

	CAPÍTULO 6
Título do capítulo	INTERNET DAS COISAS (IOT), TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E INDÚSTRIA 4.0
Autor(es)	Robert Spadiner
DOI	DOI: http://dx.doi.org/10.38116/9786556350660cap6

Título do livro	Digitalização e tecnologias da informação e comunicação: oportunidades e desafios para o Brasil
Organizadores(as)	Luis Claudio Kubota
Volume	1
Série	-
Cidade	Rio de Janeiro
Editora	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)
Ano	2024
Edição	1a
ISBN	9786556350660
DOI	DOI: http://dx.doi.org/10.38116/9786556350660

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – ipea 2024

© Nações Unidas 2024

LC/BRS/TS.2024/1

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos). Acesse: <https://repositorio.ipea.gov.br/> e <https://www.cepal.org/es/publications>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento e Orçamento e da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) ou as dos países que representa.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas. Os Estados-membros das Nações Unidas e suas instituições governamentais podem reproduzir este estudo sem autorização prévia. É solicitado, apenas, que mencionem a fonte e informem à CEPAL sobre essa reprodução.

Este estudo foi elaborado no âmbito do Programa Executivo de Cooperação entre a CEPAL e o Ipea.

Os limites e nomes mostrados nos mapas incluídos neste documento não implicam o seu endosso oficial ou aceitação pelas Nações Unidas.

CAPÍTULO 6

INTERNET DAS COISAS (IOT), TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E INDÚSTRIA 4.0¹

Robert Spadinger²

1 SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS DOS SERVIÇOS E TECNOLOGIAS ASSOCIADAS AO 5G NA EUROPA: INTERNET DAS COISAS (IOT), INDÚSTRIA 4.0

1.1 *Machine to machine* (M2M) até internet das coisas (*internet of things* – IoT)

A história de sistemas M2M começou ainda no século XIX, com mecanismos introduzidos com propósitos militares por meio de cabos e posteriormente com o uso do rádio. A tecnologia evoluiu constantemente até tornar-se mais recentemente um jargão bastante conhecido, com o surgimento da telefonia móvel *global system for mobile communications* (GSM), na década de 1990. Isso particularmente aconteceu com a chegada do 3G, que iniciava a internet sem fio. Falava-se na ocasião em uma nova fronteira, na qual todo tipo de *coisas* estaria se conectando: negócios; serviços; aparelhos domésticos; estradas; automóveis; casas; indústrias; escolas; e até mesmo governos. Nos dias de hoje, em todos esses ramos ou verticais, conhecemos aplicações que, de uma forma ou outra, realizam M2M.

As tecnologias entre máquinas basicamente se desenvolveram em cima de seis pilares, que se confundem e se combinam de alguma maneira: sensores *radio frequency identification* (RFID); telemática; telemetria; rede de sensores; aparelhos inteligentes; e monitoramento remoto.

Os RFIDs são uma combinação de transmissores e receptores, passivos ou não, que precisam ou não de acesso a fontes de energia para enviar ou receber alguma informação, código ou identificação, com o objetivo de rastrear o movimento próximo a um receptor de sinais. São usados, por exemplo, em fábricas, identificando produtos, que, ao entrarem na empresa, automaticamente atualizam o estoque; em fazendas de gado, nas quais o alimento é distribuído aos animais quando estes passam por uma porteira; ou até mesmo na cobrança automática

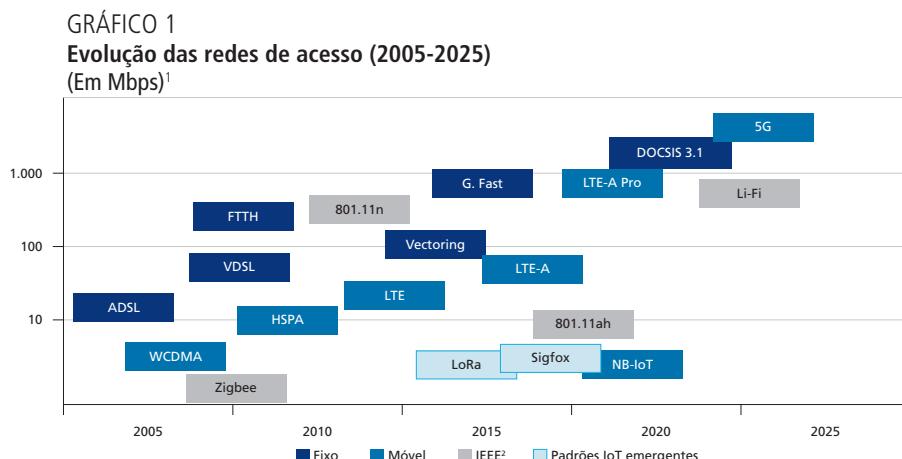
1. Trabalho apresentado ao Programa Executivo de Cooperação entre a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Este capítulo do livro é complementar à *Nota Técnica* nº 79, *Implementação da Tecnologia 5G no Contexto da Transformação Digital e Indústria 4.0*, publicada pelo mesmo instituto.

2. Consultor sênior de telecomunicações na Capgemini; e consultor do Programa de Cooperação entre a CEPAL e o Ipea.

de pedágio em autoestradas. O termo *telemática* está comumente associado ao monitoramento de frotas, em que a localização, os serviços de segurança e a navegação se comunicam em veículos com o mundo exterior, seja por tecnologias celulares ou satelitais. Telemetria é similar e talvez mais abrangente: significa o rastreamento e a atuação remota de qualquer coisa que se deseja monitorar, automática ou não, seja um animal selvagem em uma floresta, o desgaste de um carro de Fórmula 1 em tempo real, uma câmera de segurança, processos em uma planta industrial ou um *drone* controlado a distância.

O capítulo mais recente dessa evolução chama-se IoT. Os princípios de conectividade são similares, mas a tecnologia evoluiu; ou melhor, as tecnologias evoluíram. Se, no início, havia sensores medindo alguma variável e a enviando a determinada central para a tomada de decisões ou mero armazenamento de dados, nos dias de hoje, com o auxílio da computação em nuvem (*cloud computing*), passamos a falar em soluções complexas, completas, automáticas e realmente funcionais. O setor transformou-se de tal forma que há um ecossistema específico para esse mercado, com operadoras e fornecedores concentrados nesse ramo de atuação.

O gráfico 1 e o quadro 1 mostram a evolução tecnológica das redes de acesso e de algumas tecnologias IoT utilizadas atualmente, cada qual com vantagens e desvantagens. É importante notar que a maioria destas é constituída de padrões próprios de tecnologias, que não são muito conhecidas pelo público em geral.



Fonte: EY (2017).

Notas: ¹ Megabits por segundo.

² Especificações de internet sem fio criadas pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE).

QUADRO 1
Alguns padrões de IoT utilizados atualmente, com objetivos específicos (LPWAN)¹

	 sigfox	 LoRa	 LinkLabs	 InGENU	 WEI	 HIGHLESS	 IoT Celular
Características principais	<ul style="list-style-type: none"> Grande cobertura na Europa Envia pequenas e infreqüentes quantidades de dados 	<ul style="list-style-type: none"> Padrão “aberto”, em que chip da Semtech é necessário. <i>LoRaWAN</i> acontece no <i>MAC layer</i> Usado primeiramente para aplicações em que o <i>uplink</i> é importante 	<ul style="list-style-type: none"> Membro da aliança LoRa Utiliza o <i>chip LoRa</i>, mas tem <i>layer MAC</i> próprio, chamado Symphony Link 	<ul style="list-style-type: none"> Padrão no desenvolvimento de nova base tecnológica SigFox/LoRaWAN focaram soluções para rápido acesso ao mercado Maiores capacidades de <i>upload</i> e <i>download</i> Opera em 2,4 gigahertz (GHz), oferecendo maior cobertura 	<ul style="list-style-type: none"> Padrão aberto Opera em frequências não licenciadas abaixo de 1GHz 	<ul style="list-style-type: none"> Vários padrões Cat-1 Cat-0 Cat-M ou <i>long-term evolution</i> (LTE-M) NB-IoT 	
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> Em funcionamento Fornecedores (TI, Silicomlabs e Axiom) Eficientes em termos de energia, sem circuito de recepção Excelentes para monitoramento simples e aplicações de medição 	<ul style="list-style-type: none"> Membros influentes, grandes (IBM, Cisco, SK Telecom etc.) Melhor segurança: AES CCM 128 bits Mais de cem operações comerciais 	<ul style="list-style-type: none"> Alta sensibilidade Frequências flexíveis Adicionou funcionalidades ao <i>LoRaWAN</i>, como a habilidade de operar sem um servidor de rede 	<ul style="list-style-type: none"> Bons fundamentos tecnológicos Oferece grande cobertura e robustez 	<ul style="list-style-type: none"> Excelente para redes de sensores Bom alcance urbano 	<ul style="list-style-type: none"> Sensores mais sofisticados Outros tipos de aplicações 	
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> Não é protocolo aberto Segurança integrada mínima: encriptação de 16 bits Não apropriado para casos em que o <i>dowlink</i> é importante 	<ul style="list-style-type: none"> Capacidade de <i>download</i> limitada Limitada aos fornecedores da Semtech 	<ul style="list-style-type: none"> Exige o software Symphony Link Pequena comunidade de usuários 	<ul style="list-style-type: none"> Maior interferência Penetração estrutural é um problema Maior capacidade de processamento, pode não atender a critérios de longa vida útil de baterias 	<ul style="list-style-type: none"> Sem capacidade de <i>download</i> Muito lento (100 bits por segundo) Requer um oscilador de cristal com compensação de temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> Maior consumo de energia Cobertura inferior quando se compara a outros padrões 	

Fonte: Embedded. Disponível em: www.embedded.com.

Elaboração do autor.

Nota: ¹ Low power wireless access networks IoT.

Os padrões foram, por sua vez, desenvolvidos com objetivos muito específicos, em que, por exemplo, havia a necessidade de sensores com baixíssimo consumo de energia, que precisam ficar em campo aberto por um longo período em funcionamento, ou que somente enviam informações de tempos em tempos, mas não possuem receptores, ou que precisam de um raio de cobertura maior para se comunicarem. Cada aplicação de conexão entre máquinas (IoT) descreve os requisitos tecnológicos necessários, que, por seu turno, indicam qual a melhor tecnologia a ser utilizada. Até mesmo com a introdução do padrão 5G, que propiciará um grande número de dispositivos comunicando-se e outras grandes vantagens, ainda assim serão necessárias outras tecnologias e redes complementares, para cobrir todos os tipos de demanda. Opções tradicionais por intermédio de tecnologias celulares, como o 4G, consomem muita energia em comparação a essas outras tecnologias.

