com 100 Mbps e 1 Gbps para usuários em alta e baixa mobilidade, respectivamente.

Fonte: NOGUEIRA et al.,2018, p.13

Para atender aos requisitos do IMT-Advanced, o Release 10 lançou as seguintes propostas: “suporte para banda de até 100 MHz”; uso de MIMO (*Multiple Inputs Multiple Outputs*); “uso da arquitetura de múltiplos saltos”; “uso de transmissão múltiplo ponto coordenada”; “uso de redes heterogêneas (HetNet)” e “uso de uma coordenação aprimorada de interferência entre células” (NOGUEIRA et al.,2018, p.13).

A partir dos aprimoramentos dos releases anteriores, o 3GPP lançou o Release 13 que direcionou preocupações com segurança da informação, MIMO, *beamforming* comunicações tipo máquina (*machine-type*), conectividade em *small cells* e também virtualização de redes (NOGUEIRA et al.,2018, p.14)

3.2- A quinta geração de redes de comunicações móveis (5G)

Na atual fase do capitalismo, as indústrias de diversos países do mundo estão se reconfigurando com o intuito de incorporar novas tecnologias que possibilitem o aperfeiçoamento de serviços e processos que já vinham sendo implementados desde a revolução informacional do final do século passado, e também a incorporação de novas tecnologias que possibilitem novos serviços e usos nunca antes vistos (NOGUEIRA,2018, p.9). Para atender as novas demandas que tal reconfiguração industrial exige, as redes de comunicações móveis estão sendo articuladas para

desenvolver novos padrões de conectividade que possibilitem o funcionamento conjunto de diversas tecnologias emergentes e heterogêneas vinculadas à chamada Indústria 4.0 (idem, p.9). Para tanto, as redes de comunicações móveis deverão atingir maiores níveis de capacidade de processamento e armazenamento de dados (ibidem, p.9).

Nogueira (2018, p.11), com base nos padrões fornecidos pelo IMT-2020 (*International Mobile Telecommunications – 2020*), que é uma organização controlada pelo ITU (*International Telecommunication Union*), aponta que a definição de 5G pode ser entendida como a possibilidade de comunicação com um dispositivo para receber, fornecer ou compartilhar dados e informações a qualquer momento, em qualquer localidade, e por qualquer indivíduo ou coisa. O avanço das comunicações móveis em sua quinta geração será o principal meio utilizado para que pessoas e máquinas tenham acesso às informações e serviços em geral (idem, p.11). Para tanto, as redes 5G precisarão de muita flexibilidade e capacidade mais elevada que as redes precedentes para atingir as expectativas de casos de uso esperados (ibidem, p.11).

A tecnologia 5G requer, para seu desenvolvimento, uma padronização elaborada pelos organismos responsáveis (SAGHEZCHI et al.,2015, p.4). De acordo com Saghezchi et al. (2015, p.4), a mudança do 4G para 5G representa “uma mudança no paradigma do *design* de um sistema de disciplina única para um sistema de disciplina múltipla” (idem, p.4).

Hansen (2017, p.3) aponta que se espera do 5G “ganhos significativos em relação ao 4G em termos de taxa de dados mais altas, níveis muito melhores de conectividade e cobertura melhorada”. Uma vez que as atuais redes 4G não são capazes de dar conta do exponencial crescimento dos fluxos de dados, a tecnologia 5G “é necessária para superar os limites dos sistemas atuais” (idem., p.4). Essa nova geração deverá “oferecer uma cobertura cada vez melhor e uma experiência superior ao usuário a um custo menor do que os sistemas wireless existentes” (ibidem.,p.4).

Como mencionado anteriormente, o principal objetivo do 5G, segundo as organizações internacionais responsáveis por definir as diretrizes dessa tecnologia, consiste na capacidade de possibilitar uma sociedade mais conectada e reunir “pessoas e coisas, dados, aplicações, sistemas de transporte e cidades” (NOGUEIRA et al 2018, p.17). As

diretrizes sobre os objetivos e as tendências para o 5G podem ser encontradas nos relatórios ITU M2320 e ITU-R M.2373 e na recomendação ITU-R M.2083 (NOGUEIRA et al, 2018, p.17). Dentre as aplicações que são consideradas pelo 5G, estão a Internet tátil, a Internet das coisas(IoT) e M2M (*Machine to Machine*) (idem.,p.17).

Isto demonstra uma característica que diferencia a tecnologia 5G das gerações anteriores, pois enquanto aquelas cumpriam a tarefa de estabelecer comunicações entre pessoas a tecnologia 5G vai mais longe e visa estabelecer comunicação, também, entre pessoas e máquinas e entre máquinas. O quadro 6, abaixo, apresenta os oito parâmetros vistos como requisitos estratégicos para o desenvolvimento da tecnologia 5G e o quadro 7, a seguir, detalha as melhorias da tecnologia 5G em relação a tecnologia 4G.

Quadro 6 – Requisitos estratégicos para tecnologia 5G

Requisitos do 5G
Taxa de dados de pico
Taxa de dados experimentada pelo usuário
Latência
Mobilidade
Densidade de conexão
Eficiência energética
Eficiência espectral
Capacidade de tráfego por área

Fonte: NOGUEIRA et al.,2018, p.18

O IMT-2020 apresenta os requisitos relacionados a capacidade para o 5G, de acordo com Nogueira et al. (2018, p.19), os oito requisitos para a tecnologia 5G apresentados no quadro 6 possuem os seguintes significados:

- Taxa de dados de pico (Gbps): “representa a taxa máxima alcançável em condições ideais”;
- Taxa de dados experimentada pelo usuário (Mbps ou Gbps): “representa a taxa de dados alcançável, disponível de forma onipresente na área de cobertura”;
- Latência de rádio (ms): “representa o atraso temporal na transmissão de um pacote”;
- Mobilidade (km/h): “representa a velocidade máxima alcançável”
- Densidade de conexão (dispositivos/Km²): “representa o número total de dispositivos conectados e/ou acessíveis por unidade de área”;

- Eficiência energética (bits/Joule): “representa a quantidade de bits de informação transmitidos/recebidos pelos usuários e pela rede, por unidade de consumo de energia”
- Eficiência espectral: “representa o *throughput* médio de dados por unidade de recurso de espectro e por célula”
- Capacidade de tráfego por área (Mbps/m²): “representa o *throughput* total por área geográfica”.

Quadro 7 – Melhorias da tecnologia 5G em relação ao 4G

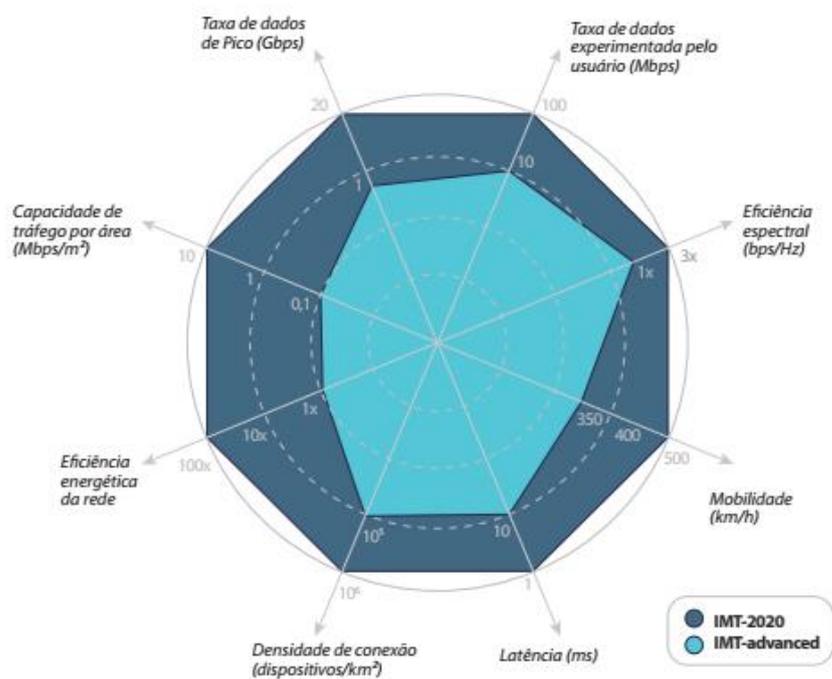
Melhorias do 5G em comparação ao 4G	
Volume de dados por área	Aumentar em 1000 vezes
Taxa de dados por usuário	Aumentar de 10 a 100
Quantidade de dispositivos conectados	Aumentar de 10 a 100
Tempo de duração da bateria dos dispositivos móveis	Aumentar em 10 vezes
Latência	Diminuir em 5 vezes

Fonte: NOGUEIRA et al.,2018, p.18

Osseiran et al (2016, p.11), consideram a confiabilidade, além dos requisitos acima, como um requisito importante. Esta última corresponde a porcentagem de transmissões bem-sucedidas concluídas dentro de um certo período de tempo.

Com base nessas informações é possível entender melhor os avanços da tecnologia 5G em relação ao 4G, como ilustra, também, a figura 11(abaixo), em que os requisitos de capacidade para tecnologia 5G, na cor azul escuro, são com parados aos valores estipulados para tecnologia 4G, em azul claro.

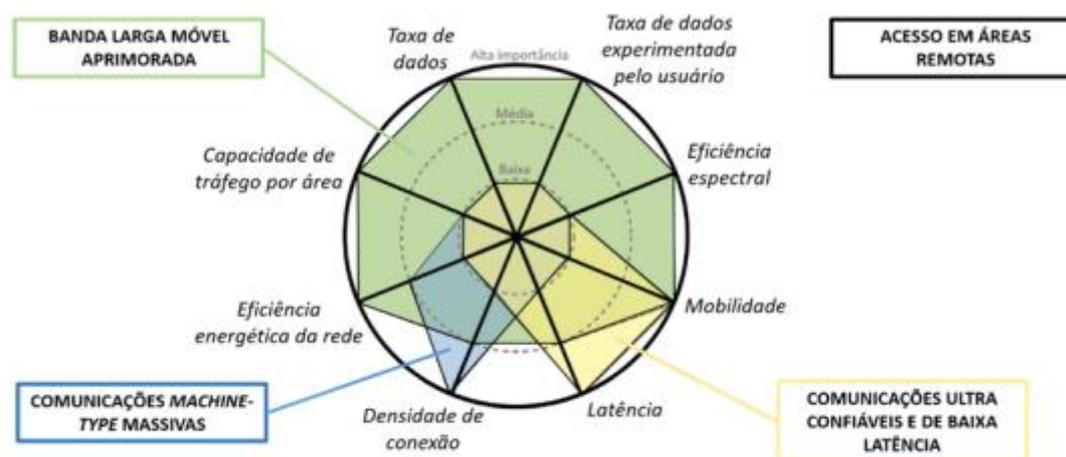
Figura 11- Requisitos de capacidade da 5G comparados com a 4G



Fonte: NOGUEIRA et al.,2018, p.20

Como pode ser visto na figura 11, os valores esperados para a tecnologia 5G correspondem as metas estipuladas para o IMT-2020, e servem como referência para os desenvolvimentos da tecnologia 5G (NOGUEIRA et al.,2018, p.20). Porém, algumas capacidades centrais podem depender dos cenários de aplicação da tecnologia 5G. Assim, a figura 12 apresenta o papel desempenhado por cada capacidade para cenários como banda larga móvel aprimorada, comunicações ultra confiáveis e comunicação *machine-type* massiva. Para tanto, levou-se em consideração uma escala com os valores indicando alta importância, média importância e baixa importância (NOGUEIRA et al.,2018,p.20).

Figura 12 – Capacidades centrais para diferentes cenários de aplicação da tecnologia 5G



Fonte: NOGUEIRA et al.,2018, p.21

O cenário de banda larga aprimorada diz respeito aos casos de usos que têm como foco o usuário e suas possibilidades de acesso ao conteúdo e aos serviços, assim como o aprimoramento das suas experiências (NOGUEIRA et al.,2018, p.22). A cor verde na figura 12 representa as capacidades centrais da banda larga aprimorada que são, respectivamente, a eficiência energética da rede, a capacidade de tráfego área, a taxa de dados, a taxa de dados experimentada pelo usuário, a eficiência espectral e a mobilidade (NOGUEIRA et al.,2018, p.22).