Entre as tecnologias celulares, há ainda uma grande quantidade de subpadrões, cada qual aparecendo em sua evolução natural suprindo necessidades específicas, seja de cobertura, baixo custo, consumo de energia e taxa de *download* ou de *upload*, complicando ainda mais o entendimento do todo (família Cat).³ *Narrow band* IoT (NB-IoT) representa uma IoT de baixa taxa de comunicação em rede celular, que ainda assim transmite mais dados que os outros padrões, com picos de velocidade em cerca de 200 *kilobits* por segundo (Kbps), tolerando pequenos *delays*. Já as tecnologias de redes móveis Cat-M ou LTE-M aceitam taxas mais elevadas, com pico de cerca de 1 Mbps, também voz. Sem entrar em detalhes de cada uma destas, pode-se dizer que as opções em tecnologias IoT não precisam ser mutuamente exclusivas e podem e devem operar em conjunto (Hwang, 2020).

1.2 O mercado de IoT

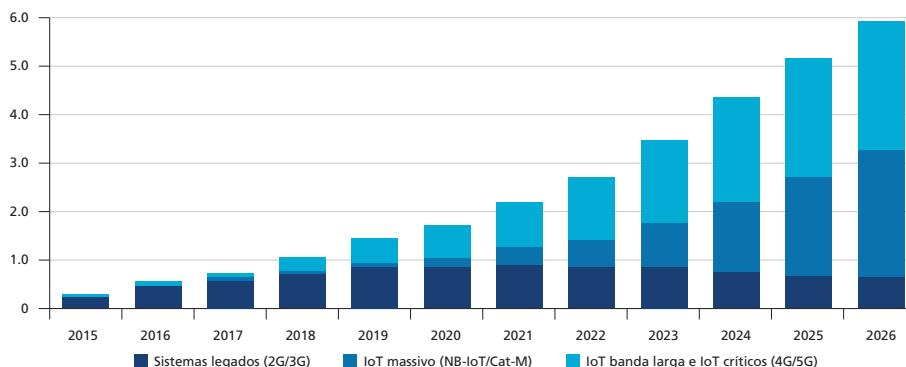
O gráfico 2 mostra a estimativa feita pela Ericsson (2020) da evolução do mercado de conexões de IoT, por meio de celulares por segmento tecnológico, não se incluindo as tecnologias não celulares mencionadas anteriormente, o que é compreensível, considerando ser o fornecedor um dos líderes globais do setor. É importante notar também que o gráfico mostra três categorias de utilização, misturando um pouco as tecnologias.

Por ser o 5G uma evolução da tecnologia celular, trazendo em seu pacote de progresso grande contribuição para a conexão entre as máquinas, veremos nos próximos anos uma explosão de crescimento, como já prognosticado inúmeras vezes. Até 2020, entre as tecnologias celulares, a conectividade de IoT por intermédio de redes 2G e 3G ainda representa a maioria.

3. Família Cat = conjunto de padrões IoT celulares (Cat-0, Cat-1, Cat-M).

GRÁFICO 2

Conexões de IoT por meio de celulares por segmento e tecnologia (2015-2026)
 (Em bilhões de usuários)



Fonte: Ericsson (2020).

O chamado IoT massivo consiste em aplicações típicas de áreas abrangentes, com grande número de conexões de baixa complexidade, dispositivos de baixo custo, baterias de longa duração e taxas relativamente razoáveis. Cerca de 110 operadoras já lançaram redes NB-IoT e outras 50 redes Cat-M, sendo que ambas se complementam. A Ericsson estima que, no final de 2026, redes NB-IoT e Cat-M representarão 45% de todas as conexões celulares IoT. Essas redes seguirão sua evolução natural para o 5G e continuarão a ser implementadas nas mesmas faixas de hoje em dia.

Redes IoT de banda larga incluem aplicações que se estendem em vastas áreas, apresentam baixa latência e exigem maiores taxas de dados, em comparação ao IoT massivo. O 4G já suporta a grande maioria das aplicações nesta categoria. Estima-se que, em 2026, 44% das conexões IoT celulares sejam IoT banda larga, sendo a tecnologia 4G a mais utilizada. Com a introdução do rádio 5G (NR) nas novas frequências e antigas, as taxas de dados crescerão substancialmente.

IoT críticos serão destinados para comunicação em que a entrega de dados com baixa latência precisa ser conseguida, tanto em redes locais como de larga abrangência. Aplicações típicas incluem *augmented reality/virtual reality* (AR/VR) baseadas na nuvem, carros autônomos, jogos na nuvem e controle de máquinas e processos em tempo real.

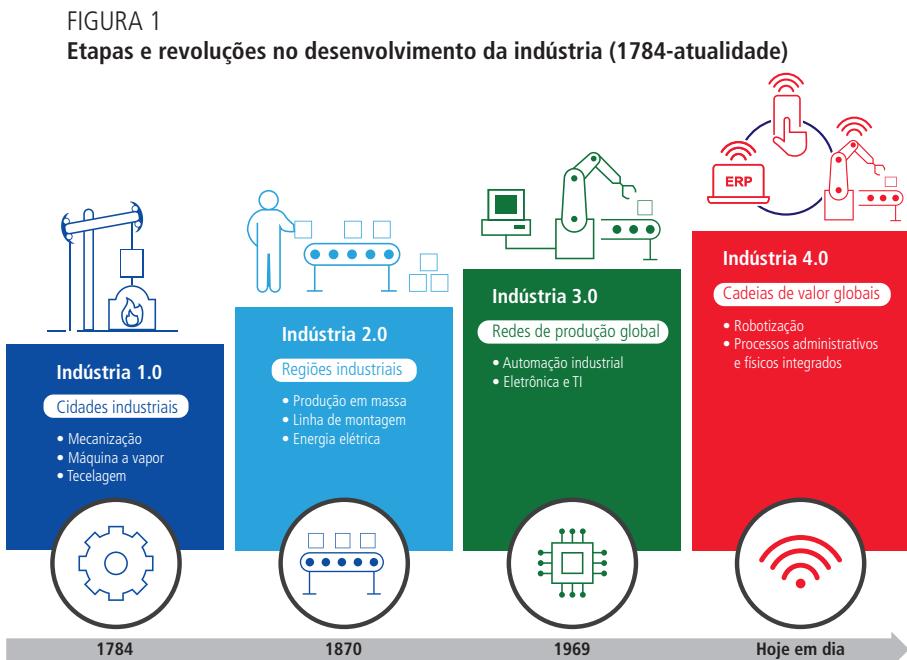
1.3 Transformação digital e indústria 4.0

Transformação digital, 5G, indústria 4.0, inteligência artificial (IA), computação em nuvem, *blockchain* e muitos outros termos; o mundo está sendo inundado de novas expressões e pessoas e companhias não sabem nem por onde começar. Tudo isso é de fato necessário? Será que minha empresa precisa entrar nesse movimento? E se continuarmos trabalhando da mesma forma como sempre fizemos?

O tema é mais complexo do que se imagina e requer ser tratado neste texto, pois a transformação digital já está em curso há alguns anos, independentemente do novo modelo de telefonia móvel 5G. Tal transformação se iniciou muito antes do aparecimento do padrão, mas será certamente impulsionada por este. Em parte, essa confusão se dá também pelo fato de uma das interessantes aplicações para o 5G ser o uso em fábricas automatizadas, com robôs circulando de forma autônoma, utilizando-se dos novos recursos do 5G, como a baixa latência, o que poderia ser então compreendido como indústria 4.0 ou indústria do futuro.

O termo indústria 4.0, no entanto, tem origem no Ministério Federal de Educação e Pesquisa da Alemanha, que realizou um projeto para promover a informatização da manufatura. Foi inicialmente adotado na Feira de Hannover em 2011, sendo a transformação digital o caminho para chegar à indústria 4.0, estágio atual da evolução industrial, que utiliza cadeias de valor globalizadas, robotização e integrações entre os processos administrativos e processos físicos (figura 1).

A transformação digital é uma mudança radical na forma de pensar como uma organização utiliza tecnologia, pessoas e processos para mudar seu desempenho nos negócios. Empregam-se tecnologias e ferramentas digitais para criar ou modificar processos de negócios existentes, culturas empresariais e a experiência do usuário, conseguindo assim atender aos requisitos de mercado em constante modificação. À medida que novas tecnologias entram em curso, trazem novas experiências aos usuários, que, por sua vez, acabam as incorporando, tornando-as o novo *status quo*. Considere, por exemplo, o Uber, que revolucionou o setor de transporte de pessoas, forçando empresas de táxi, locadoras de automóveis, bem como fabricantes de veículos, a pensarem em como abranger serviços similares de *carsharing* e/ou adicionar outros, como *bikesharing* ou *scootersharing*, em seus modelos de negócio. Empresas comuns de táxi precisaram agregar aplicativos quase que instantaneamente, para poderem competir. Assim acontece em qualquer setor do mercado.



Elaboração do autor.

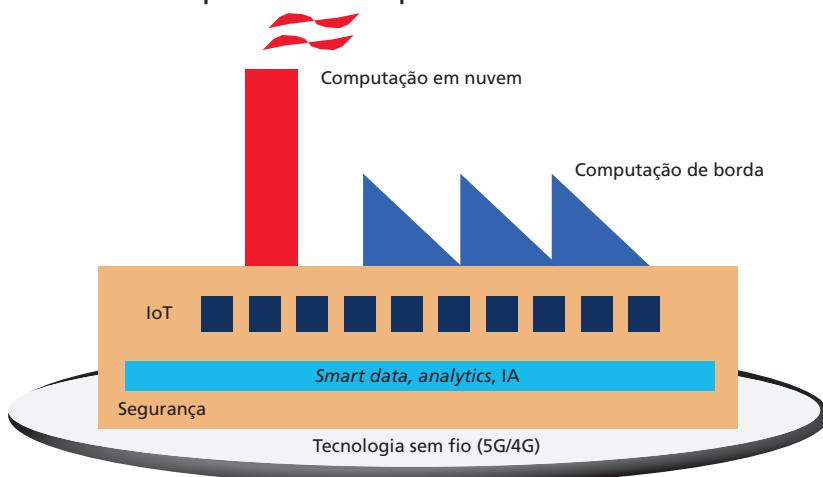
Ao repensar-se a maneira de fazer os negócios, as empresas passam por sua transformação, e, portanto, o tema vai muito além do simples uso de ferramentas digitais. A mudança transcende funções de vendas, *marketing* e atendimento ao cliente – ou seja, é uma jornada, pois o processo inicia-se da forma como os clientes são engajados desde o primeiro contato, algo nada trivial de fazer.