O cenário de comunicações *machine-type* massivas diz respeito a quantidade de dispositivos conectados para os quais são exigidos uma duração de bateria prolongada e um custo mais reduzido para implementação (idem, p.22). Também se consideram os cenários de acesso em áreas remotas que visam atender usuários conectados em regiões rurais e regiões com uma concentração populacional menor e fornecendo uma boa cobertura de conectividade e de baixo custo (ibidem, p.24).

O cenário de alta vazão corresponde a necessidade de atender a uma grande e crescente quantidade de dados produzidas por usuários conectados em áreas de grande aglomeração, como grandes centros urbanos e com elevados tráfego de dados, e também ambientes fechados, como condomínios e shopping centers (NOGUEIRA et al.,2018, p.23). Já o cenário de baixa latência visa atender aplicações para as quais são exigidos

baixos valores de latência para as redes (idem, p.23). Nesse cenário são levadas em consideração aplicações como controle de robôs, realidade aumentada, computação em nuvem, veículos autônomos, segurança no trânsito dentre outras (ibidem, p.23). Para além desses cenários também existe uma gama de casos de usos possíveis da tecnologia 5G, como pode ser vista na seção seguinte.

3.2.1 - Casos de usos da tecnologia 5G

A tecnologia 5G busca aperfeiçoar as redes de comunicações móveis e poderá tornar disponível conexões para dispositivos que operam nas redes IoT. Logo, apesar de já existirem outras tecnologias que já contribuem para as operações das redes IoT, a tecnologia 5G será uma das tecnologias importantes para viabilizar o funcionamento dessas redes, atuando como um dos componentes centrais que integram tais redes. Assim, as redes 5G em conjunto com as redes IoT possibilitarão avanços significativos em diversos setores de atividades econômicas (NOGUEIRA,2018).

Existe um vasto conjunto de novos casos de usos associados ao 5G e IoT, e para cada um desses casos de usos existem requisitos específicos que devem ser atendidos pelas novas tecnologias de comunicações móveis (NOGUEIRA,2018, p.10). A Internet das coisas se originou da evolução dos sistemas de telecomunicações e visa proporcionar um novo panorama e padrão de conectividade entre “coisas” (dispositivos) e usuários e suas possíveis aplicações (NOGUEIRA,2018,p.13). Dentre essas chamadas coisas estão sensores, veículos, eletrodomésticos e qualquer tipo de dispositivo que precise de acesso para uma certa aplicação (NOGUEIRA,2018, p.13). Esse novo panorama de conectividade gerado pelas tecnologias vinculadas à IoT proporcionará uma otimização nas comunicações do tipo máquina a máquina (M2M- *Machine to Machine*), em especial nos casos de automação, monitoramento e controle dos processos de manufatura (NOGUEIRA,2018, p.13). Como existirá um grande volume de “coisas” com aplicações e funcionalidades diversas, também poderão existir uma multiplicidade de casos de uso para essas tecnologias (NOGUEIRA,2018, p.13).

Dada a importância e a diversidade de casos de usos, busca-se nesta seção apresentar os principais exemplos para as redes de comunicações móveis da quinta geração (5G), destacando os desafios para sua implementação e seus requisitos. O 5G e a IoT poderão

ser utilizados conjuntamente como meio para passar a fornecer as características técnicas para as aplicações de tais casos de uso (NOGUEIRA,2018, p.15). Entretanto, é válido salientar que essas tecnologias não necessariamente atenderão a todos os casos de uso, visto que para que todos esses casos sejam atendidos é requerida uma espécie de cooperação entre os sistemas que visam sua implementação. (NOGUEIRA,2018, p.15). A figura 13, abaixo, apresenta os principais casos de usos para tecnologia 5G, bem como os setores de atividades socioeconômicas que tenderão ser mais afetados.

Figura 13- Casos de uso do 5G e IoT e setores de atividades socioeconômicas impactados

	Automação	Procedimentos médicos	Realidade Virtual e Realidade Aumentada	Smart Cities	Teleproteção em Smart Grid	Veículos Autônomos	Wearables
Agricultura							
Construção							
Energia							
Finanças							
Manufatura							
Mídia							
Saúde							
Segurança pública							
Transporte							

Fonte: Fonte: Nogueira,2018, p.15

Automação Industrial. O surgimento da Indústria 4.0 requer para as tecnologias emergentes de automação industrial uma comunicação a distância com mais rapidez no tempo de resposta e mais segurança para assim obter um maior controle e monitoramento de toda cadeia do processo produtivo. Adiciona-se a isso o fato de que a comunicação M2M pode impulsionar a otimização desses processos. Ainda que estes processos não exijam um elevado volume de transferência de dados da rede, para que eles consigam ser viabilizados será necessária baixa latência e alta confiabilidade. Como o atual nível de automação é realizado com base em redes fixas que limitam o avanço industrial para regiões remotas, requer-se que as redes 5G e IoT sejam implementadas conjuntamente (NOGUEIRA,2018, p.15).

Procedimentos Médicos Remotos. Com o avanço das tecnologias usadas pela medicina se tornará cada vez mais possível a operação desde procedimentos simples até mesmo procedimentos cirúrgicos em paciente com base em tecnologias avançadas e robótica 7). Esses procedimentos serão realizados remotamente com base nas redes 5G e os profissionais capacitados poderão executá-los em qualquer localidade do mundo, através de instrumentos robóticos e acompanhando imagens de alta resolução. Para tanto, a rede precisa fornecer baixa latência ponta a ponta e comunicações de ultraconfiáveis. Além disso, através das redes 5G poderão ser fornecidos suportes para veículos de resgate e acompanhamento de informações em hospitais, e as tecnologias IoT também poderão auxiliar no monitoramento e suporte de atividades ligadas à medicina (NOGUEIRA,2018, p.17).

Realidade Virtual e Aumentada. Esta última consiste em um conjunto de tecnologias que possibilitam que os usuários consigam interagir com a mesma sensação que seria como se estivessem fisicamente numa mesma localidade. E também possibilita que tais usuários executem tarefas específicas de maneira remota. Para tanto, um considerável volume de informações deve ser trocado dentro de um tempo adequado através dos dispositivos dos usuários e dos sensores e também com a nuvem, e fluxos multidimensionais. Elevadas taxas de dados e reduzida latência são requeridas para atingir a devida qualidade dos serviços (NOGUEIRA,2018, p.19).

Smart Cities. O novo panorama e padrão de conectividade que emerge com as redes 5G e IoT poderá conectar as pessoas com o ambiente ao qual elas estão inseridas. Esse novo padrão de conectividade também poderá ser aplicado para a construção de cidades inteligentes, casas e prédios inteligentes. Isso será possível através da coexistência de um conjunto variado de dispositivos com funcionalidades diversas que conjuntamente poderão gerar um ambiente que se adapte, seja dinâmico e seguro, e que seja monitorado e configurado remotamente. Para tanto, as redes precisam atingir requisitos dos mais diversos. No caso da transferência de arquivos por meio de nuvem, altas taxas de dados são requeridas, mas no caso de dispositivos menores e sensores, apesar destes não necessitarem de elevadas taxadas de dados eles requerem baixa latência. É importante salientar que os requisitos de rede mudam de maneira dinâmica em conformidade com o cenário imediato, seja devido a concentração de pessoas em uma

mesma localidade, seja porque se trata de um ambiente aberto ou fechado (NOGUEIRA,2018, p.21).

Teleproteção em Smart Grid. As redes Smart Grid formam uma rede em que são distribuídos recursos como eletricidade, água e gás e faz isso com base em tecnologias da informação como um meio de tornar o fornecimento de tais recursos mais eficientes tanto economicamente quanto energeticamente, e também fornecer mais confiabilidade e sustentabilidade no fornecimento de tais recursos. A utilização de redes 5G na gestão de tais sistemas requer que a capacidade de reação seja mais rápida para lidar com alterações na oferta ou utilização desses recursos, evitando falhas que interrompam o fornecimento de serviços. Para evitar ou gerenciar com mais eficiência casos críticos como blackout, que é uma interrupção na oferta de energia elétrica, os sistemas de teleproteção amparados nas redes 5G precisam, atingir baixa latência e alta confiabilidade nas transferências de informações (NOGUEIRA,2018, p.23).

Veículos Autônomos. A direção autônoma poderá proporcionar uma redução considerável no volume dos acidentes de trânsito e casos de imprudência. Para que a direção autônoma seja possível os veículos precisarão se comunicar entre si e também com a infraestrutura de redes, além da comunicação do veículo com o condutor e para com sensores e demais dispositivos. Será requerida uma conectividade que tenha baixa latência e alta confiabilidade para que os veículos funcionem de maneira autônoma e com segurança. A troca de informações dos veículos entre si também poderá requerer uma infraestrutura de conectividade com elevadas taxas de dados e também será requerido um suporte com alta mobilidade (NOGUEIRA,2018, p.25).

Wearables. Estes são “dispositivos que podem ser utilizados como peças de vestuário ou acessórios, e, assim, trazer algum benefício ao usuário como, por exemplo, monitoramento de funções corporais e de atividades físicas” (NOGUEIRA,2018, p.27). Apesar desses dispositivos não demandarem uma conexão permanente com a rede, alguns requerem determinado nível de conectividade. E também existem variados requisitos de rede, mas uma exigência comum para os wearables podem ser a alta densidade de dispositivos, confiabilidade e latência relativamente baixa (idem, p.27).

Tullberg et al. (2016, p.25) também mencionam a aplicação do 5G na automação celular de fábrica, em que uma linha de montagem é monitorada por dispositivos capazes de estabelecer comunicações com as unidades de controle, exigindo confiabilidade alta e latência baixa.

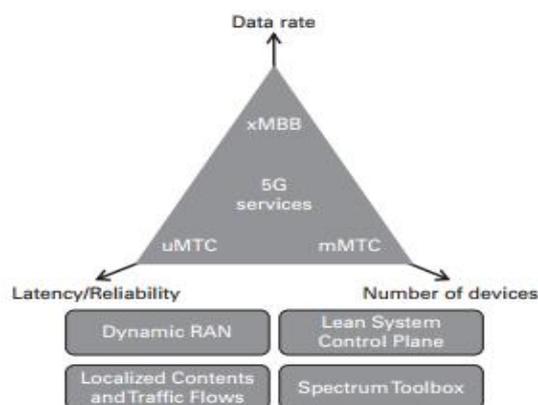
3.2.2 - Conceito de sistema 5G

Tullberg et al. (2016, p.21) apontam que a tecnologia 5G visa proporcionar um mundo no qual “o acesso à informação e o compartilhamento de dados sejam possíveis em qualquer lugar e a qualquer hora para qualquer pessoa e qualquer coisa”. Isso sinaliza uma diferença importante das redes 5G em relação as redes de comunicações anteriores que é o fato de que o 5G tende a expandir o uso das comunicações centradas entre seres humanos para incorporar, também, o uso de comunicações centradas tanto em seres humanos quanto em máquinas (Idem, p. 21).

O fato da 5G levar em consideração a comunicação entre máquinas e coisas é uma característica que aponta para a conexão entre a 5G e a Indústria 4.0, visto que esta Indústria possui um gama de tecnologias que requerem o uso da internet ou de uma infraestrutura de conectividade para realizarem suas atividades. Adiciona-se a isso, segundo Tullberg et al. (2016, p.21), a tendência das comunicações móveis e sem fio se tornarem gradativamente “a principal forma de pessoas e máquinas acessarem informações e serviços”, levando a uma ampliação dos níveis potenciais de produtividade e gerando impactos socioeconômicos que ainda não foram vislumbrados.