A transformação digital leva tempo para mudar uma organização. É um processo que exige resiliência, paciência e muito trabalho. Como já mencionado, não basta instalar uma nova ferramenta digital para dizer que o processo foi finalizado. Para ser capaz de transformar um negócio ou pelo menos prepará-lo para o futuro que se aproxima, é preciso compreender o que isso significa em termos de cultura empresarial, obtendo os conhecimentos e pessoas necessárias para suportar a estratégia definida. É preciso identificar os pontos fortes das empresas e aproveitar o uso da tecnologia, tentando simplificar processos e reduzir a complexidade. É muito importante salientar que toda a empresa deve tentar se envolver no processo. O grande desafio é fazer diferentes grupos na companhia trabalharem em conjunto em prol de um propósito comum. Em consequência, as organizações tendem a tornar-se mais eficientes, para continuarem existindo em um mundo cada vez mais competitivo.

O surgimento de novas tecnologias digitais, como IA, aprendizagem de máquina, *big data, analytics*, impressão 3D, computação em nuvem, computação de borda, *blockchain*, 5G, IoT, robótica e outras mais, está acelerando e formatando ainda mais a transformação digital. Em muitos casos, estão se transformando nas bases desse novo desenvolvimento industrial. O uso individual dessas tecnologias tem valor, mas o ganho somente é potencializado quando começam a trabalhar em conjunto (figura 2). Citando Aristóteles, pode-se afirmar nesses casos que “o todo é maior que a soma de suas partes”.

Embora essa transformação possa ser ainda mais perturbadora para os modelos de negócios e mercados existentes, também gera muitas oportunidades. Cada ruptura cria chances para novos negócios, novos mercados e novas inovações, que estão disponíveis não apenas para empresas estabelecidas e países altamente desenvolvidos, mas também para firmas iniciantes ou mercados menos maduros. É preciso, no entanto, enxergar essas possibilidades.

FIGURA 2
“O todo é maior que a soma de suas partes” no contexto da indústria 4.0



Elaboração do autor.

A intuição humana é sintonizada para desenvolvimentos lineares, e tendemos sempre a subestimar o progresso (BCG e Darden School of Business, 2020). O ser humano comprehende facilmente o que significa uma sequência numérica de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 etc. Entretanto, tem dificuldade de compreender um crescimento exponencial de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 etc. Não é surpreendente, portanto, que as empresas também tendam a subestimar ou simplesmente não enxergar o impacto da tecnologia digital, que cresce de forma exponencial, principalmente quando não a entendem.

Se as empresas se desenvolvem linearmente e a tecnologia evolui exponencialmente, uma lacuna entre a entrega de valor real e o que seria possível em termos de tecnologia estabelece-se. Essa lacuna está aumentando muito rapidamente com o tempo e é frequentemente preenchida por organizações mais inovadoras – como é o caso de *startups*, que usam tecnologias para satisfazer as necessidades do cliente de maneira muito diferente do que as empresas tradicionais são capazes de ver ou entender totalmente e rapidamente realizar. A Nokia, por exemplo, antiga detentora de 40% do mercado mundial de telefones celulares, pagou um alto preço por isso e sumiu do mercado de telefones celulares.

Basicamente, três fenômenos simultâneos são responsáveis pelos atuais avanços tecnológicos: o contínuo desenvolvimento exponencial do processamento de dados, das velocidades de comunicação e das capacidades de armazenamento. O primeiro efeito é a famosa Lei de Moore, que estabelece que, a cada dezoito meses, a capacidade de processamento computacional é dobrada. A segunda lei afirma que a quantidade de dados comunicados por meio de apenas uma fibra óptica dobra a cada nove meses. A terceira lei trata do armazenamento de dados, afirmado que a capacidade de armazenamento de dados dobra a cada treze meses – mais recentemente, a cada dezessete meses (BCG e Darden School of Business, 2020). Esses acontecimentos não devem ser interrompidos no curto prazo, e a tendência é continuarmos na mesma toada atual.

Como nas revoluções anteriores, o gargalo de desenvolvimento muitas vezes não é o acesso à tecnologia, que cedo ou tarde acaba chegando a todos os mercados, mas as pessoas. Mudanças nunca são fáceis. A necessidade de modificar ambientes, empresas e, consequentemente, o que países como um todo conseguem produzir, também não. Nos tempos atuais, inovar, testar, experimentar, errar e continuar tentando fazer de forma diferente torna-se cada vez mais importante. Não é um tema acadêmico, precisa ser praticado, testado e atacado. É um processo dolorido, processo de transformação.

Nesse sentido, especial atenção deve ser dada à força motriz dessas transformações, o capital humano. As pessoas precisam ser educadas mais do que nunca, pois tudo se dá em velocidade exponencial. O risco de sociedades com níveis de educação formal menos acentuados ficarem para trás e verem países mais desenvolvidos distanciarem-se ainda mais dos mais pobres é enorme. Estudos repetem-se a todo instante, apontando sempre a importância da educação, especialmente a digital, mas em poucos lugares tem sido feito algo para atacar as deficiências e diminuir as diferenças.

A introdução do 5G, a transformação digital e todas as tecnologias que estão se juntando podem contribuir em muito para ajudar a melhorar a vida das pessoas, assim como aconteceu com as máquinas a vapor, a energia elétrica,

a tecnologia da informação (TI) ou a automação industrial. Novas tecnologias podem propiciar muitas outras alternativas, mas ainda mais importante é cuidar do capital humano que utilizará essas novas tecnologias. Assim como em uma transformação digital, fala-se na jornada do cliente estando ele no centro de todas as ações; o trabalhador comum também está no centro da transformação de uma empresa, assim como o cidadão médio no centro de uma sociedade ou um país.

1.4 A tecnologia 5G e a IoT no contexto da indústria 4.0

O 5G chegou com a especificação voltada não somente para o mercado empresa-consumidor (*business to consumer – B2C*), mas também para os segmentos empresa-empresa (*business to business – B2B*) e empresa-empresa-consumidor (*business to business to consumer – B2B2C*). As novas funcionalidades propiciam a conexão em massa de inúmeros dispositivos e podem, com outras tecnologias, ser combinadas, a fim de elevar a eficiência e a produtividade da indústria como um todo, ajudando em seu processo de transformação.

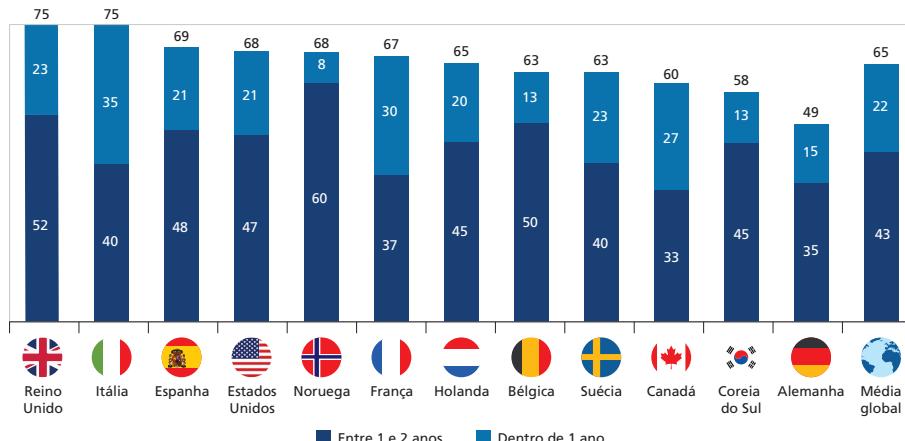
O desenvolvimento industrial sempre foi sinônimo de prosperidade e crescimento econômico. A globalização modificou completamente as cadeias produtivas, deslocando atividades para outros cantos do mundo; trouxe, em decorrência, pressão sobre o setor industrial, que enfrenta cada vez mais competição e precisa sempre produzir com qualidade e de forma mais eficiente. É exatamente nisso que a revolução digital se faz necessária. Os clientes esperam produtos mais personalizados às suas necessidades individuais, a velocidade de inovação e lançamento de novos produtos continua a acelerar, e a tolerância a erros diminuiu. E, se isso não bastasse, a internet oferece aos compradores mais opções do que nunca. Não há saída: para sobreviver e prosperar, os fabricantes devem oferecer excelência, acelerar introduções de novos produtos, agilizar o chão de fábrica e melhorar o atendimento de pedidos mediante operações inteligentes e conectadas.

De acordo com estudo realizado por CRI (2019), três quartos das empresas industriais pesquisadas em vários países do mundo acreditam que o 5G será um componente importantíssimo para sua transformação digital nos próximos cinco anos. Na pesquisa, o 5G é considerado mais relevante que IA ou *analytics*, pois é visto como motor de conectividade, capaz de impulsionar o desenvolvimento em escala de tecnologias como o processamento real de imagens, a automação avançada, AR/VR ou o processamento de informações próximo à operação, perdendo somente para a computação em nuvem.

Parte da atração pode ser explicada pela capacidade de o 5G ser capaz de resolver desafios de conectividade das organizações industriais. Essa tendência é consistente em todos os países pesquisados, nos quais os três principais desafios de conectividade mencionados foram a falta de cobertura (63% dos respondentes), a confiabilidade do sinal (56%) e a velocidade da rede (46%).

O gráfico 3 mostra que 65% dos respondentes estão dispostos a implementar 5G nos próximos dois anos após sua disponibilidade. Dessa lista de países, chama atenção a Alemanha, com apenas 49% dos entrevistados dizendo que adotariam 5G em até dois anos de sua disponibilidade.

GRÁFICO 3
Organizações dispostas a implementar 5G em suas operações, por país
 (Em %)



Fonte: CRI (2019).

Obs.: 1. Universo da pesquisa (N): 806 empresas industriais.

2. Pesquisa pré-covid-19.

Uma provável explicação é que os executivos alemães sentem que já estão fazendo grandes progressos na indústria 4.0 – somente 29% acreditam que as atuais soluções de conectividade estão atrasando suas iniciativas de transformação digital, índice bem inferior à média global de 44%.

O estudo identificou aplicações de chão de fábrica, nas quais a transformação digital em curso pode ser melhorada por meio do 5G (quadro 2). Essas aplicações estão relacionadas com a possibilidade de monitoramento, controle e tomada de decisões em tempo real, em que as maiores velocidades, a baixa latência e a confiabilidade da comunicação 5G podem ser convertidas em informações importantes para o aprimoramento da eficiência operacional.

QUADRO 2

Exemplos de aplicações de chão de fábrica em que o 5G pode beneficiar operações industriais

Aplicações em tempo real, alavancando a computação de borda	As maiores velocidades e confiabilidade da comunicação 5G aliadas à possibilidade de conectar de dez a cem vezes mais dispositivos são capazes de propiciar dados em tempo real de um grande número de aparelhos, que podem ser convertidos em informações importantes, alavancando a computação de borda.
Monitoramento de vídeo de linhas de produção remotas	A maior velocidade propiciada pelo 5G pode oferecer vídeos de alta definição em tempo real.
Controle de linhas de produção remotas distribuídas	A qualidade de serviço propiciada pelo 5G com redes de baixa latência e conexões confiáveis pode suportar operações remotas de operações de tempo crítico.
Dispositivos controlados remotamente com IA, como robôs, drones e arros autônomos	As transmissões de dados rápidas e confiáveis do 5G podem oferecer as habilidades de controle remoto a estas inovações, com o correto grau de segurança.
Alertas em tempo real	Redes de baixa latência podem proporcionar serviços em tempo real de emergência em sistemas remotos. O 5G poderá melhorar a efetividade de sistemas de monitoramento, uma vez que conseguem conectar mais dispositivos por meio de redes mais seguras e confiáveis.
Operações remotas/manutenção e soluções de treinamento por meio de AR/VR	As redes de baixa latência e as altas taxas de comunicação disponíveis nas redes 5G podem suportar o desenvolvimento de sistemas baseados na nuvem de serviços de realidade aumentada e virtual (AR/VR).
Manutenção preditiva e preventiva	As redes 5G podem melhorar a confiabilidade de redes preventivas e preditivas de manutenção, uma vez que aumentam a aquisição de dados em tempo real de diversos dispositivos – que, por sua vez, também podem suportar IA/analytics.

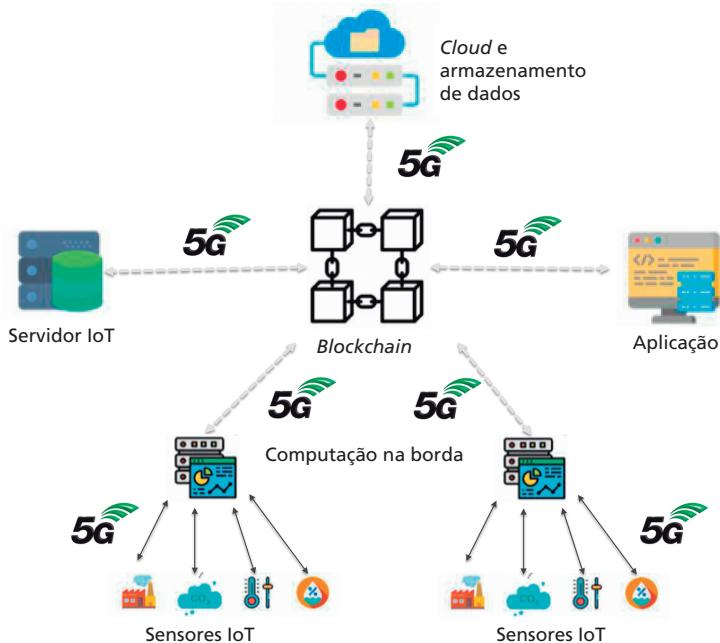
Fonte: CRI (2019).

Obs.: N: 806 empresas industriais.

A figura 3 exemplifica como várias dessas novas tecnologias podem trabalhar em conjunto em ambientes industriais. Trata-se de projeto de pesquisa da Universidade Sungkyunkwan (SKKU), na Coreia do Sul, que mostra que o potencial de disruptão está no conjunto da obra. Sensores IoT medem poluentes industriais e os transmitem via redes sem fio 5G para análise. Os nós extremos possuem capacidade computacional para fazer as primeiras análises dos dados e, eventualmente, tomar as primeiras decisões (computação de borda). Os dados são processados em seus servidores, que fornecem dados para o programa aplicativo. Os dados extraídos são transferidos para a nuvem. Toda a comunicação é protegida por meio de criptografia com *blockchain*, para evitar falsificação e adulteração de dados. A camada de aplicativo consiste em dispositivos de armazenamento e ferramentas de análise. As redes 5G suportam grandes quantidades de tráfego, com segurança, confiabilidade e baixa latência.

FIGURA 3

Exemplo da aplicação industrial de várias tecnologias no contexto da indústria 4.0



Fonte: Han, Park e Jeong (2019).

Um tema que tem sido frequentemente questionado é a possibilidade do uso de redes públicas ou evoluções das atuais redes *wi-fi*, que historicamente sempre ocuparam esses ambientes. O padrão *li-fi*⁴ ou até mesmo o novo padrão *wi-fi* 6 – que inclusive compartilha de evoluções tecnológicas do 5G, como as funcionalidades *multi-user*, *multiple-input*, *multiple-output* (MU-MIMO), *orthogonal frequency-division multiple access* (OFDMA) ou *beamforming* – poderiam ser também utilizados. No entanto, o *wi-fi* sempre teve problemas com relação à cobertura e à segurança oferecida, deixando espaço para a entrada de tecnologias celulares, capazes de resolver enfim essas demandas. O 5G em ambiente industrial pode ser extremamente confiável e uma solução segura para aplicações críticas. Entretanto, é importante dizer que redes 5G não serão a resposta para todas as aplicações, em todos os tamanhos e tipos de indústrias. O 5G é mais uma opção para certos tipos de problemas, e muito provavelmente teremos redes 5G privadas trabalhando com redes virtuais públicas dedicadas (*slices*), adquiridas em associação com as operadoras, no tocante às novas versões do *wi-fi* (Sbeglia, 2020). O sucesso do 5G em ambiente industrial dependerá também da facilidade oferecida ao cliente

4. Do inglês *light fidelity*, é uma tecnologia de comunicação sem fio que usa a luz de diodos emissores de luz (LEDs) para realizar comunicação em rede, móvel e de alta velocidade, de maneira semelhante ao *wi-fi*.

final – nesse caso, a corporação sedenta de uma solução de conectividade. Não há garantias de que as operadoras estão preparadas para esse movimento e para esse tipo de clientes, deixando espaço para novos entrantes, que tradicionalmente já serviam as indústrias. Por sua vez, instalar uma rede 5G não é tão simples como uma rede *wi-fi*, trata-se de outro tipo de conhecimento. Integradores estão bem posicionados nesse mercado, pois conhecem a fundo não somente os problemas dos clientes nas diversas verticais de mercado, mas também as diferentes possíveis tecnologias a serem utilizadas.

FIGURA 4
Exemplo de aplicações 5G em redes privadas

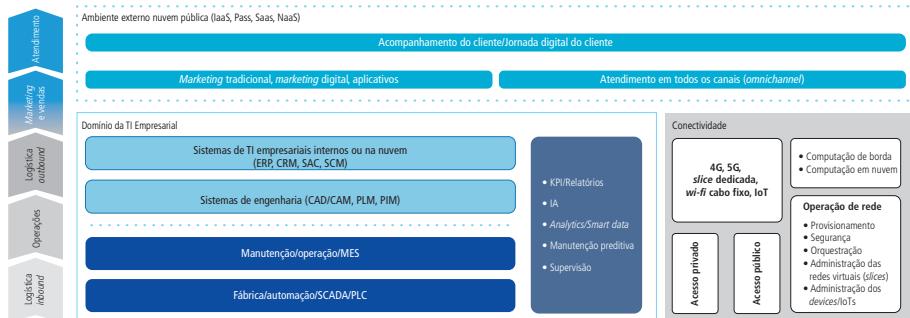


Fonte: Qualcomm e Freepik. Disponível em: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2019/10/whats-future-5g>; e <https://www.freepik.com>.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Quando enfim colocamos tudo o que foi apresentado até o momento neste artigo em conjunto, IoT, transformação digital, indústria 4.0, 5G no chão de fábrica e um coquetel de tecnologias amigas, chegamos a algo parecido com a figura 5, em que um novo mundo se materializa. A imagem representa, em suma, a potencial arquitetura convergente de TI com a parte operacional da produção industrial, por meio da tecnologia operacional (*operational technology – OT*), tendo em consideração a cadeia de valor de uma empresa. Tudo se digitaliza, tudo se conecta – de atendimento ao cliente, *marketing* e vendas, logística interna e externa até a gestão empresarial da empresa e da produção, com suporte de novas opções de conectividade, armazenamento e tratamento seguro de dados na nuvem. Certamente, trata-se de um novo capítulo na evolução industrial.

FIGURA 5
Potencial arquitetura de TI/OT convergente em ambiente industrial



Fonte: IoT World, Globalsign, Porter e CRI.

Elaboração do autor.

Obs.: IaaS – *infrastructure as a service*; PaaS – *platform as a service*; SaaS – *software as a service*; NaaS – *network as a service*;

ERP – *enterprise resource planning*; CRM – *customer relationship management*; SAC – serviço de atendimento ao consumidor; SCM – *supply chain management*; CAD – *computer added design*; PIM – *product information management*;

PLM – *product lifecycle management*; MES – *manufacturing execution systems*, PLC – *programmable logic controller*;

SCADA – *supervisory control and data acquisition*; KPI – *key performance indicators*.

Nesse contexto, vale a pena mencionar o projeto Gaia-X (BMVI, 2020), iniciativa europeia para a próxima geração de uma infraestrutura de dados e de soberania digital. A intenção é conseguir de alguma forma evitar a dependência para gigantes como Amazon, Azure, Google, Alibaba ou Tencent, que já concentram os dados na nuvem das empresas que optaram por não manter seus dados em seus próprios domínios em nível global atualmente. Muito se fala na mídia quanto ao uso de equipamentos 5G de fornecedores chineses, mas essa briga, apesar de muito mais relevante do ponto de vista estratégico, nem é mencionada.