Diante desse quadro e dos possíveis casos de usos para a 5G apresentados anteriormente, Tullberg et al. (2016, p.32) descrevem um conceito de sistema 5G como uma plataforma flexível que utiliza uma rede comum para aplicações ou soluções personalizadas, inclusive em indústrias verticais, como a indústria automotiva, de energia e de manufatura em geral. O conceito de sistema 5G apresentado por esses autores faz uma generalização das principais características dos casos de usos, conectando-as aos requisitos e combinando os componentes tecnológicos dentro de três serviços genéricos de comunicações 5G, que, por sua vez, são apoiados por quatro habilitadores ou capacitadores principais (TULLBERG et al.,2016, p.32). A figura 14 ilustra esses serviços e esses habilitadores.

Figura 14 - O conceito de sistema 5G com os três serviços genéricos e os quatro habilitadores principais



Fonte: Tullberg et al. (2016, p.33)

Os três serviços genéricos de comunicações 5G são:

- Banda larga móvel extrema ou *Extreme Mobile BroadBand* (xMBB): que fornece taxas de dados extremamente elevadas e comunicações de baixa latência e também fornece uma cobertura extrema (TULLBERG et al., 2016, p.32).
- Comunicação *Machine-type* massiva ou *Massive Machine-Type Communication* (mMTC): que “fornece conectividade sem fio para dezenas de bilhões de dispositivos habilitados para rede, conectividade escalonável para crescente número de dispositivos” etc. (TULLBERG et al., 2016, p.32).
- Comunicação de tipo máquina ultraconfiável ou *Ultra-reliable Machine-Type Communication* (uMTC): que “fornece links de comunicação ultraconfiável e de baixa latência para serviços de rede com requisitos extremos sobre disponibilidade, latência e confiabilidade, como, por exemplo, (...) aplicações em manufatura industrial” (TULLBERG et al., 2016, p.32).

Os quatro habilitadores ou capacitadores principais das comunicações 5G são:

- A Rede de Acesso de Rádio Dinâmica (DyRAN): que fornece uma rede de acesso de rádio, RAN, capaz de se adaptar rapidamente “a mudanças espaço-temporais nas necessidades do usuário e a combinação dos serviços genéricos de 5G” (TULLBERG et al., 2016, p.33).
- O Plano de controle do sistema enxuto (LSCP): que “fornece uma nova sinalização de controle enxuto necessário para garantir latência e confiabilidade,” e “suporta um grande número e variedade de dispositivos com capacidades muito diferentes e garante desempenho energético” (TULLBERG et al., 2016, p.33).

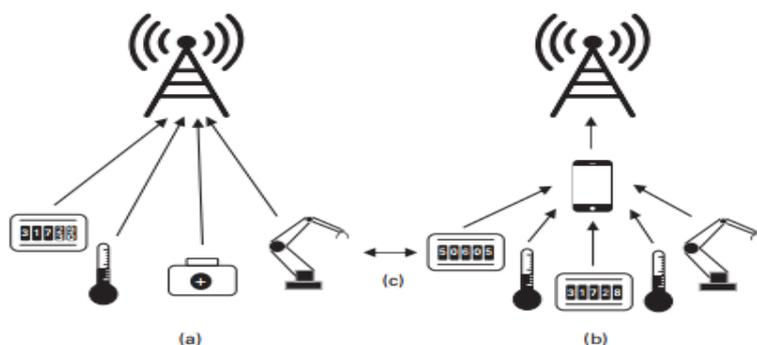
- Conteúdos localizados e fluxo de dados: que “permitem descarregamento, agregação e distribuição de conteúdo em tempo real e em cache”. Além disso, a localização “fornece agregação, como por exemplo, de informações do sensor” (TULLBERG et al., 2016, p.33).
- *Spectrum Toolbox*: que “fornece um conjunto de habilitadores para permitir que os serviços 5G genéricos operem sob diferentes estruturas regulatórias, cenários de uso/compartilhamento de espectro e bandas de frequência” (TULLBERG et al., 2016, p.33).

Deste modo, o conceito de sistema 5G pode ser definido como uma rede única capaz de fornecer todos os serviços genéricos e que possui um nível de flexibilidade que permite modificar o conjunto de serviços disponibilizados de maneira dinâmica (TULLBERG et al., 2016, p.33). Para entender melhor o funcionamento dos serviços genéricos das comunicações 5G segue-se a caracterização elaborada por Tullberg et al. (2016).

Banda larga móvel extrema. Segundo Tullberg et al. (2016, p.34), a banda larga móvel extrema é um serviço genérico das redes 5G que amplia os horizontes estabelecidos para banda larga móvel atual, fornecendo uma base para novos aplicativos e para uma experiência aprimorada dos usuários, e buscando atender ao crescente volume de dados gerados pelos usuários. Esse serviço promete atender aos requisitos da realidade aumentada e virtual e a latência reduzida poderá contribuir para uma melhor utilização da computação em nuvem. Esse serviço também fornecerá uma maior mobilidade no que tange o “fornecimento contínuo de aplicativos de alta demanda” (TULLBERG et al., 2016, p.33).

Comunicação massiva do tipo máquina (mMTC). A (mMTC) é um serviço de comunicação 5G que “fornece conectividade eficiente para um grande número de dispositivos com custos e energia limitados” (TULLBERG et al., 2016, p.36). Esse serviço pode ser usado em vários casos de uso incluindo sensores e atuadores da linha de produção de uma fábrica inteligente ou até mesmo casas inteligentes. Ainda segundo Tullberg et al. (2016, p.37), existem três tipos de acesso possíveis para mMTC, como pode ser visto na figura 15: (a) acesso direto à rede (MTC-D), (b) acesso por meio de um nó de agregação (MTC-A) e (c) acesso D2D de curto alcance para dispositivos mMTC (MTC-M).

Figura 15 - Comunicação massiva do tipo máquina e os três tipos de acesso previstos

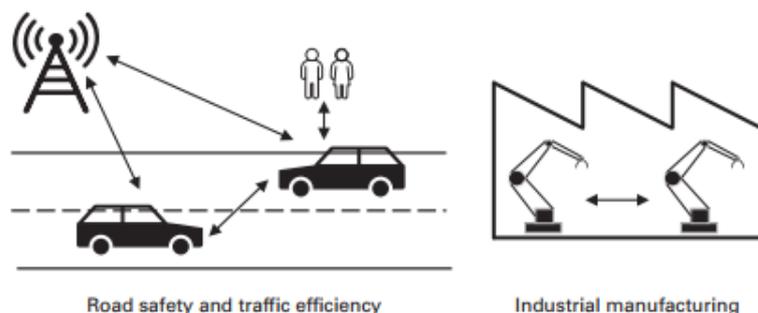


Fonte: Tullberg et al.,2016, p.37

Comunicação do tipo máquina ultraconfiável (uMTC). A uMTC é um serviço de comunicação 5G que “fornece comunicação ultraconfiável e de baixa latência para aplicativos” e possui aplicações tais como segurança no trânsito e fabricação industrial como pode ser visto na figura 16 (TULLBERG et al., 2016, p.38). No que tange à segurança e eficiência do trânsito, os usuários envolvidos nessas aplicações podem trocar informações usando comunicação *Vehicle-to-Vehicle* (V2V), *Vehicle-to-Pedestrian* (V2P) ou até mesmo comunicação do veículo com a infraestrutura de trânsito(TULLBERG et al.,2016,p.38). Como apontam Tullberg et al. (2016, p.38), o conceito de *Vehicle-to-everything* (V2X) permite aos usuários, que fizerem uso dessas aplicações do serviço uMTC no trânsito, a capacidade de enviar mensagens com o intuito de evitar situações de risco. O conteúdo dessas mensagens pode conter o envio e compartilhamento da posição, da velocidade, da trajetória dentre outras informações. No que diz respeito à manufatura industrial, segundo Tullberg et al(2016, p.39), as aplicações do serviço uMTC podem ser divididas nas seguintes três categorias :

- Equipamentos fixos, incluindo sensores e atuadores conectados aos equipamentos responsáveis pelo controle e monitoramento do processo de manufatura;
- Robôs de transporte autônomo, que funciona de maneira similar ao conceito de V2X
- Sensores implantados em equipamentos e/ou peças com a finalidade de monitoramento, mas sem fazer parte dos “circuitos de controle do processo de fabricação”.

Figura 16- Comunicação ultraconfiável do tipo máquina e suas aplicações para segurança e eficiência no trânsito e manufatura industrial



Fonte: Tullberg et al. 2016, p.38

3.2.3- Impactos econômicos potenciais da tecnologia 5G

Campbell et al. (2019) elaboraram um relatório para IHS Markit em que realizam uma análise sobre os possíveis impactos da tecnologia 5G para a economia. Nesse relatório, Campbell et al. (2019, p.5) apontam que a tecnologia 5G tende a se tornar uma General Purpose Technology (GPT) e, como tal, pode proporcionar mudanças significativas em diversos setores da economia global, podendo mesmo redefinir a competitividade de alguns setores econômicos. De acordo com Campbell et al. (2019, p.20), praticamente todas as indústrias serão impactadas pela tecnologia 5G e é exatamente a utilização e integração dessa tecnologia por diversos setores da indústria que poderá transformar a tecnologia móvel em GPT.

Ainda de acordo com Campbell et al. (2019, p.20), a maioria dos casos de uso previsto para tecnologia 5G, até 2035, terão se acelerado e contribuído para criação de novos modelos de negócios, capazes de usufruir ao máximo das potencialidades do 5G. As empresas, segundo os mesmos autores, gradativamente passarão a utilizar a tecnologia 5G para elevar suas vendas, buscando maior eficiência, novos clientes e aprimorando seus modelos de negócios. Campbell et al. (2019, p.12-14) consideram como principais aplicações e casos de uso da tecnologia 5G:

- A banda larga móvel aprimorada, que contribuirá para a criação de valor dada a maior cobertura do 5G que atingirá edifícios de escritórios, parque industriais etc. Isso proporcionará uma experiência aprimorada dos usuários finais independente de qual for a localização.

- A internet das coisas massiva, que ampliará os horizontes da comunicação M2M e dos aplicativos IoT, incorporando aplicações como cidades inteligentes, monitoramento de energia, agricultura inteligente etc.
- Os serviços de missão crítica, que inclui aplicações como veículos autônomos, drones, automação industrial, monitoramento remoto de pacientes etc

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE,2019) também realizou análises sobre os possíveis impactos da tecnologia 5G para a economia. De fato, a OCDE (2019, p.12) aponta que as redes 5G são vistas por muitos como uma nova abordagem de comunicações móveis capaz de usar com mais eficiência recursos e possibilitar novos serviços e aplicações. Deste modo, o 5G é mais do que um mero avanço das redes de comunicações móveis e, uma vez que o 5G pode se tornar uma GPT, seus recursos e aplicações novas poderão contribuir para a criação de significativos ganhos de produtividade e de crescimento em diversos setores (OCDE,2019, p.13).

De acordo com o referido relatório (idem, p.13), a 5G poderá contribuir para:

- A introdução de novos serviços e aplicações com velocidades maiores e com menor latência.
- O aprimoramento da eficiência e das atividades inovativas das empresas, pois com menor latência é possível ter uma melhor experiência com a computação em nuvem e com as velocidades de download de serviços.
- O uso aprimorado dos serviços e aplicações da IoT proporcionando um aperfeiçoamento da produtividade industrial.
- O surgimento de novas formas de competição nos mercados de banda larga e redes sem fio.

A OCDE (2019) menciona, também, um outro estudo realizado pelo Governo Australiano sobre os possíveis impactos econômicos da 5G. Este estudo destacou os efeitos da 5G sobre a produtividade da economia australiana levando em consideração que algumas aplicações da 5G podem contribuir para o fomento de inovações em robótica e em IoT.

O governo australiano concluiu, a partir destas estimativas, que o 5G “poderia melhorar a produtividade em toda economia australiana e aumentar o PIB per capita em até AUD

2.000 (US\$ 1.492,5) até 2030” (OCED,2019. p.13). Isto porque a tecnologia 5G “é mais do que um avanço incremental na tecnologia móvel anterior” - se aproximando da definição de um novo GPT - e que representa “uma melhoria substancial no que a tecnologia móvel pode oferecer” (Governo australiano,2018 apud OCED,2019. p.13).