1.5 Políticas públicas europeias para a indústria 4.0

Durante décadas, a Europa tem se classificado entre as regiões mais industrializadas do mundo, sendo o setor industrial um motor de crescimento econômico e de geração de empregos. De acordo com Davies (2015, p. 2), embora apenas cerca de uma em cada dez empresas na União Europeia fosse classificada como manufatura, o setor reunia dois milhões de empresas, gerava indiretamente empregos em outros setores, e era responsável por mais de 80% das exportações, assim como por 80% da pesquisa e inovação no setor privado, elementos-chave para o crescimento econômico sustentável.

Apesar de toda essa importância, a contribuição relativa da indústria para a economia da Europa tem caído, tendo perdido um terço da sua base industrial nos últimos quarenta anos, o que representou em 2021 apenas 14,3% do valor agregado total.⁵

Essa “desindustrialização”, processo que também está presente em outras economias desenvolvidas, acontece pelo aumento da manufatura em outras partes do mundo – principalmente na China – e pela realocação de trabalho para países com custos de produção mais baixos. Com o crescimento do setor de serviços, a participação relativa da indústria cai ainda mais. A necessidade de buscar formas de elevar a participação da manufatura na produção econômica é latente, o que faz da digitalização um caminho inevitável para esses objetivos. A nova revolução industrial digital traz a promessa de maior velocidade na produção, flexibilidade na fabricação e personalização em massa, assim como melhor qualidade e produtividade. No entanto, para conseguir capturar esses benefícios, as empresas precisarão investir em equipamentos, TI e análise de dados, bem como na integração dos fluxos de dados em toda a cadeia de valor, que ainda por cima é globalizada.

Em resposta a esses desafios, a maioria dos governos europeus criou políticas públicas para aumentar a produtividade e a competitividade da indústria. O quadro 3 resume algumas dessas iniciativas iniciadas nos últimos anos (EC, 2017).

5. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.MANF.ZS?end=2019&most_recent_value_desc=true&start=1992&view=chart&year=1991.

QUADRO 3
Comparação de programas de incentivo à indústria 4.0 na Europa

País	Nome do programa	Lançamento	Público-alvo	Orçamento (€ milhões)	Financiamento	Foco estratégico	Sector	Resultados conseguidos
 França	Alliance pour l'Industrie du Futur	2015	Indústria e produção de base, PMEs	10.000	Misto	Implantação	IoT, IA, big data, saúde, cidades inteligentes e segurança digital	Mais de oitocentos empréstimos para empresas; 3.400 avaliações para modernizar a produção de empresas; mais de trezentos especialistas identificados; e dezoito regiões envolvidas.
 Alemanha	Plattform Industrie 4.0	2011	Manufatura, PMEs e responsáveis por políticas públicas	200	Misto	Implantação	IoT e integração física digital	Redução da segregação da indústria; agenda de pesquisa transformada na prática; desenvolvimento de arquitetura de referência; e lançamento da plataforma com 150 membros.
 Itália	Intelligent Factory Cluster (CFI)	2012	Grandes empresas, PMEs, universidades e centros de pesquisa	45	Público	Pesquisa	Genérico	Criação de uma plataforma e implementação de quatro projetos de pesquisa prioritários.
 Holanda	Smart Industry	2014	Mercado em geral	25	Misto	Implantação	Genérico	Criação de quatorze laboratórios até o final de 2016; cada laboratório teve faturamento entre € 250 mil e € 4 milhões anuais.
 Espanha	Connected Industry 4.0	2016	Indústria, principalmente PMEs	97,5	Público	Implantação e pesquisa	Plataformas digitais, big data e aplicações colaborativas	Criação de programa de pesquisa e inovação e programa-piloto de suporte empresarial.
 Suécia	Produktion 2030	2013	Indústria, PMEs e instituições de pesquisa	50	Misto	Implantação	Genérico	Financiamento de trinta projetos envolvendo mais de 150 empresas; criação de escola de doutorado e obtenção de 50% de cofinanciamento da indústria para cada projeto.
 Reino Unido	HVM Catapult (HVMC)	2012	Indústria e instituições de pesquisa	164	Misto	Implantação	Automotivo, aeroespacial, químico, nuclear, farmacêutico e eletrônico	Atingiu 123% da meta tracada; cada € 1,00 de financiamento público gerou € 17,00 de receita.

Fonte: EC (2017).

As políticas escolhidas nos diversos países são em alguns casos mais práticas, como na Alemanha, e mais voltadas à pesquisa, a exemplo da Itália. Não houve foco em tecnologia ou setor específico, sendo relativamente abertas a várias áreas. A maioria das políticas contou com financiamento público, sendo este complementado com investimentos privados, tendo conseguido resultados bem diversos. As iniciativas focaram tecnologias e infraestrutura, com desenvolvimento de habilidades como objetivo secundário. Na Suécia, houve a introdução de um programa nacional de graduação em produção. A colaboração entre os diferentes atores envolvidos foi comum nos diferentes programas. Entre as fraquezas identificadas na maioria deles, pode-se citar o financiamento limitado, o planejamento e os mecanismos de monitoramento deficitários para engajar pequenas e médias empresas (PMEs), e a falta de definição de objetivos claros com marcos e resultados bem definidos. Instrumentos mais inovadores e comuns no mercado, assim como incentivos fiscais, deveriam ser considerados. Outro tema observado foi a falta de coordenação no nível europeu, com troca de conhecimentos e melhores práticas. Em suma, temos um longo caminho a percorrer; é apenas o início da jornada.

2 JUNTANDO AS PEÇAS: 5G, IOT E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

A transformação digital está progredindo rapidamente, e as tecnologias da informação e comunicação (TICs) moldam todos os aspectos da economia e da sociedade como nunca anteriormente. O volume de dados *online* está se tornando cada vez maior – e móvel. A transformação digital continua tomado seu curso natural, com as novas tecnologias sendo introduzidas, modificando estratégias empresariais e introduzindo novos modelos de negócios.

A tecnologia 5G, abordada em Spadiner (2021), entra como mais uma peça nessa equação, trazendo novas funcionalidades para esse contexto, sendo uma destas a possibilidade de redes em malhas, o que favorece maior número de conexões ao mesmo tempo. Como dito anteriormente, as mudanças já estavam em curso e a transformação digital independe do 5G. Grande parte da comunicação entre máquinas ainda se dará por 4G (gráfico 2) ou por outros padrões (quadro 1). O 5G deve ser visto como um facilitador e elo entre outras tecnologias, em que o “todo é maior que a soma de suas partes”, também apresentado em seção anterior. A introdução do 5G facilitará a conexão entre máquinas, e a padronização facilitará a adoção de produtos e serviços em torno da tecnologia. Assim, além dos dispositivos móveis para usuários finais, tais como *smartphones* e *tablets*, teremos cada vez mais um maior número de máquinas conectadas, sejam veículos, eletrodomésticos, máquinas industriais ou todo tipo de sensores, trocando dados e informações. Todo esse fluxo é direcionado para a nuvem de dados, que – por meio de outras tecnologias – analisa os dados, tira conclusões rápidas e retroalimenta todo o processo, criando um movimento constante de informações.

Esse novo cenário cria desafios sem precedentes em termos de conectividade, capacidade, segurança e proteção de dados, como também qualidade de serviço. As comunicações móveis serão particularmente afetadas por isso, porque muitas aplicações digitais do futuro exigem rápida conexão sem fio.

O primeiro passo é possibilitar a base dessa evolução, apoiando a implantação de redes 5G e o desenvolvimento de aplicações. As redes que sustentam toda a comunicação sem fio – ou seja, os *backbones* e os acessos por meio de fibras ópticas – desempenham um papel fundamental nesse processo.

Embora o Brasil tenha tido enormes avanços nos últimos anos, as redes de banda larga ainda precisam ser universalmente acessíveis. De acordo com o Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR (CGI.br, 2018), 46% dos domicílios brasileiros ainda não possuem nenhum tipo de conexão à internet, sendo 41% nas áreas urbanas e 74% nas áreas rurais. O acesso à internet por banda larga começou a massificar-se por volta de 1995. Em 2005, metade da população dos países desenvolvidos já estava conectada à rede. No momento, a média de pessoas que usam a internet em países desenvolvidos é superior a 80%, mas, no mundo em desenvolvimento, apenas 41% têm acesso. A privatização das telecomunicações no Brasil foi fundamental para a transformação do setor, no qual as operadoras vêm ocupando uma posição importante na expansão das redes, ao permitirem a conectividade de milhões de pessoas. No entanto, como mencionado em Spadinger (2021), o setor de telecomunicações, que continua em constante transformação, chega a um momento de impasse, no qual a demanda por serviços cresce mais rapidamente do que é possível viabilizar economicamente.

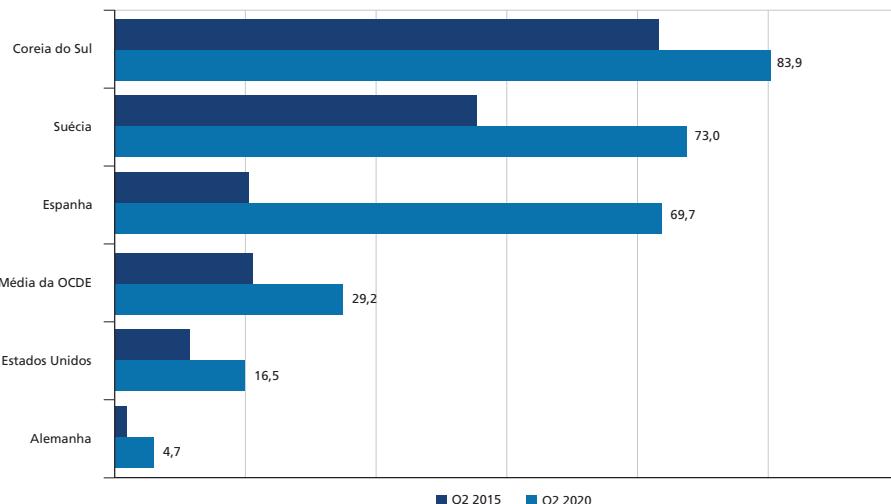
Ou seja, se o Brasil já precisava melhorar sua infraestrutura de telecomunicações para atender à demanda não suprida, terá de melhorar ainda mais, devido às exigências futuras iminentes.

O gráfico 4 e a tabela 1 trazem a evolução das conexões de fibra óptica como percentual das conexões de banda larga fixa, em alguns países do mundo e no Brasil. Como se pode observar, a evolução tem sido substancial no Brasil. Se, em 2017, as conexões via fibra óptica representavam somente 11% das conexões de banda larga fixa do Brasil, em 2020 esse percentual chegou a 46%,⁶ índice bem superior aos pífios 5% da Alemanha, por exemplo.

6. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/acessos/velocidade-contratada-banda-larga-fixa>.

GRÁFICO 4

Conexões em fibra óptica nas conexões banda larga fixa – países selecionados (2015 e 2020)
(Em %)



Fonte: OECD. *Broadband Portal*. Disponível em: <https://www.oecd.org/sti/broadband/broadband-statistics/>.
Obs.: OCDE – Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico.

TABELA 1

Evolução dos acessos banda larga fixa por tecnologia – Brasil (2017-2020)

	Acesso banda larga			
Acessos (1 mil)	2017	2018	2019	2020
Fibra	3.120	5.681	10.099	16.892
Cable Modem/HFC	9.034	9.496	9.590	9.585
xDSL	13.096	12.233	9.447	6.155
Outras	3.522	3.633	3.504	3.383
VSAT	135	190	268	330
Total	28.907	31.233	32.914	36.345
Acessos (%)	2017	2018	2019	2020
Fibra	11	18	31	46
Cable Modem/HFC	31	30	29	26
xDSL	45	39	29	17
Outras	12	12	11	9
VSAT	0	1	1	1

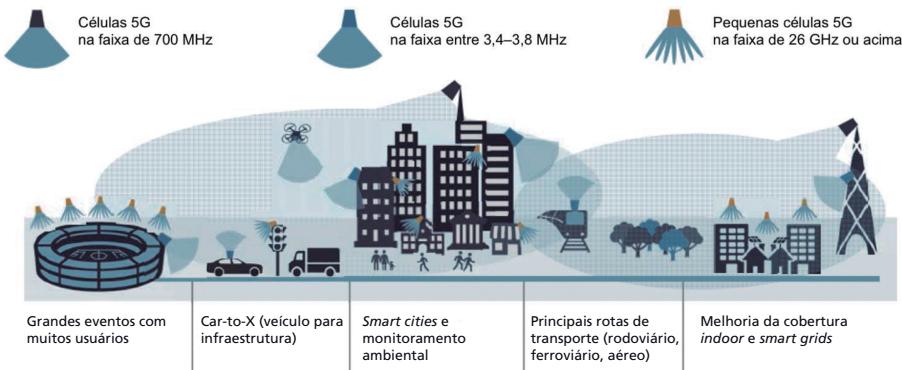
Fonte: Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) e Teleco. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/acessos/velocidade-contratada-banda-larga-fixa>; e <https://www.teleco.com.br/>.

No entanto, 46% dos domicílios brasileiros ainda não possuem nenhum tipo de conexão à internet, o que já não se pode dizer da Alemanha. Este país, por sua vez, atualmente tem redes 5G e *backbones* em fibra óptica; porém, o acesso residencial de banda larga fixa normalmente não é feito via fibra óptica. Em situação semelhante, encontra-se a Inglaterra, cuja penetração de fibras ópticas nas conexões de banda larga fixa é inferior a 4%. Ambos os países lançaram programas governamentais (Gigabit Broadband, na Inglaterra, e Turbo Internet, na Alemanha), com o objetivo de melhorar a infraestrutura até o cliente final, seja ele um cliente residencial ou uma empresa. Na Alemanha, cerca de 71% da população vive em cidades abaixo de cem mil habitantes e 60% da economia encontra-se em regiões consideradas rurais, fora dos grandes centros. Por essa mesma razão, há imensa necessidade de melhoria da infraestrutura de telecomunicações do país em direção à fibra óptica, como base para o 5G e a indústria 4.0 (BMVI, 2016). Na Inglaterra, no programa mencionado anteriormente, o objetivo do governo é ter 80% dos acessos com banda larga *gigabit* até 2025, pois a demanda por dados é cada vez maior. O financiamento é público, mas o investimento é privado. No mesmo país, cerca de 20% das propriedades comerciais não possuem internet adequada e situam-se em áreas consideradas rurais. O governo inglês ofereceu 100% de isenção fiscal de impostos específicos em estabelecimentos comerciais que forem atendidos por novas infraestruturas de fibras ópticas para um período de cinco anos, mas operadoras pedem prorrogação do prazo para pelo menos quinze anos, uma vez que esse tipo de infraestrutura precisa de décadas para rentabilizar-se (Hutton, 2021).

No Brasil, de acordo com o Sindicato Nacional das Empresas de Telefonia e de Serviço Móvel, Celular e Pessoal – Conexis (Telecom..., 2021), os investimentos das prestadoras de telecomunicações somaram R\$ 31 bilhões em 2020, sendo o aporte médio dos últimos cinco anos em dados nominais de R\$ 30,5 bilhões, grande parte aplicados na instalação de fibra óptica, o que comprova o crescimento dos acessos via fibra óptica no país. No entanto, o setor menciona que os investimentos estão sendo feitos em cenário de queda de receitas, o que exige uma reforma tributária urgente, para que se possa continuar apostando no setor.

Para ser capaz de suprir as demandas de transporte de dados, latência e número de usuários simultâneos das mais diversas aplicações, as estações rádio base (ERBs) 5G precisarão ser alimentadas por fibras ópticas. A figura 6 exemplifica algumas aplicações prováveis com o 5G e o espectro de frequência que provavelmente adotarão para cada uso. Aplicações que exigem grande mobilidade trabalharão em frequências mais baixas, para cobrir áreas maiores, mas em contrapartida terão menores taxas de dados. Já aplicações localizadas, como em estádios ou no centro de cidades, trabalharão com frequências mais altas, podendo oferecer uma taxa de dados muito maior. Porém, apresentarão células com raios de cobertura pequenos.

FIGURA 6
Aplicações e respectivas faixas de frequência 5G



Fonte: 5G Strategy for Germany. Disponível em: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/EN/publications/5g-strategy-for-germany.pdf?__blob=publicationFile.

Obs.: 1. Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

2. MHz – mega-hertz.

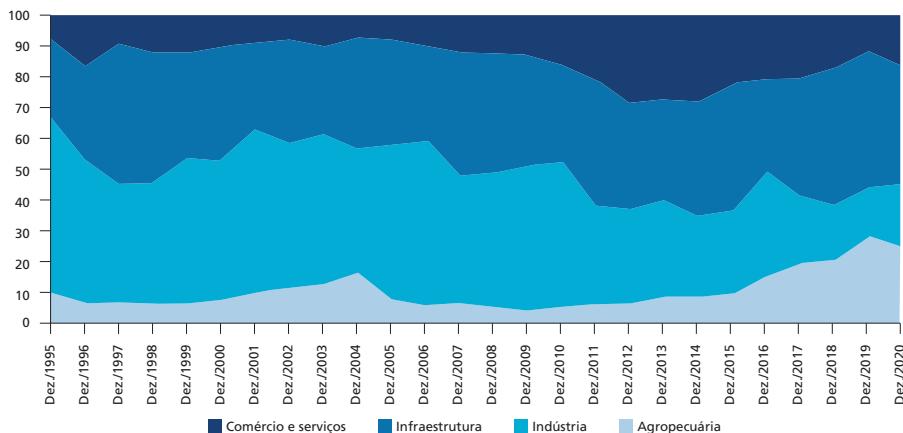
Ou seja, o número de ERBs conectadas via fibras ópticas tende a crescer muito, e, portanto, será de suma importância compartilhar recursos entre operadoras de forma simplificada. A coexistência de infraestruturas compartilhadas será fundamental para o desenvolvimento das redes, seja nas grandes cidades, seja nas estradas ou na área rural, e precisa ser facilitada. Esse é um dos grandes desafios para a implantação de redes 5G na maior parte do mundo, que já não encontra espaço disponível para novas infraestruturas. Uma possibilidade considerada em alguns países é utilizar, na medida do possível, infraestruturas públicas para a instalação das picocélulas.

É interessante observar a evolução dos financiamentos advindos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) no Brasil para a indústria das telecomunicações nos últimos 25 anos. O gráfico 5 mostra o avanço dos desembolsos setoriais (BNDES, 2021) para as quatro principais categorias: comércio e serviços, indústria, agropecuária e infraestrutura. A área de telecomunicações pertence à categoria infraestrutura e foi realçada no gráfico. É possível averiguar claramente que os desembolsos têm caído no decorrer dos anos para o segmento. Ademais, verifica-se também o aumento dos investimentos no âmbito agrícola e queda no industrial. É fato que o segmento agrícola sempre foi a vocação natural do país, ainda mais com o setor de *commodities* aquecido nos últimos anos. No entanto, diante dos acontecimentos atuais – da necessidade crescente de digitalização, da globalização das cadeias de suprimento e das discussões sobre novas tecnologias para melhoria da competitividade das empresas e, consequentemente, do país – é um tanto quanto paradoxal que não se invista mais em nichos

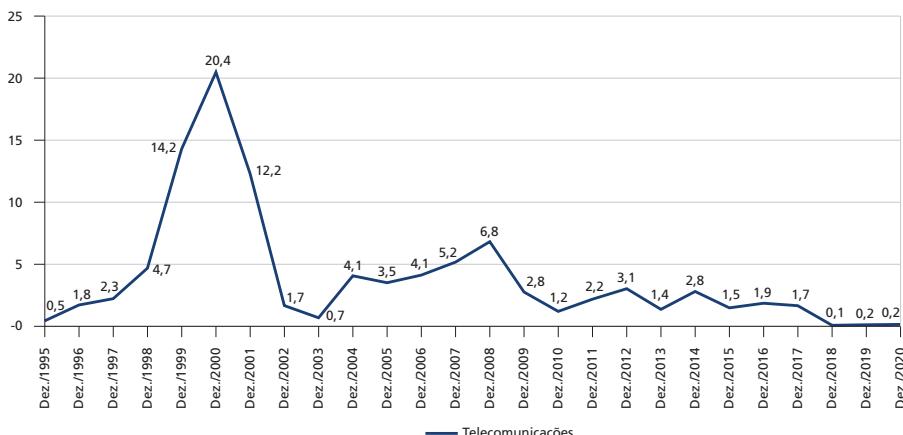
que possam agregar valor e melhor atender às demandas futuras da indústria 4.0, como na indústria de telecomunicações, que constitui as bases para as economias do futuro.