Ainda de acordo com a OCDE (2019, p.14), a 5G impactará setores de atividades econômicas como “energia, transporte e mobilidade, saúde, agricultura, indústria, segurança pública, meio ambiente, turismo e cultura”, além de diversas indústrias verticais, podendo inclusive afetar outras áreas ainda não vislumbradas.

A OCDE (2019, p.15) destaca, também, que a tecnologia háptica⁸ poderá contribuir para o aperfeiçoamento da robótica industrial, pois possibilitará que coisas em locais diferentes sejam manipuladas por uma pessoa com um “dispositivo de controle remoto sensorial e uma máquina em um local diferente”. A 5G poderá possibilitar que essa tecnologia seja difundida e utilizada sem precisar de fios para estabelecer suas operações (OCED,2019, p.15).

Por seu turno, a União Internacional de Telecomunicações (ITU,2018) também apresentou um relatório sobre a tecnologia 5G e, em um dos capítulos, mencionou algumas implicações socioeconômicas prováveis da tecnologia 5G. Ressalvando que ainda existem poucos estudos sobre os possíveis impactos econômicos gerados pela introdução e implementação da tecnologia 5G, a ITU (2018) destacou que, em um desses estudos considerados, estima-se que o investimento na cadeia de valor poderá gerar mais de US\$ 3,5 trilhões em produção e contribuir para criação de 22 milhões de empregos até 2035.

A ITU (2018, p.9) mencionou, por exemplo, um estudo da Comissão Europeia que estima que a introdução do 5G poderá contribuir para criação de 2,3 milhões de empregos na Europa e estima também que boa parte dos benefícios econômicos da introdução da 5G serão impulsionados pela elevação da produtividade no setor

⁸ Háptico é um termo que diz respeito “à capacidade de uma pessoa sentir, reconhecer e interagir com objetos reais ou virtuais em um ambiente real ou virtual pelo sentido do tato”(ESTIVALETE e REATEGUI,2019,p.165).Desse modo as tecnologias hápticas tanto de software quanto de hardware possibilitam “o toque em objetos virtuais de uma cena com três direções e com feedback de força para que os usuários percebam a sensibilidade háptica dos efeitos, das texturas, das formas, do peso e das dimensões” (ESTIVALETE e REATEGUI,2019,p.164).

automotivo e nos ambientes de trabalho em geral. Por fim, a ITU (Idem, p. 9) aponta, ainda, que alguns estudos indicam benefícios econômicos consideráveis provenientes dos investimentos nas redes 5G, com destaque especial para o aumento da produção.

3.3 Padronização e a corrida pelas patentes

Dahlman et al.(2021,p.3) apontam que, em 1998, diversas organizações do mundo especializadas em normatização das comunicações móveis se juntaram e criaram o projeto conhecido como 3GPP (*Third-Generation Partnership Project*). Inicialmente, o 3GPP cumpria a tarefa de concluir os desenvolvimentos da tecnologia 3G. Posteriormente, o projeto 3GPP passou, também, a contribuir fortemente para o desenvolvimento dos padrões da tecnologia 4G. Atualmente, além de colaborar para o desenvolvimento dos padrões da tecnologia 5G, ele se constituiu na principal organização responsável pelo “desenvolvimento de especificações técnicas para comunicação móvel”(DAHLMAN et al. ,2021,p.3).

Todavia, de acordo com Dahlman et al. (2021, p.7), os desenvolvimentos da tecnologia 5G dependem, ainda, de um esforço adicional de diversas organizações internacionais que atuam no âmbito da indústria de comunicações móveis para coordenar especificações comuns, tanto nos planos regionais quanto no global. Diante disto, Dahlman et al. (2021, p.7) descrevem o ambiente regulatório e de padronização necessários para definição das redes de comunicações móveis, dividindo as organizações responsáveis por tal definição em três grupos: organizações desenvolvedoras de padrões, órgãos reguladores e fóruns da indústria de comunicações móveis.

Como apontam, ainda, Dahlman et al. (2021, p.7), as Organizações desenvolvedoras de padrões são responsáveis pelo desenvolvimento dos padrões técnicos e das normas para os sistemas de comunicações móveis, com a finalidade de proporcionar para a indústria um ambiente no qual os produtos sejam padronizados e tenham interoperabilidade. Neste âmbito, são definidos os protocolos de operação, e são padronizados os elementos como as estações base e os dispositivos móveis, ainda que exista um certo grau de liberdade para a finalização das soluções (idem, p.7).

Em geral, essas organizações não estão preocupadas com questões como a lucratividade da indústria e também não são organizações controladas pelos governos (ibidem., p.7). Como mencionado anteriormente, o projeto 3GPP é a principal organização responsável pelo desenvolvimento de padrões técnicos. Ele é uma organização de caráter global composta, por sua vez, por sete organizações regionais e/ou nacionais desenvolvedoras de padrões - a ETSI na Europa, a ARIB e a TTC no Japão, a ATIS nos EUA, a CCSA na China, a TTA na Coreia do Sul e a TSDSI na Índia (ibidem.,p.7). Essas organizações podem variar quanto ao grau de transparência dos seus desenvolvimentos e contribuições, mas o 3GPP é amplamente transparente em suas “especificações técnicas, documentos de reuniões e relatórios”, disponibilizando os mesmos de forma gratuita para o público em geral (ibidem., p.7).

Os órgãos reguladores, ainda segundo Dahlman *et al.* (2021, p.8), são organizações conduzidas pelo governo que visam estabelecer “requisitos obrigatórios e legais para a venda, implantação e operação de sistemas móveis e outros produtos de telecomunicações”. Essas organizações controlam as especificações de uso e definem as condições de licenciamento para os operadores de telefonia móvel que, por sua vez, adquirem licenças de uso do espectro de radiofrequência para a condução das operações de telefonia móvel (DAHALMAN *et al.*, 2021, p.8). Essas organizações também fornecem certificações como forma de regular o uso de dispositivos, estações base e demais equipamentos (idem., p.8).

Os órgãos reguladores cumprem a tarefa de regulamentar as especificações para uso de serviços e, também, definem os requisitos sobre os limites de emissões dos transmissores (DAHALMAN *et al.*,2021, p.8). Além disso, estes órgãos reguladores atuam indiretamente na definição dos requisitos para os padrões dos produtos através da regulamentação desses padrões (DAHALMAN *et al.*,2021, p.8). No que diz respeito a regulação do espectro, existem administrações de âmbito nacional que atuam através de órgãos regionais - por exemplo, a CEPT/ECC na Europa, a CITELE nas Américas e a APT na Ásia (idem., p.8). No âmbito internacional, a regulação do espectro é conduzida pela União Internacional das Telecomunicações(ITU)(ibidem.,p.8).

Já os fóruns da indústria de comunicações móveis, segundo Dahalman et al.(2021, p.8), são constituídos por grupos dentro dessa indústria que “promovem e fazem lobby por tecnologias específicas ou outros interesses”. Os rumos da indústria de comunicações móveis frequentemente liderados pelas operadoras de telefonia. Os fornecedores de equipamentos também contribuem para os seus rumos através da criação destes fóruns. Um caso típico é o GSMA que tem conduzido a promoção de tecnologias de comunicações móveis “baseadas em GSM,WCDMA, LTE e NR” (DAHALMAN et al.,2021, p.8). A *Next-Generation Mobile Networks* (NGMN), que é constituída por um grupo de operadoras responsáveis pela definição de requisitos para redes móveis, e a 5G Americas, que é um fórum regional pertencente a indústria de comunicações móveis, são outros exemplos dos fóruns mencionados (DAHALMAN et al.,2021, p.8).

Dahalman et al. (2021, p.8) descrevem a relação entre essas organizações da seguinte forma: a) os fornecedores de equipamentos desenvolvem os produtos e levam estes para o mercado de comunicações móveis em que são realizadas negociações com as operadoras que ao adquirirem esses produtos realizam a implementação dos mesmo; b) este processo depende dos padrões técnicos estabelecidos pelas organizações desenvolvedoras de padrões e a inserção desses produtos no mercado depende, também das requeridas certificações para os produtos, seja no âmbito regional ou no âmbito nacional; e c) as documentações requeridas para a inserção destes produtos no mercado envolvem “padrões técnicos, recomendações e mandatos regulatórios que definem as tecnologias e a regulamentação”.

Outro ponto que merece atenção é o papel que as patentes exercem no processo de padronização das redes de comunicações móveis 5G, como destacado por Gu et al. (2019, p.26), uma vez que um padrão de uma tecnologia de comunicações móveis é composto por um conjunto de inovações tecnológicas que são protegidas, em grande medida, através de patentes. Além disso, os padrões tecnológicos para as redes de comunicações móveis também são compostos por um compilado de regras e regulamentos que visam garantir “a interoperabilidade entre produtos” e, conseqüentemente, uma difusão mais acelerada das tecnologias (GU et al.,2019, p.26).

Os desenvolvimentos da tecnologia 5G são determinados, em certa medida, pelos desenvolvimentos dos padrões para essa tecnologia. Segundo Gu et al.(2019,p.20), os

padrões tecnológicos das redes 5G são gerados a partir de contribuições técnicas nas quais algumas tecnologias são patenteadas e chamadas de Patentes com Padrões Essenciais ou *Standard Essential Patents* (SEPs). As principais empresas do setor lançam suas próprias patentes e contribuições tecnológicas como SEPs para as organizações desenvolvedoras de padrões de países ou regiões específicas, essas declarações de SEPs possuem valor de mercado e têm taxas de royalties com margens de lucratividade (GU et al.,2019,p.20).

Os direitos de propriedade intelectual referentes à tecnologia 5G podem ser cruciais para definição de padrões técnicos, por isso as empresas interessadas em lançar produtos e serviços ligados a tecnologia 5G precisam utilizar patentes que estejam enquadradas nesses padrões (GU et. al.,2019, p.21). As empresas devem apresentar declarações de direito de propriedade intelectual aos respectivos organismos de normalização ou organizações desenvolvedoras de padrões de cada país ou região (GU et. al.,2019, p.21).

Tomando como exemplo o caso Europeu, Gu et al.(2019,p.21) explicam que se uma empresa A, que não é europeia, pretende vender um produto que possui patente desenvolvida por uma empresa europeia B, então a empresa A “deve pagar taxas de patente para empresa B”, visto que a empresa B declarou a patente do seu produto na ETSI que é uma organização desenvolvedora de padrão europeia. De acordo com Gu et al(2019,p.21), caso a empresa B deseje vender seus produtos nos EUA esta empresa também deverá declarar a patente dos seus produtos em uma das organizações desenvolvedoras de padrão daquele país, como a USPTO. Para tanto, os seus pedidos de patentes devem ser adotados como SEPs e esta empresa deve contribuir para o desenvolvimento de padrões técnicos dentro dos EUA, tentando persuadir a respectiva organização local a utilizar a sua tecnologia como forma de ocupar o mercado daquele país, através do pedido de patente.

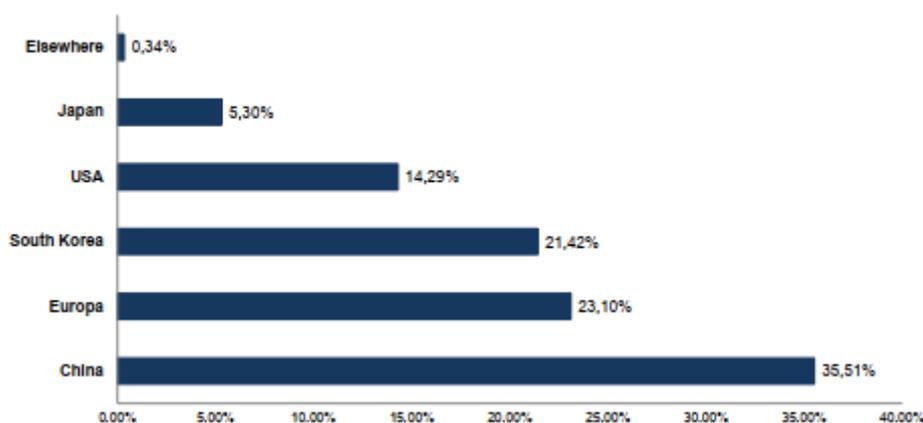
A indústria de comunicações móveis possui um modelo de compartilhamento de patentes que torna a propriedade intelectual um fator-chave para os desenvolvimentos de cada geração das respectivas tecnologias, visto que aqueles que possuem direitos de propriedade intelectual conseguem recuperar mais facilmente os seus investimentos em P&D por meio da receita proveniente dos royalties vinculados às SEPs (GU et

al.,2019,p.21). As declarações de patentes constituem-se, assim, em uma das principais formas utilizada pelas empresas da indústria de comunicações móveis para rentabilizar os seus investimentos e obter mais lucros.

Como demonstram, ainda, GU et al. (2019, p.22), os donos das patentes da tecnologia 4G obtiveram lucros adicionais com o licenciamento de suas tecnologias para a indústria de smartphones. A Nokia, que possui patentes essenciais ligadas ao GSM, ao rádio 3G e ao 4G LTE, obteve, por exemplo, elevadas receitas advindas do licenciamento de parte do seu “estoque” de propriedade intelectual. A Apple, em 2017, chegou a pagar à Nokia aproximadamente US\$ 2 bilhões em negociações relacionadas aos direitos de propriedade intelectual da empresa finlandesa.

Com base nos estudos do IPLYtics, Gu et al. (2019, p.22) destacam também que no início de 2019 os principais detentores de declarações de SEPs para a 5G foram, respectivamente, a “Huawei (1529), a Nokia (1397), a Samsung (1296), a ZTE (1208), a Ericsson (812), a Qualcomm (787), a LG (744), a Intel (550), a CATT (545), a Sharp (468) e Oppo (118)”. Dentre as 25 empresas que mais contribuem com declarações de SEPs da tecnologia 5G, as quatro chinesas (Huawei, ZTE, CATT e Oppo) respondem, respectivamente, por 35,51% das declarações totais. As quatro empresas europeias (Nokia, Ericsson, Innovative Technology, Sisvel) contribuíram com 23,1 % do total, enquanto as três empresas da Coreia do Sul (Samsung, LG e KT) concorreram com 21,42%. Por sua vez, as cinco empresas americanas (Qualcomm, Intel, InterDigital, Apple e Optis) responderam por 14,29%, enquanto as quatro empresas japonesas (Sharp, Fujitsu, Sony e NEC) contribuíram com 5,3% das declarações de SEPs para a 5G no ano de 2019 (GU et al.,2019, p.22-23). A figura 17, a seguir, apresenta os principais países e regiões responsáveis por declarações de SEPs para o 5G.

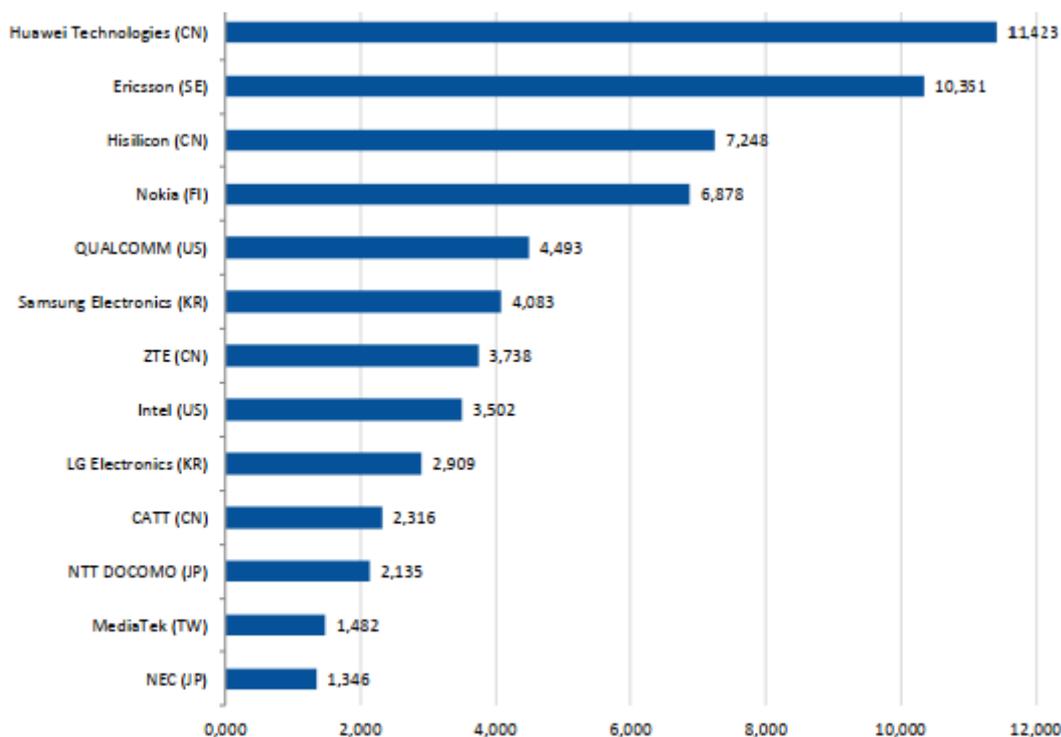
Figura 17- Principais países e regiões responsáveis pelas declarações de SEPs



Fonte: CGS 2019 com base nos dados do IPlytics. Extraído de GU et al. (2019, p.23)

De acordo com os dados apresentados na figura 17, as empresas chinesas claramente ocupam uma posição de destaque nas declarações de patentes para o 5G. Mas, como observam Gu et al (2019, p. 23), não é possível inferir que a China é líder nos desenvolvimentos da tecnologia 5G porque as patentes podem possuir valores e funções diferentes. Uma SEP pode se destinar a um elemento central das especificações da 5G e outras SEPs podem ser destinadas a elementos menores da tecnologia principal, com relevância técnica e valores econômicos menores (GU et al.,2019, p.23).

Além disso, algumas empresas podem superestimar a quantidade de declarações de SEPs sob seu domínio, uma vez que cada empresa é responsável por tais declarações e não é fácil inferir se suas declarações ou padrões são de fato essenciais ou obrigatórios, pois não existe um órgão oficial responsável por revisar as declarações de SEPs abrindo espaço para exageros em tais declarações e possibilitando que existam declarações com qualidades distintas (GU et al., 2019, p.23). De fato, a definição dos líderes nos desenvolvimentos da tecnologia 5G é feita a partir da análise das contribuições técnicas para esta tecnologia. Com base nos estudos do IPlytics, Gu et al.(2019,p.24) apontam, por exemplo, que as empresas líderes são, respectivamente, a Huawei, a Ericsson, a HISilicon, a Nokia e a Qualcomm. A figura 18, abaixo, apresenta as treze (13) empresas líderes, com as respectivas contribuições técnicas para o desenvolvimento da tecnologia 5G.

Figura 18 – Contribuições técnicas para tecnologia 5G por empresa

Fonte: IPlytics apud GU et al. 2019, p.24

As declarações de patentes feitas pelas empresas acabam sendo incorporadas aos, respectivos, portfólios de patentes de cada uma e isto significa que uma empresa com muitas patentes tem mais chances de obter um maior poder de mercado e uma receita mais elevada com o licenciamento de propriedade intelectual, podendo obter benefícios monetários e vantagens competitivas em relação as outras empresas concorrentes (GU et al.,2019, p.24).

Apesar das contribuições técnicas e as declarações de SEPs não se constituírem em um critério inequívoco para se analisar a corrida pelos desenvolvimentos da tecnologia 5G, elas ainda são vistas como os indicadores mais objetivos e mais importantes. Nas palavras de Gu et al.(2019,p.24): “possuir o maior número de SEPs é definitivamente o fator-chave para estabelecer a liderança no 5G”.

Apesar disto, é válido ressaltar que durante o processo de padronização algumas empresas cedem partes dos seus direitos de propriedade intelectual, com o intuito de contribuir para a formação dos padrões técnicos dentro das organizações

desenvolvedoras de padrões (GU et al.,2019, p.26). Essas organizações permitem que todos os fabricantes tenham acesso aos padrões abertos sob licença dos proprietários dos direitos de propriedade intelectual (GU et al.,2019, p.26).

As empresas disputam a participação em organismos de padronização como o 3GPP, ITU e organismos regionais. Operadoras e fabricantes de equipamentos atuam como membros desses organismos e através de alianças dentro da indústria de comunicações constroem os padrões dos sistemas móveis dentro do 3GPP (GU et al.2019, p.27). O 3GPP é composto por três grupos responsáveis por especificações técnicas. Eles são o grupo de Redes de Acesso via Rádio ou *Radio access networks* (RANs), o grupo de serviços e Sistemas(SA) e o grupo de rede principal e terminais(CT) - que incorpora, por sua vez, 16 grupos de coordenação de projeto(PCG) (idem,p.27).

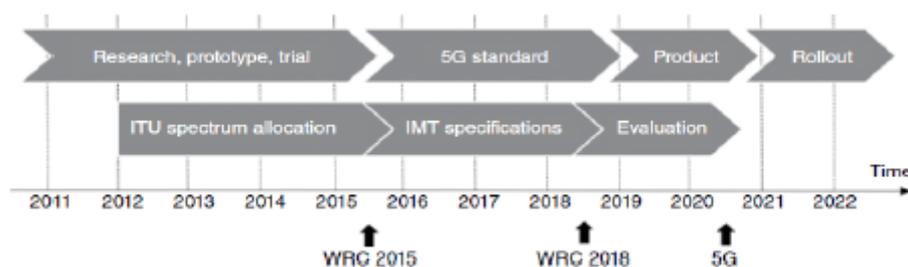
Os participantes do 3GPP possuem interesses distintos e lançam esforços com o intuito de influenciar os rumos das decisões referentes às definições técnicas dos sistemas móveis (GU et al., 2019, p.27). Por isto, alguns países buscam, cada vez mais, ocupar posições de liderança dentro do 3GPP, como uma forma de obter maior poder de influência nos processos de padronização (idem.,p.27).Os membros do 3GPP devem entrar em consenso sobre as especificações técnicas dos sistemas móveis e depois disto esses membros levam suas resoluções com os padrões para o ITU, com a finalidade de obter a aprovação necessária para a construção de um padrão internacional. O ITU também utiliza uma abordagem baseada em consenso nas reuniões e nas conferências de especificações técnicas, e com isso os grupos distintos pertencentes à indústria de comunicações móveis também se esforçam para que os seus próprios padrões e produtos sejam aprovados pela organização internacional (ibidem. p. 28).

Muitas empresas também buscam conquistar posições de liderança dentro do 3GPP e do ITU, como uma forma de controlar recursos centrais referentes aos padrões das tecnologias móveis e de obter maior poder de mercado, influenciando assim os rumos dos desenvolvimentos dessas tecnologias (GU et al.,2019, p.28). Este é o caso da atuação da CCSA - que é uma organização desenvolvedora de padrões chinesa que tem recebido cada vez mais apoio financeiro do governo chinês - dentro do 3GPP, visto que a liderança em organizações desenvolvedoras de padrões pode fortalecer tanto o poder de influência internacional da empresa quanto no próprio país (idem, p.28).

Saghezchi et al. (2015, p.2) afirmam que, aproximadamente, de 10 em 10 anos ocorre uma mudança na geração de redes de comunicações móveis. A rede 4G foi implantada em 2011, já a rede 5G deveria, segundo os autores, ser padronizada e implementada logo no início de 2020. Para entender melhor a linha do tempo dos desenvolvimentos da tecnologia 5G, apresenta-se a seguir, um roteiro elaborado por Saghezchi et al. (2015, p.6).