GRÁFICO 5
Evolução dos desembolsos setoriais do BNDES por setor (dez./1995-dez./2020)
(Em %)

5A – Evolução dos desembolsos setoriais do BNDES por segmento



5B – Evolução dos desembolsos para o setor de telecomunicações do BNDES



Fonte: BNDES (2021).

Obs.: O percentual se refere ao total desembolsado no respectivo ano.

Os temas na verdade complementam-se, pois cada vez mais todos os setores são influenciados e precisam de soluções digitalizadas. Aplicações como o uso de *blockchain* no setor agrícola já estão disponíveis. Por meio destes recursos, as empresas oferecem ao produtor agrícola novos modelos de negócio, nos quais não

é mais necessária a compra de determinado trator, pois é possível pagar pelo uso desse tipo de equipamento. Além disso, tudo é protegido e devidamente registrado pela tecnologia. Outro exemplo em que as TICs são fundamentais é no mercado de energia. Neste segmento, dados coletados de turbinas eólicas distribuídas por vastas regiões são imediatamente transmitidos para a nuvem, para análise e tomada de decisões. As possibilidades são infinitas e em todos os setores haverá, de uma forma ou outra, a necessidade de sólida infraestrutura de telecomunicações.

O 5G será parte desse ecossistema de forma gradual. No momento, o mercado global está tateando o tema, experimentando e estudando casos em que seu uso possa trazer benefício imediato. As operadoras encontram-se em uma situação nova, pois o principal mercado de seus serviços era o consumidor final (B2C) e, pela primeira vez, o maior beneficiado do novo padrão não é o cliente usual, mas a indústria ou o mercado B2B. A dinâmica de inovações do setor de TICs, incluindo-se telecomunicações, é mais acelerada que a de outros setores. Os setores industriais normalmente adotam soluções já testadas no mercado, pois assim conseguem avaliar melhor os ganhos de produtividade esperados com a introdução dessas inovações. Grandes grupos industriais experimentam a tecnologia em seus domínios, com redes privadas, estudando ainda formas de integrar suas operações. Operadoras de telecomunicações buscam novos clientes (B2C), que, por sua vez, não enxergam ainda benefício expressivo, comparado ao 4G. É preciso mencionar, no entanto, que as atuais redes 5G instaladas são baseadas no Release 15,⁷ cujas funcionalidades ainda não eram tão diferentes, salvo principalmente ganho em velocidade. No momento, a tecnologia tem sido utilizada em aplicações como monitoramento de vídeo em alta definição ou em processos de manutenção usando realidade virtual e aumentada. A partir do segundo trimestre de 2021, as novas redes comerciais 5G já poderão fazer a migração para o Release 16, que é uma especificação que permite avanços diferenciados, como IoT massivo, latências mais baixas e redes virtualizadas. Isso significa que veremos a partir de agora experimentos mais interessantes do ponto de vista da indústria e, aos poucos, as incertezas e as novas demandas serão definidas, até mesmo porque as redes 5G trazem novas possibilidades para a parte de conectividade; porém, isso é somente uma parte da equação.

Tecnologias como 5G, IoT, computação de borda, computação em nuvem, *analytics*, IA e *blockchain* chegaram para transformar a indústria. A adoção de parte desses recursos já acontece, sendo o foco atual a melhoria da eficiência no chão de fábrica. Há, no entanto, ainda muito mais oportunidades do uso destas tecnologias em toda a cadeia de suprimentos, como parcialmente mostrado em potencial arquitetura industrial convergente (figura 5).

7. Disponível em: <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-15>.

O ecossistema móvel ainda está se adaptando às necessidades específicas do setor industrial, que se encontra inseguro sobre os reais benefícios da utilização de todas essas tecnologias. Para que o ecossistema de manufatura 5G IoT amadureça, este deve atender às necessidades de uma grande variedade de verticais da indústria, cada qual com requisitos diferentes e únicos. Muito provavelmente, os atuais modelos comerciais de redes, plataformas e serviços de conectividade deverão ser revistos ou adaptados às necessidades de desempenho dos processos de produção industrial. A integração aos sistemas de fabricação existentes será um requisito fundamental para o futuro.

Quando analisamos o atual panorama da transformação digital na Europa, percebe-se que há ainda muito o que se fazer. Tomando-se a Alemanha como exemplo, por ser um país altamente industrializado e a economia mais forte da Europa, percebe-se que o *status* de implementação da transformação digital da economia e da sociedade ainda está em seus estágios iniciais e tem um longo caminho a percorrer, como descrito a seguir.

- 1) De acordo com Freeform Dynamics e Fujitsu (2020), somente 4,8% das empresas na Alemanha, na Áustria e na Suíça possuem habilidades suficientes para utilizar completamente os dados que possuem, também em tempo real, e empregá-los de forma proativa em vários contextos das organizações, com ajuda da IA e do *big data analytics*. Além disso, 46% das empresas possuem boa disponibilidade de informações comerciais, consistentes e atualizadas; 45,8% possuem competência básica, mas com visibilidade comercial desigual; e 3,5% são caóticas e com nenhuma clareza quanto aos dados.
- 2) Empresas digitalizadas estão na vantagem, pois os números mostram que suas receitas e o número de funcionários subiram muito acima da média nos últimos três anos.
- 3) Apenas um terço das pessoas na Alemanha são pioneiras digitais e possuem as respectivas habilidades digitais. Essa é uma proporção muito baixa, considerando-se que a digitalização também significa uma cooperação muito mais intensa entre empresas e consumidores. Homens, pessoas mais jovens e pessoas com níveis de educação e renda mais elevados possuem afinidade digital acima da média.
- 4) O E-Government é ainda pouco difundido na Alemanha. Apenas 18% dos adultos utilizam a internet para assuntos relativos às autoridades públicas. Na União Europeia, esse índice corresponde a um terço (Lichtblau e Bertenrath, 2018).

- 5) Em suma, a Alemanha é somente razoável em termos do uso de TICs na economia e na sociedade, mas possui bons fundamentos para mudar esta situação rapidamente e vem progredindo.

Diante desse panorama, foram criados programas governamentais para dar suporte ao processo de digitalização das PMEs em toda a Alemanha, que financia diretamente ou contribui com empréstimos para investimentos e capital de giro. O financiamento está disponível para aplicações em *hardware* e *software*, para a transformação digital dos processos de trabalho, produção e gestão, introdução ou melhoria da segurança dos sistemas de TI, consultoria e qualificação digital dos funcionários.⁸ Algo similar poderia ser eventualmente realizado no Brasil para as PMEs, ajudando-as no que diz respeito aos atuais desafios de um mundo competitivo e digitalizado.

No Brasil, há diversos programas de capacitação para jovens ou adultos, como o programa Qualifica Mais, do Ministério da Educação (MEC), que oferece vagas gratuitas para cursos de qualificação profissional com foco na inserção do aluno no mercado de trabalho, ou o Escola do Trabalhador 4.0, do Ministério da Economia (ME) e Microsoft, que promove a capacitação em habilidades digitais para reinserção no mercado de trabalho, ou, ainda, o Brasil Mais TI, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), que também oferece cursos livres em TI. Em todos esses casos, o foco é a preparação e a requalificação da força de trabalho, algo muito necessário e que precisa ser acelerado, devido à grande demanda. O exemplo da Alemanha, além da qualificação, ajuda o empresário a transformar e impulsionar a competitividade de seu negócio.

O capital humano precisa ser mais bem aproveitado, uma vez que a expansão econômica não mais poderá ser alcançada pelo crescimento da população, mas somente pela melhoria da produtividade do trabalhador. O gráfico 6 mostra a modificação percentual entre 2016 e 2020 das habilidades necessárias para o futuro de graduados das principais economias do mundo, membros do Grupo dos Vinte (G20), para o ensino médio e o nível universitário.

Os sistemas educacionais universitários mais bem colocados no quesito de preenchimento das necessidades dos empregadores são Suíça, Singapura, Finlândia e Chile. Em contraste, temos a Etiópia, a Índia, o Brasil, o Japão, a Itália e a Inglaterra. Tanzânia e China estão entre as nações que mais melhoraram, enquanto Índia, Etiópia e Estados Unidos se situam entre as que apresentam o maior declínio. Em decorrência disso, a habilidade de encontrar trabalhadores qualificados decresceu, entre nações desenvolvidas, em 7% relativos a 2016. De forma geral, há dificuldades em obter mão de obra qualificada para as novas tecnologias

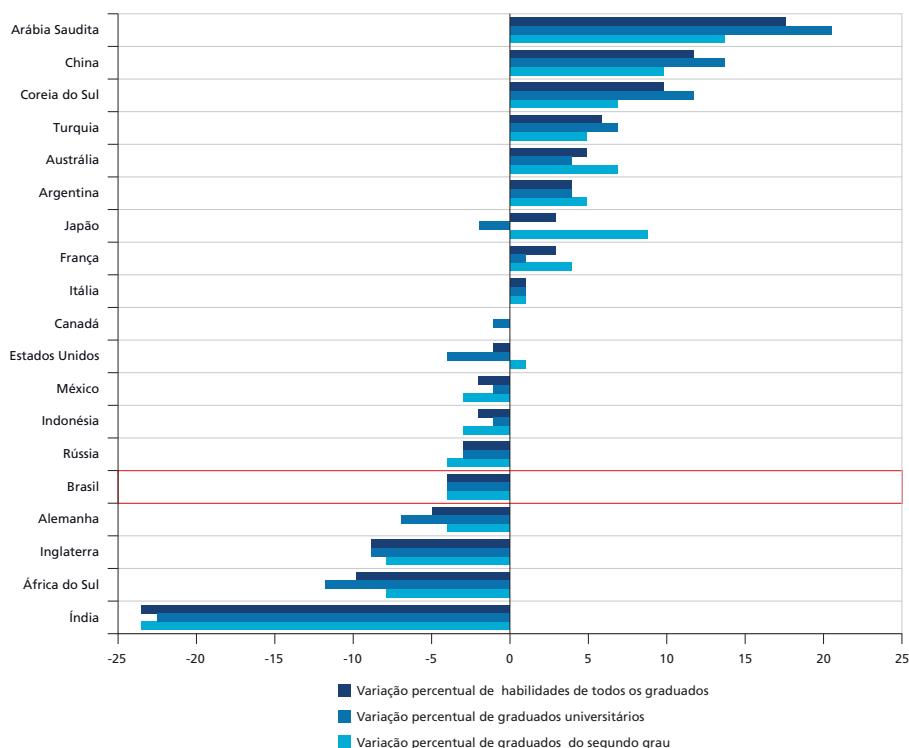
8. Disponível em: <https://www.ihk.de/berlin/service-und-beratung/finanzierung/foerderprogramme-digitalisierung-4295658>.

emergentes em todos os mercados, tornando-se ainda mais iminente o investimento massivo em educação, especificamente na digital.