Na figura 19 abaixo os autores mostram que os desenvolvimentos da tecnologia 5G podem ser divididos em quatro fases. A primeira delas, ocorrida entre 2011 e 2015, consistiu na pesquisa e na prototipagem. A partir desta etapa esperava-se, na fase seguinte, dos participantes das reuniões do WRC (Conferência Mundial de Radiocomunicação), em 2015, um acordo sobre o novo espectro. Na sequência, a ITU (Telecomunicações Móveis Internacionais) teve que “definir os requisitos” e especificações para a padronização necessária (Saghezchi et al. 2015, p.6). Na terceira fase deveria ter ocorrido o desenvolvimento do produto. Segundo os autores, esta etapa começaria em 2019 e terminaria em 2020. Em 2021 começaria a última fase que seria o lançamento e implementação da “primeira onda de redes 5G” (idem, p.6).

Figura 19- Roteiro para 5G



Fonte: Saghezchi et al. 2015, p.6

Como pode ser visto na figura, acima, as atividades de padronização da tecnologia 5G e as especificações do IMT se iniciaram no ano de 2016. Segundo Gu et al. (2019, p.28), essas atividades de padronização tiveram início com o lançamento do *release 15* pela 3GPP e os estágios seguintes da padronização da tecnologia 5G passaram a ser fortemente influenciados pelas disputas de poder e de influência de países e de empresas nos âmbitos do 3GPP e do ITU.

A Qualcomm, que inicialmente possuía papel de destaque, foi perdendo espaço gradualmente para a Huawei, que passou a ter mais poder de influência nos desenvolvimentos dos padrões dos sistemas 5G (GU et al., 2019, p.29). Um exemplo disso foi a defesa feita pela Huawei por mais de uma década para a aprovação de um método de codificação diferente para transmissão de dados nas redes 5G chamado de “códigos polares”, desafiando o método de codificação vigente e desenvolvido pelos EUA chamado de “LDPC” ou verificação de paridade de baixa densidade (GU et al., 2019, p.29). Apesar de empresas importantes como a Samsung, a Nokia e a Intel terem apoiado o método de codificação LDPC, o 3GPP escolheu o método de “códigos polares” como a principal “metodologia de codificação de canal de controle de banda larga aprimorada para especificação do Novo Rádio 5G” (GU et al., 2019, p.29).

Diante deste quadro e sob esse ângulo específico, Gu et al. (2019, p.29) afirmam que a Huawei pode ser vista como a maior contribuinte para os desenvolvimentos da tecnologia 5G, uma vez que esta empresa também acumulou a maior quantidade de pedidos de patentes e investiu fortemente em P&D. Este papel de liderança da Huawei se deve, em boa medida, aos consideráveis subsídios fornecidos pelo governo chinês para diversas empresas chinesas e também ao fato de que o governo chinês busca incentivar suas empresas a ocuparem posições de destaque e influência no processo de definição de padrões em organizações como 3GPP e ITU (GU et al., 2019, p.29). Isto pode ser visto no quadro 8, abaixo, que ilustra a composição dos líderes da plenária do 3GPP para os próximos dois anos.

Quadro 8- Liderança da Plenária do 3GPP para os próximos dois anos

Group	Position	Name	Company	Country
CT	Chairmanship	Lionel Morand	Orange	FR
	Vice Chairmanship	Behrouz Aghili	InterDigital	US
		Ming Ai	CATT	CN
		Johannes Achter	Deutsche Telekom	DE
RAN	Chairmanship	Balazs Bertenyi	Nokia	FI
	Vice Chairmanship	Satoshi Nagata	NTT DOCOMO	JP
		Xiaodong Xu	China Mobile	CN
		Stephen Hayes	Ericsson	SE
SA	Chairmanship	Gerog Mayer	Huawei	CN
	Vice Chairmanship	Yusuke Nakano	KDDI	JP
		LaeYoung Kim	LG Electronics	KR
		Gregory Schumacher	Sprint	US

Fonte: CGS 2019 com base nos dados do 3GPP. Extraído de GU et al. 2019, p.29

Como pode ser visto no quadro acima, a reunião da 83ª Plenária do 3GPP - que elegeu a composição da liderança deste organismo desenvolvedor de padrões para tecnologia 5G para os próximos dois anos - conta com pelo menos uma empresa chinesa em cada um dos grupos de especificações do 3GPP: CATT no grupo CT, China Mobile no grupo RAN e Huawei no grupo SA (GU et al.2019, p.29-30). As empresas chinesas tornaram-se algumas das principais fornecedoras das “cadeias de suprimentos globalizadas de infraestrutura de telecomunicações”, enquanto as empresas norte-americanas perderam posições de destaque. O próprio cargo de presidente do grupo SA do 3GPP foi objeto de disputa entre Georg Mayer da Huawei e Eddy Hall da Qualcomm (Gu et al.,2019,p.30). Os eleitores do 3GPP consideraram as capacidades e as potenciais contribuições das empresas por trás desses candidatos e elegeram George Mayer, da Huawei, para o cargo de presidente do referido grupo do 3GPP (ibidem.,p.30).

Os resultados das eleições para estes grupos do 3GPP (CT,RAN e SA) indicam as potenciais influências destas empresas, durante o período de dois anos, para as especificações técnicas e definições dos padrões 5G presentes no *release* 16 do 3GPP. A ITU também tem como um dos seus líderes um representante do governo chinês, Houlin Zhao, atuando como Secretário-Geral (GU et al.,2019,p.30). Houlin Zhao foi eleito em 2014 e reeleito em 2018. Como tanto a ITU quanto o 3GPP trabalham com base na abordagem de formação de consenso a maior presença e liderança de membros de países específicos “podem certamente influenciar a tomada de decisão das especificações técnicas” (GU et al.,2019,p.30).

Gu et al. (2019, p.30) ressaltam que as disputas em torno da padronização da tecnologia 5G reforçaram as tensões entre os EUA e a China. Neste sentido, a própria prisão da diretora financeira da Huawei em dezembro de 2018, pelo Canadá, pode ser vista como fruto destas disputas, uma vez que o que está em jogo é o futuro dos padrões de comunicações móveis e, conseqüentemente, a própria liderança de mercado no setor de comunicações móveis.

A China já não quer mais aceitar passivamente os padrões de sistemas móveis elaborados pelas empresas do ocidente e os EUA, não apenas na gestão Trump, tentam impedir o avanço da China no setor de comunicações móveis, especialmente da Huawei

(GU et al.,2019, p.30). A disputa por padrões dos sistemas 5G, de acordo com Gu et al.(2019, p.30), não é algo momentâneo, mas sim fruto de um prolongado jogo geopolítico que pode ser enquadrado como uma “guerra fria tecnológica” com EUA e China no centro da disputa e com os países europeus também tentando influir deste importante jogo econômico e estratégico.

Como se sabe, a União Europeia está empenhada em influenciar o futuro das redes de comunicações móveis 5G e/ou das redes futuras. A Ericsson - que é uma das mais importantes empresas de comunicações móveis do mundo – foi a empresa europeia responsável pelo desenvolvimento do “primeiro portfólio global de 5G” e pelas contribuições iniciais para os padrões 5G - sendo estes vistos pela Comissão Europeia “como uma das cinco áreas prioritárias no âmbito da iniciativa de Digitalização da Indústria Europeia” (GU et al.,2019,p.30).

Isto denota a relevância da tecnologia 5G para Indústria 4.0 e explicita o caráter estratégico dessa tecnologia, posto que a Indústria 4.0 necessitará de uma infraestrutura de conectividade avançada para se desenvolver em toda sua plenitude e potencialidade. Além disso, Gu et al. (2019, p.31) chamam atenção para o fato de que apesar das empresas chinesas terem se destacado nos desenvolvimentos dos padrões para as redes 5G, isto não significa, necessariamente, que os padrões chineses serão automaticamente aceitos pelos outros países. Ainda que os padrões 5G tendam a ser internacionais, o que determina a aceitação dos mesmos é, em boa medida, o quão aberto e atraente estes padrões são para os usuários finais (GU et al.,2019, p.31).

3.4 - Iniciativas globais e estratégias para o desenvolvimento da tecnologia 5G

Europa. O desenvolvimento da tecnologia 5G é visto como uma oportunidade para a Europa impulsionar a economia e fortalecer a competitividade da indústria, inclusive gerando novos empregos (Saghezchi et. al, 2015, p.11). Por isto, a busca pela liderança em tais desenvolvimentos têm sido tratada como de elevada importância para União Europeia. Saghezchi et al (2015, p.11) apontam que: “no conjunto, o setor de TICs representa aproximadamente 5% do PIB da União Europeia. Ele gera 25% do gasto total

das empresas em P&D e os investimentos em TICs representam 50% de todo o crescimento da produtividade na Europa”.

Logo, manter o protagonismo no desenvolvimento da tecnologia 5G poderá contribuir para liderança da Europa no setor de comunicações móveis (ibidem.p.11). Porém, a China e a Coreia do Sul têm desafiado as ambições europeias.

A principal iniciativa europeia para os desenvolvimentos da tecnologia 5G é chamada de “*Horizon 2020 Framework Programme*”. Esta iniciativa visa fornecer instrumentos financeiros com o intuito de coordenar e subsidiar as pesquisas e inovações europeias voltadas para tais desenvolvimentos (Saghezchi et. al,2015, p.11). Este programa tem um financiamento de aproximadamente 80 bilhões de euros e é composto por diversos projetos/âmbitos que buscam contribuir para os desenvolvimentos da tecnologia 5G em âmbito europeu (Saghezchi et. al,2015, p.11).

A “*5G infrastructure PPP*” é uma parceria público-privada que elabora as prioridades de pesquisa e inovação do *Horizon 2020*, visando sinalizar os principais caminhos para construção da próxima geração de infraestrutura em comunicações móveis (Saghezchi et. al,2015, p.12). Tal parceria reúne diversos interessados, desde indústrias e operadoras até órgãos de regulamentação e a academia (Saghezchi et. al,2015, p.12). Esta parceria possui mais de 800 empresas e instituições conveniadas que atuam na definição estratégica da P&D e, também, conta com a Comissão Europeia que representa o lado público e cuida da implementação das estratégias sugeridas pelos parceiros privados (ibidem.,p.12).

O *Mobile and Wireless Communications Enablers for Twenty-Twenty Information Society, METIS*, consiste no principal projeto vinculado ao *Horizon 2020*. Este projeto tem o intuito de fornecer um conceito de sistema 5G, buscando um amplo consenso sobre os sistemas de comunicações móveis e sem fio (Saghezchi et. al,2015, p.13). Segundo Saghezchi et al (2015,p.14), tal conceito sugere que o sistema 5G deve suportar:

- Capacidade de área 1000 vezes maior.
- Número de 10 a 100 vezes mais alto de dispositivos conectados.

- Taxa de dados típica de usuário de 10 a 100 vezes mais alta.
- Bateria 10 vezes maior para comunicações tipo máquina de baixa potência.
- Latência ponta a ponta reduzida em 5x em comparação com o LTE-A.

América do Norte. Nos EUA e no Canadá as indústrias e universidades trabalham conjuntamente para analisar as potenciais tecnologias (Saghezchi et al., p.15). As pesquisas referentes a 5G nos EUA recebem financiamentos provenientes de setores públicos como a National Science Foundation (NSF) e a Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (DARPA), mas as pesquisas dentro das universidades possuem projetos que atendem interesses próprios (Saghezchi et al., p.15).

Segundo Gu et al. (2019, p.11), a estratégia dos EUA para a 5G considera como crucial a liderança na tecnologia *wireless*. Por isto, este país construiu um plano para o espectro sustentável que envolve a promoção de políticas voltadas para a expansão do espectro existente, enfatizando a atuação dos empreendedores e dos pesquisadores. De acordo com esses autores, nos EUA, o setor privado desempenha um papel primordial para a estratégia 5G. Pelo fato dos EUA terem conquistado uma boa performance na 4G, este país tende a concentrar seus esforços na extensão acelerada do espectro como principal estratégia na corrida pela 5G (idem., p.11).

A Qualcomm tem desenvolvido consideráveis pesquisas direcionadas ao aperfeiçoamento dos sistemas móveis e tem lançado contribuições para o 3GPP, tais como D2D e ProSe (*Proximity Services*) (Saghezchi et al., p.15). Já a Intel tem desenvolvido pesquisas com o intuito de explorar o *mmWave wireless* para redes móveis (idem, p.15).

Ásia. Os principais países da região asiática que atuam no desenvolvimento da tecnologia 5G são a China, a Coreia do Sul e o Japão.

China. O Ministério da indústria e Tecnologia (MIIT) e outras instituições do governo chinês como o Ministério da Ciência e Tecnologia (MOST) e a Comissão de Reforma e Desenvolvimento Nacional (NDRC) contribuíram para formação do IMT-2020. Este grupo de promoção busca “promover padrões globais de 5G através de parcerias indústria-academia e cooperação internacional” (Saghezchi et al., p.16).

Gu et al. (2019, p.9-10) apontam que a estratégia chinesa para a 5G tem como base elevados investimentos públicos combinados com o lançamento de frequências por parte das três maiores operadoras de rede móvel do país. Além disto, segundo os autores, a China tem construído uma considerável infraestrutura para 5G, com um conjunto de torres que podem proporcionar uma importante vantagem competitiva (idem., p.9-10). Nas palavras dos autores: a “5G é crucial para a estratégia tecnológica e de inovação de Pequim” (ibidem., p.10). Esta estratégia chinesa para a 5G vai ao encontro do plano Made in China 2025, visto que as tecnologias de informação e comunicações estão dentre os dez setores estratégicos considerados por este plano (ibidem., p.10).

Coreia do Sul. Segundo Osseiran et al (2016, p.14), o Forum 5G da Coreia do Sul consiste em um programa de parceria público-privada criado em 2013 que tem como objetivos principais “desenvolver e propor uma estratégia nacional para o 5G e para planejar uma estratégia de inovação tecnológica”. Fazem parte desse programa membros como a SK Telecom, a KT, a LG-Ericsson e a Samsung (idem., p.14).

Japão. Em 2013 foram inaugurados no Japão os grupos ARIB 2020 e Beyond Ad Hoc com a finalidade de desenvolver pesquisas sobre os sistemas de comunicações móveis (Osseiran et al.,2016, p.14). Além disto, foi criado um subcomitê, em 2013, sob o âmbito do Comitê de Estudo de Comunicações Sem Fio Avançadas (ADWICS) que pertence ao grupo de estudos ARIB (idem., p.14). Estes grupos buscam “estudar conceitos de sistema, funções básicas e distribuição de arquitetura de comunicações móveis em 2020 e além” (ibidem., p.14). Através dos resultados destes estudos, os grupos supra referidos tentarão lançar contribuições para o ITU e outras organizações desenvolvedoras de padrões (ibidem, p.14).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os temas deste presente estudo, Indústria 4.0 e redes comunicações móveis 5G, reforçam a relevância de uma abordagem evolucionária para entender e explicar a dinâmica do sistema capitalista. A abordagem da ortodoxia neoclássica, pelo menos nos estudos mais avançados e contemporâneos, tem apresentado maiores preocupações sobre a capacidade de se explicar as mudanças que ocorrem em tal sistema. No entanto, essa abordagem ainda possui um âmbito de explicação sobre as mudanças econômicas limitado por seus pressupostos de maximização, de racionalidade substantiva e de alguma noção de equilíbrio. Por isto, a abordagem evolucionária neo-schumpeteriana, ao considerar a centralidade das inovações para a dinâmica evolutiva do sistema capitalista, tem demonstrado ser uma abordagem mais adequada e mais robusta para se analisar as imensas transformações que atravessam a economia e a sociedade global contemporânea.

Diante disto, não é possível ignorar o papel que as inovações assumem na conformação da Indústria 4.0. Esta corresponde à mais recente e importante mudança tecnológica que atravessa o mundo contemporâneo e, como enfatizado por alguns estudiosos, não é fruto do acaso, mas sim de prolongados esforços inovativos e desenvolvimentos incrementais que ocorreram ao longo de décadas até chegar ao estágio atual. Ou seja, o surgimento da Indústria 4.0 é fruto de um processo evolucionário que contou com a participação e as interações competitivas de empresas e países que ao acumularem conhecimentos através de diversas tentativas e experiências ao longo dos anos engendraram o atual estágio de mudança tecnológica cristalizado no conceito de Indústria 4.0.

Este conceito ainda está sendo desenvolvido, pois as bases da Indústria 4.0 ainda estão sendo construídas. Todavia, a partir da revisão da literatura sobre o tema é possível inferir que a Indústria 4.0 está vinculada ao surgimento da fábrica inteligente e é constituída por um conjunto de tecnologias emergentes ou inovações tecnológicas que poderão contribuir para o aprimoramento das operações e processos industriais, fundindo os domínios físico, digital e biológico.

Existe uma certa divergência entre os estudiosos da Indústria 4.0 sobre quais são as tecnologias essenciais da Indústria 4.0. Um grupo de estudiosos defendem que dentre as tecnologias essenciais da Indústria 4.0 estão os sistemas ciber-físicos (CPS), Computação em nuvem, Internet das coisas (IoT), Internet dos serviços (IoS), Impressão 3D, Big data analytics, Inteligência Artificial, Colheita de energia, Realidade aumentada. Outros estudiosos defendem que entre as tecnologias essenciais da Indústria 4.0 estão a robótica autônoma, a simulação computacional, a integração de sistemas, cibersegurança, a realidade aumentada, a Internet das coisas (IoT), o Big Data, a Impressão 3D e a computação em nuvem. Estes mesmo estudiosos defendem que algumas tecnologias formam megatendências capazes de impulsionar e ampliar os horizontes de atuação da Indústria 4.0, e dentre os impulsionadores tecnológicos da Indústria 4.0 estão os veículos autônomos, a manufatura aditiva, a robótica avançada, a nanotecnologia e os novos materiais, a inteligência artificial, o big data, a IoT e a biotecnologia. Existem ainda alguns estudiosos que defendem a abordagem dos elementos formadores da Indústria 4.0 que é dividida em três partes: elementos fundamentais que são compostos pela IoT, IoS e pelos Sistemas Ciber-físicos(CPS); elementos estruturantes que são compostos pela Automação, Comunicação máquina a máquina (M2M), Inteligência artificial, Análise de Big Data, Computação em nuvem, Integração de sistemas, Segurança Cibernética, Elementos complementares que são compostos pelas Etiquetas RFID, QR code, Realidade aumentada, Realidade Virtual e Manufatura aditiva.

A centralidade da inovação pode ser percebida pelo papel que as referidas tecnologias emergentes ou inovações tecnológicas exercem na formação do conceito de Indústria 4.0. Tal centralidade também pode ser percebida pelo papel que empresas, através das declarações e pedidos de patentes, exercem no processo de padronização das redes de comunicações móveis. Os padrões da tecnologia 5G são constituídos por inovações tecnológicas desenvolvidas por empresas do setor, que protegem essas inovações através de patentes. Em suma, os desenvolvimentos da tecnologia 5G são determinados pelos desenvolvimentos dos padrões, e estes são gerados com base nas contribuições técnicas lançadas pelas empresas do setor e chamadas de Patentes com Padrões Essenciais (SEPs). As empresas detentoras dos direitos de propriedade intelectual referentes às SEPs garantem royalties e lucros provenientes do licenciamento das suas tecnologias. As empresas que mais se destacaram com as declarações de patentes e

contribuições técnicas para o 5G no ano de 2019 foram a Huawei, Ericsson, HiSilicon, Nokia e Qualcomm. A China é o país que possui mais empresas ocupando papel de destaque com as declarações de SEPs. De fato, as declarações de SEPs, segundo GU et al. (2019), não constituem a melhor forma de se analisar os desenvolvimentos da tecnologia 5G, mas ainda são consideradas como os principais indicadores para liderança em tais desenvolvimentos. Tudo isso denota a atuação ativa das empresas do setor de comunicações móveis e também que elas utilizam as inovações como arma principal no processo de concorrência. A concorrência no setor de comunicações móveis é de fato uma concorrência por inovações como defendido por Schumpeter e pelos teóricos neo-schumpeterianos.

No que tange ao vínculo entre a Indústria 4.0 e as redes comunicações móveis 5G, não foi possível identificar que exista uma relação direta entre a tecnologia 5G e todas as tecnologias que compõem tal Indústria; há uma relação direta apenas com algumas destas tecnologias. As redes comunicações móveis 5G de fato fornecerão uma infraestrutura de conectividade mais potente, mais flexível, mais ampla e mais veloz que contribuirá para plena efetivação do conceito de fábrica inteligente, que é composto principalmente pela IoT, IoS e pelos Sistemas Ciber-Físicos (CPS).

A tendência de crescimento exponencial do tráfego de dados, do crescente número de dispositivos conectados e do número gigantesco de potenciais novos assinantes poderá comprometer o bom funcionamento das redes comunicações móveis. Por isso, a tecnologia 5G promete fornecer melhores níveis de conectividade e cobertura aprimorada superando, assim, os limites enfrentados pelas redes de comunicações móveis atuais (HANSEN,2017). Essa promessa de superação é vista com grandes expectativas pelos membros de diversos ramos de atividade produtiva e também é levada em consideração para implementação do conceito de fábrica inteligente.

Além disso, a tecnologia 5G tende a se tornar uma *General Purpose Technology* (GPT), uma vez que o conceito de sistema 5G amplia os horizontes das comunicações móveis. Com o 5G as comunicações móveis deixaram de ser centradas apenas entre comunicações entre seres humanos e passarão a ser centradas também nas comunicações entre coisas, objetos e máquinas que possuam capacidade de processamento de informações e conexão com a internet. Isso permite que o 5G

conquiste alguns dos requisitos para se transformar em um GPT, tais como os vários usos possíveis para tecnologia 5G, uma considerável complementariedade com algumas tecnologias emergentes de Indústria 4.0 e aplicações em diversos ramos de atividades socioeconômicas, como fábrica inteligente e *smart cities*.

O 5G tem uma forte relação com as seguintes tecnologias da Indústria 4.0: automação industrial, realidade aumentada, realidade virtual, veículos autônomos, computação em nuvem, M2M e IoT. A automação industrial é um dos casos de uso da tecnologia 5G, e esta tecnologia promete fornecer a comunicação a distância requerida para que os processos de automação ocorram com mais velocidade e mais segurança. A realidade virtual e a realidade aumentada também constituem casos de uso da tecnologia 5G, e esta tecnologia promete fornecer a infraestrutura de rede necessária para que tais aplicações consigam executar os dispositivos e sensores para troca de informações dentro do tempo previsto. Os veículos autônomos também compõem um dos casos de uso da tecnologia 5G, e esta tecnologia promete fornecer a infraestrutura de conectividade necessárias para que os veículos se comuniquem entre si. O serviço de banda larga móvel extrema baseada no 5G contribuirá para que os requisitos de utilização da realidade aumentada, da realidade virtual e da computação em nuvem sejam atendidos. Já o serviço de comunicação massiva do tipo máquina baseado no 5G permitirá que as comunicações do tipo máquina a máquina (M2M) sejam aplicadas na linha de produção de uma fábrica inteligente, possibilitando que sensores e atuadores inseridos em tal linha de produção controlem e monitorem os processos e operações de manufatura.

De todas as tecnologias da Indústria 4.0, a IoT é a tecnologia que possui mais vínculos com o 5G, pois desde os desenvolvimentos elementares e da padronização do 5G são levadas em consideração aplicações para IoT. Além disto, os principais casos de uso da tecnologia 5G são pensados para serem aplicados em conjunto com a IoT. Como apontam Dahalman et al. (2021), a Internet das coisas é o principal foco do release 16, que ainda está sendo desenvolvido pelo 3GPP. Nesse release são considerados aperfeiçoamentos de latência e confiabilidade visando possibilitar uma maior variedade de casos de uso do IoT em conjunto com o 5G (DAHALMAN et al., 2021). Ou seja, o processo de padronização do 5G possui um release específico cujo principal foco é a IoT industrial por meio da qual poderão surgir ainda mais casos de uso para automação

industrial. Enfim, o futuro da indústria será marcado pela fusão de entre as tecnologias dos domínios físico, digital e biológico. E tal fusão terá como base para sua efetivação as complementariedades entre o 5G e o IoT.