GRÁFICO 6

Nível de habilidades necessárias para o futuro de graduados das principais economias do mundo (2016-2020)

(Em %)



Fonte: WEF (2020).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O acesso e o uso de TICs têm melhorado globalmente, mas permanecem longe de serem universais. A crise do covid-19 deixou isso muito claro. A digitalização tem avançado em um ritmo rápido nas últimas décadas. Os usuários de internet dobraram desde 2010, chegando à marca de 53,6% da população mundial em 2020 (WEF, 2020). Desse índice, 14,9% possuem uma assinatura de banda larga fixa, na qual normalmente as conexões são mais rápidas. Ainda assim, nos Estados Unidos e na Europa, 10% dos assinantes de banda larga fixa acessam a internet com velocidades abaixo de 10 Mbps e 30% abaixo de 30 Mbps. Em países emergentes e em desenvolvimento, a exclusão digital ainda é extrema, pois 95% da

população desconectada encontra-se nesses países. Em tais localidades, as assinaturas por banda larga fixa são minoria (11,2%) e mais da metade das conexões são abaixo de 10 Mbps.

Com o advento da pandemia de covid-19, o uso de ferramentas digitais foi acelerado em todas as economias. Nos Estados Unidos, por exemplo, a taxa anual de crescimento do comércio eletrônico era de 10% antes da pandemia e cresceu para 24% de julho de 2019 a julho de 2020. O número de cursos *online* cresceu enormemente, bem como o número de pessoas em teletrabalho. Certamente, o mundo não será o mesmo após a pandemia, demandando ainda melhores infraestruturas de comunicações.

Para cobrir esse déficit, os governos de todo o mundo precisam aplicar recursos em infraestrutura e fomentar o investimento por meio da iniciativa privada. Será necessário abraçar o processo de digitalização, migrando para modelos de negócios digitais e apostando no desenvolvimento de habilidades ligadas a TICs. Vale lembrar, como visto na subseção 1.3, que a transformação digital não é um tema somente relacionado ao uso de novas ferramentas digitais, mas principalmente à transformação do capital humano necessário para conduzir todo esse processo. As capacidades e as habilidades de indivíduos e organizações são um fator-chave para a geração de riqueza e produtividade, e há claramente escassez de talentos em todo o mundo e desalinhamento com as necessidades futuras. Existe, também, carência de políticas para programas de qualificação e requalificação do mercado de trabalho, além da necessidade de expansão de investimentos na educação e formação das habilidades básicas para os empregos do futuro, repensando, em paralelo, leis trabalhistas e adaptando-as às novas demandas da força de trabalho. A digitalização não apenas criará novos empregos, mas também eliminará outros, principalmente os não qualificados. O objetivo deve ser conduzir as pessoas na nova jornada, fornecendo-lhes treinamento e desenvolvimento. É muito importante ter em mente que a transformação digital não é somente uma questão de melhoria da eficiência dos atuais processos e preparação das pessoas para lidar com isso. Deve-se dar também prioridade para a conscientização das empresas quanto à possibilidade de otimizar modelos de negócio existentes e explorar novos caminhos, agregando valor.

As economias que forem capazes de aperfeiçoar sua infraestrutura de TIC e expandir a adoção de tecnologias digitais estarão mais bem preparadas para o futuro próximo. Como os avanços tecnológicos continuam acontecendo em velocidade exponencial, os ganhos de produtividade de uma economia passam necessariamente pela capacidade das empresas de aproveitar as oportunidades oferecidas pelas novas tecnologias. Nesse sentido, todo o arcabouço legal precisa estar alinhado com o mundo digital, para que os modelos de negócio digitais

possam de fato ser alavancados. A tabela 2 traz os países mais avançados mundialmente nos quesitos adoção de TICs, habilidades digitais, estrutura legal digital e uso de acordos trabalhistas flexíveis adaptados à realidade digital. É possível notar que até mesmo países desenvolvidos, como Alemanha ou Japão, não se encontram entre os melhores em todos os critérios e também precisam trabalhar no sentido de prepararem-se para a próxima fase do crescimento econômico, em que a indústria 4.0 realmente chega a outro nível.

TABELA 2
Ranking dos principais países em termos de uso e estrutura preparada para o digital

Ranking	Adoção de TICs	Acordos trabalhistas flexíveis	Habilidades digitais	Estrutura legal digital		
1	Coreia do Sul	93,7	Holanda	82,7	Finlândia	84,3
2	Emirados Árabes Unidos	92,3	Nova Zelândia	77,7	Suécia	79,5
3	Hong Kong	90,2	Suíça	75,8	Estônia	77,9
4	Suécia	89,7	Estônia	75	Islândia	77,6
5	Japão	88,3	Estados Unidos	74,2	Holanda	77,3
6	Singapura	88,1	Luxemburgo	73,6	Singapura	77,3
7	Islândia	87,8	China	72,9	Israel	76,5
8	Noruega	84,7	Austrália	72,9	Dinamarca	74,1
9	Quatar	83,9	Finlândia	72,5	Arábia Saudita	74,1
10	Lituânia	83,8	Dinamarca	72,4	Coreia do Sul	73,0
					Holanda	65,5

Fonte: WEF (2020).

Obs.: A pontuação é expressa considerando uma escala de 0-100, que abrange a soma da avaliação de várias categorias.

A necessidade de buscar formas de elevar a participação da manufatura na produção econômica é latente, o que faz da digitalização um caminho inevitável para esses objetivos. A nova revolução industrial digital traz a promessa de maior velocidade na produção, flexibilidade na fabricação e personalização em massa, bem como melhor qualidade e produtividade. Mas é preciso agir rapidamente.

REFERÊNCIAS

BCG – BOSTON CONSULTING GROUP; DARDEN SCHOOL OF BUSINESS. **Digital transformation**. Charlottesville: BCG; Darden School of Business/University of Virginia, Aug. 2020.

BMVI – BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR. **Turbo-Internet für alle!** Das Bundesprogramm für superschnelles Breitband. Berlin: BMVI, 2016.

_____. **Gaia-X**: the European project kicks off the next phase. Berlin: June 2020. Disponível em: https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/gaia-x-the-european-project-kicks-of-the-next-phase.pdf?__blob=publicationFile&v=13.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Evolução dos desembolsos**. Rio de Janeiro: BNDES, 2021. (Séries setoriais). Disponível em: <https://www.bnDES.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/estatisticas-desempenho/desembolsos>.

CGI.BR – COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. **Banda larga no Brasil**: um estudo sobre a evolução do acesso e da qualidade das conexões à internet. São Paulo: CGI.br, 2018.

CRI – CAPGEMINI RESEARCH INSTITUTE. **5G in industrial operations**: how telcos and industrial companies stand to benefit. Paris: Capgemini, Apr. 2019.

_____. **Digitalisierung und intelligente Technologien**. Paris: Capgemini, 2020.

DAVIES, R. **Industry 4.0**: digitalisation for productivity and growth. Brussels: EPRS, Sept. 2015. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf).

EC – EUROPEAN COMMISSION. **Key lessons from national industry 4.0 policy initiatives in Europe**. Brussels: EC, May 2017.

ERICSSON. **Ericsson Mobility Report**. Stockholm: Ericsson, Nov. 2020.

EY – ERNST & YOUNG GLOBAL LIMITED. **Digital transformation for 2020 and beyond**: a global telecommunications study. London: EY, 2017.

FREEFORM DYNAMICS; FUJITSU. **The data-driven business**: a maturity perspective. United Kingdom, Dec. 2020. (Infographic). Disponível em: <https://sp.ts.fujitsu.com/dmsp/Publications/public/ig-ddts-maturity-perspective-en.pdf>.

HAN, Y.; PARK, B.; JEONG, J. **A novel architecture of air pollution measurement platform using 5G and blockchain for industrial IoT applications**. Suwon: Department of Smart Factory Convergence/SSKU University, 2019.

HUTTON, G. **Gigabit broadband in the UK**: government targets and policy. London: UK Parliament, 30 Apr. 2021. (Briefing Paper, n. CBP 8392).

HWANG, Y. Cellular IoT explained: NB-IoT vs. LTE-M vs. 5G and more. **IoT for all**, 26 June 2020. Disponível em: <https://www.iotforall.com/cellular-iot-explained-nb-iot-vs-lte-m>.

LICHTBLAU, K.; BERTENRATH, R. **Digital-Atlas Deutschland**. Köln: Iwconsult, März 2018. Disponível em: https://www.iwconsult.de/fileadmin/user_upload/pdfs/2018/digital-atlas.pdf.

SBEGLIA, C. Wi-fi, public 5G or private network: what's an enterprise to do. **IoT Insights**, Dec. 2020.

SPADINGER, R. **Implementação da tecnologia 5G no contexto da transformação digital e indústria 4.0**. Brasília: Ipea, Jan. 2021. (Nota Técnica, n. 79). Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10419/1/NT_79_Diset_ImplementacaoTecnologia5G_Industri4.0.pdf.

TELECOM investiu R\$ 31 bilhões em 2020 e aumentou número de empregos. **Conexis**, 11 maio 2021. Disponível em: <https://conexis.org.br/telecom-investiu-r-31-bilhoes-em-2020-e-aumentou-numero-de-empregos%E2%80%AF/>.

WEF – WORD ECONOMIC FORUM. **The Global Competitiveness Report**. Cologny, WEF, 2020.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BMVI – BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR. **5G strategy for Germany**: a scheme to promote the development of Germany to become a lead market for 5G networks and applications. Berlin: BMVI, July 2017.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