REFERÊNCIAS:

AGUIAR, F. “Impactos econômicos, legais e sociais da Quarta Revolução Industrial”. In: QUINTINO, L., SILVEIRA, A., AGUIAR, F., RUWER, L., QUADROS, M. Indústria 4.0. Porto Alegre: SAGAH, 2019.

ANDREONI, A.; CHANG, H; LABRUNIE, M. *Natura Non Facit Saltus: Challenges and Opportunities for Digital Industrialisation Across Developing Countries*. The European Journal of Development Research, 2021.

ALBUQUERQUE, E. *Revoluções tecnológicas e general purpose technologies: mudança técnica, dinâmica e transformações do capitalismo*. In: RAPINI, M.; RUFFONI, J.; SILVA, L.; ALBUQUERQUE, E. (Eds.). *Economia da ciência, tecnologia e inovação: Fundamentos teóricos e a economia global*. - 2.ed. Belo Horizonte: FACE-UFMG, 2021

BRESNAHAN, T. *General purpose Technologies*. In HALL, B.; ROSENBERG, N. (Eds.). *Handbook of the Economics of Innovation*, Vol. 2. Amsterdam: Elsevier, 2010

CAMPBELL, K.; CRUZ, L.; FLANAGAN, B.; MORELLI, B.; O'NEIL, B.; TÉRAL, S.; WATSON, J. *The 5G Economy: How 5G will contribute to the global economy*. IHS Markit. 2019.

DAHLMAN, E.; PARKVALL, S.; SKÖLD, J. *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology*. Segunda edição. Academic Press, Elsevier. 2021

DANO, M. *Light Reading: Huawei's Share of the Global Telecom Market Keeps Growing*, 2019. Disponível : www.lightreading.com/market-research/huaweis-share-of-the-global-telecom-market-keeps-growing/d/d-id/753768? .Acessado em mai de 2021

DANTAS, A.; KERTSNETZKY, J.; PROCHNIK, V. *Empresa, Indústria e Mercados*. In: Kupfer, D & Hasenclever, L. *Economia Industrial: Fundamentos Teóricos e Práticas no Brasil*. 2.ed. Campus, Elsevier, 2012.

DIEGUES, A., ROSELINO, J. Política Industrial e Indústria 4.0: a retomada do debate em um cenário de transformações no paradigma tecnoprodutivo. Revista Brasileira de Inovação,2020.

DOSI, G. (1984) Mudança técnica e transformação industrial. Coleção Clássicos da Inovação.Campinas-SP:Ed.Unicamp,2006.

ESTIVALETE, P.; REATEGUI, E. Percepção de estudantes cegos sobre características geométricas 3D utilizando sistemas hápticos. Cinted-UFRGS, Novas tecnologias na Educação. RENOTE. V. 17 N° 1, julho, 2019.

FURTADO, J., PINHEIRO, H., URIAS, E., MUÑOZ, D. Indústria 4.0: A Quarta Revolução Industrial e os Desafios para o Brasil .In: Almeida, J. e Cagnin, R. A indústria do futuro no Brasil e no Mundo. IEDI, março,2019.

GIL, G. Cérebro eletrônico.1969.

GRASSI, R. Concorrência Schumpeteriana e capacitações dinâmicas: Explicando os elos teóricos. Revista Brasileira de Economia de Empresas.2005.

GU,X.;HEIDBRINK,C.;HUANG,Y.;NOCK,P.;OHNESORGE,H.;PUSTOVITOVSKIJ, A. Geopolitics and the global race for 5G. The Center for Global Studies (CGS),University of Bonn.2019.

HANSEN, J. 5G and its Economic Aspects: Literature Review and selection of a connection portfolio under risk. Thesis.Norwegian University of Science and Technology.2017.

HOUAISS, A. Dicionário Houaiss da lingua portuguesa.1 ed.Rio de janeiro: Objetiva,2009

IEDI. “Estratégia industrial é regra e não exceção no mundo, segundo a UNCTAD”. In : A indústria do futuro no Brasil e no mundo. Organizadores: ALMEIDA, J. e CAGNIN, R. Março de 2019^a

IEDI. “Ações para se adequar à Era Digital”. In: A indústria do futuro no Brasil e no mundo. Organizadores: ALMEIDA, J. e CAGNIN, R. Março de 2019b.

ISTO É DINHEIRO, Brasil é pivô na guerra do 5G. 2019. Disponível em <https://www.istoedinheiro.com.br/brasil-e-pivo-na-guerra-do-5g/>. Acessado em mai de 2021

ITU- International Telecommunication Union. Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenge.2018

KUPFER, D. Indústria 4.0 Brasil. Valor Econômico. 2016. Disponível em: <https://valor.globo.com/opiniao/coluna/industria-4-0-brasil.ghtml> . Acesso em:13 de ago. 2021

LABRUNIE, M.; PENNA, C.; KUPFER, D. The resurgence of industrial policies in the age of advanced manufacturing: an international comparison of industrial policy documents. Revista Brasileira de Inovação, Campinas (SP), 19, p. 1-39, 2020.

MARSILI, O. The anatomy and evolution of industries: technological change and industrial dynamics. Cheltenham: Edward Elgar.2001.

MORAES, E.; SÁTYRO, W. Elementos estruturantes da indústria 4.0.In: SACOMANO, J., GONÇALVES, R., SILVA, M., BONILLA, S., SÁTYRO, W. [Organizadores]. Indústria 4.0: Conceitos e fundamentos. São Paulo: Blucher,2018

NELSON, R. & WINTER, S (1982). Uma Teoria Evolucionária da Mudança Econômica. Coleção Clássicos da Inovação.Campinas-SP; Ed.Unicamp,2005.

NERIS et al. Trajetórias tecnológicas da indústria de telefonia móvel: um exame prospectivo de tecnologias emergentes. *Economia e Sociedade*, Campinas, v.23, n.2(51), p.395-431, ago.2014.

NOGUEIRA, R. 5G e IoT-Tendências e aplicações. Conhecendo os principais casos de uso do 5G e IoT. Fundação Instituto Nacional de Telecomunicações-Finatel. Inatel online.2018.

NOGUEIRA,R.;OLIVEIRA,F.;SAMPAIO,V. 5G e IOT:Tendências e aplicações. Módulo 1-Introdução ao 5G. Fundação Instituto Nacional de Telecomunicações-Finatel. Inatel online.2018.

OCDE. The Road to 5G Networks: experience to date and future developments.OECD Digital economy papers,no.284.2019

OSSEIRAN, A.; MONSERRAT, J.; MARSCH, P.; QUESETH,O. Introduction. In: OSSEIRAN, A.; MONSERRAT, J.; MARSCH, P. 5G Mobile and Wireless Communications Technology. New York: Cambridge University Press, 2016.

PEREIRA, M. O setor de internet no Brasil: uma análise da competição no mercado de acesso. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2014.

PETRONI, B; JÚNIOR, I; GONÇALVES, R. Sistemas Ciber Físicos. In: SACOMANO, J., GONÇALVES, R., SILVA, M., BONILLA, S., SÁTYRO, W. [Organizadores]. Indústria 4.0: Conceitos e fundamentos. São Paulo: Blucher,2018.

POSSAS, M. Economia evolucionária neo-schumpeteriana: elementos para uma integração micro-macrodinâmica. *Estudos Avançados*,2008.

POSSAS, M. Concorrência Schumpeteriana. In: Kupfer,D & Hasenclever,L. *Economia Industrial: Fundamentos Teóricos e Práticas no Brasil*.2.ed.Campus,Elsevier,2012.

POSSAS, S. Concorrência e Competitividade. Notas sobre estratégia e dinâmica seletiva na economia capitalista. Tese de Doutorado. Campinas: IE/UNICAMP,1999

POSSAS, S. Notas acerca da lógica de decisão e expansão da firma capitalista. Texto para Discussão n.52.Campinas:IE/UNICAMP.1995.

POSSAS, S. Concorrência e Inovação. In: PELAEZ, V.; SZMRECSÁNYI, T. Economia da Inovação Tecnológica. Editora HUCITEC, São Paulo,2006.

QUINTINO, L. “Indústria 4.0: histórico e conceitos”. In: QUINTINO, L., SILVEIRA, A., AGUIAR, F., RUWER, L., QUADROS, M. Indústria 4.0. Porto Alegre: SAGAH, 2019a.

QUINTINO, L. “Impulsionadores da Indústria 4.0: categoria física”. In: QUINTINO, L., SILVEIRA, A., AGUIAR, F., RUWER, L., QUADROS, M. Indústria 4.0. Porto Alegre: SAGAH, 2019b.

QUINTINO, L. “Impulsionadores da Indústria 4.0: categoria digital”. In: QUINTINO, L., SILVEIRA, A., AGUIAR, F., RUWER, L., QUADROS, M. Indústria 4.0. Porto Alegre: SAGAH, 2019c.

QUINTINO, L. “Impulsionadores da Indústria 4.0: categoria biológica”. In: QUINTINO, L., SILVEIRA, A., AGUIAR, F., RUWER, L., QUADROS, M. Indústria 4.0. Porto Alegre: SAGAH, 2019d.

REIS, D. Gestão da inovação tecnológica .2. ed-Barueri, SP:Manole,2008.

REIS, J.; GONÇALVES, R.; SILVA, M.; SÁTYRO, W. Internet de serviços.In: SACOMANO, J., GONÇALVES, R., SILVA, M., BONILLA, S., SÁTYRO, W. [Organizadores]. Indústria 4.0: Conceitos e fundamentos. São Paulo: Blucher,2018.

SACOMANO, J.; GONÇALVES, R.; SÁTYRO, W. Internet das coisas (IOT).In: SACOMANO, J., GONÇALVES, R., SILVA, M., BONILLA, S., SÁTYRO, W. [Organizadores]. Indústria 4.0: Conceitos e fundamentos. São Paulo: Blucher,2018.

SACOMANO, J., SÁTYRO, W. Introdução. IN: SACOMANO, J., GONÇALVES, R., SILVA, M., BONILLA, S., SÁTYRO, W. [Organizadores]. Indústria 4.0: Conceitos e fundamentos. São Paulo: Blucher, 2018a.

SACOMANO, J., SÁTYRO, W. “Indústria 4.0: Conceitos e elementos formadores”. IN: SACOMANO, J., GONÇALVES, R., SILVA, M., BONILLA, S., SÁTYRO, W. [Organizadores]. Indústria 4.0: Conceitos e fundamentos. São Paulo: Blucher, 2018b.

SAGHEZCHI et al. Drivers for 5G: The ‘Pervasive Connected World’ In: Fundamentals of 5G Mobile Networks. 2015.

SAMPAIO, V. Tecnologia celular 4G LTE: Conhecendo o 4G. Fundação Instituto Nacional de Telecomunicações-Finatel. Inatel online. 2018.

SAMPAIO, V. Conhecendo 4G-Vídeo 2- Evolução dos sistemas móveis. 2019. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=r05tfRCBKb4>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

SCHUMPETER, J. (1943) Capitalismo, Socialismo e Democracia. Tradução de Luiz Antônio Oliveira de Araújo. São Paulo: Editora da Unesp, 2017.

SCHWAB, K. A quarta Revolução Industrial; tradução Daniel Moreira Miranda. - São Paulo: Edipro, 2016.

SILVA, A. Concorrência sob condições oligopolísticas. Contribuições das análises centradas no grau de atomização/concentração dos mercados. 2.ed.rev. - Campinas, SP: Unicamp. IE, 2010. (Coleção Teses).

TIGRE, P. Gestão da inovação: a economia da tecnologia no Brasil. Ed.-Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

TULLBERG, H.; FALLGREN, M.; KUSUME, K.; HÖGLUN, A. 5G use cases and system concept. In: OSSEIRAN, A.; MONSERRAT, J.; MARSCH, P. 5G Mobile and Wireless Communications Technology. New York: Cambridge University Press, 2016.

WORLD ECONOMIC FORUM. The Impact of 5G: Creating New Value across Industries and Society.2020