Revista Brasileira de Sociologia | Vol. 06, No. 14 | Set-Dez/2018
Artigo recebido em 01.06.2018 / Aprovado em 15.08.2018
http://dx.doi.org/10.20336/rbs.414
10.20336/rbs.414

A Indústria 4.0 e o Futuro do Trabalho: Tensões e Perspectivas

Marcelo Augusto Vieira Graglia*
Noêmia Lazzareschi**

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar e analisar os dados fornecidos pelas recentes pesquisas sobre a utilização das tecnologias de informação, de comunicação e de inteligência e o seu impacto sobre os mundos do trabalho nos países mais desenvolvidos do mundo. Concentra-se não apenas na automatização e robotização do processo de produção, mas nas novas formas de execução do trabalho em todos os setores da vida econômica que se transformam graças à utilização da inteligência artificial, blockchain, big data e profusão de aplicativos para a satisfação de um sem número de necessidades sociais. Procura demonstrar as tensões sociais que resultam das profundas mudanças dos mercados de trabalho a partir da reestruturação produtiva provocada pela introdução das novas tecnologias e novas técnicas de gerenciamento do processo de trabalho, ressaltando não só um de seus efeitos negativos mais temidos pelos trabalhadores – o aumento do desemprego -, mas também e sobretudo as possibilidades de um futuro brilhante para toda a humanidade, definitivamente liberada das tarefas repetitivas, simplificadas, insignificantes que impedem a realização das potencialidades humanas de inteligência, criatividade, espírito crítico e iniciativa.
Palavras-chave: Indústria 4.0. Inteligência artificial. Desemprego estrutural.

* Doutor em Tecnologias da Inteligência e Design Digital pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP. Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté. Pesquisa inteligência artificial, indústria 4.0, cidades inteligentes, internet das coisas, trabalho, emprego e reestruturação produtiva. Professor da Faculdade de Economia e Administração da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

** Possui mestrado em Sciences Sociales Du Travail - Université Catholique de Louvain (1971) e doutorado em Ciências Sociais pela Universidade Estadual de Campinas (1995). Atualmente é assistente doutor da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Tem experiência na área de Sociologia, com ênfase em Sociologia do Trabalho, atuando principalmente nos seguintes temas: trabalho, turismo, reestruturação produtiva, emprego e tempo livre.

ABSTRACT

INDUSTRY 4.0 AND THE FUTURE OF WORK: TENSIONS AND PERSPECTIVES

This article aims to present and analyze the data provided by the recent research on the use of information technology and your impact on the world of work in the most developed countries in the world. Focuses not only on automation and robotization of the production process, but in new ways of performing the work in all sectors of economic life that if transformed thanks to the use of artificial intelligence, blockchain, big data and profusion of applications for the satisfaction of a number of social needs. Seeks to demonstrate the social tensions resulting from changes in labor markets from the productive restructuring brought about by the introduction of new technologies and new techniques of process management work, emphasizing not only one of his most feared negative effects by employees – rising unemployment – but also and above all the possibilities of a bright future for all humanity, definitely released of repetitive tasks, simplified, insignificant that prevent the realization of the human potential of intelligence, creativity, critical spirit and initiative.
Keywords: Industry 4.0. Artificial intelligence. Structural unemployment.

Introdução

O desenvolvimento da tecnologia ao longo da história da humanidade é normalmente reconhecido como o responsável por grandes e significativos avanços em campos tão críticos quanto diversos, como a alimentação, o transporte, a saúde e a qualidade de vida. Os benefícios propiciados pela tecnologia são absolutamente tangíveis, relevantes e intrinsecamente relacionados com o próprio desenvolvimento científico e civilizatório (CASTELLS, 2006).

No campo do trabalho humano, é histórico o temor pelos efeitos potencialmente destruidores da tecnologia sobre os postos de trabalho, simbolicamente representado pelo movimento ludista ocorrido na Inglaterra no início do século XIX. O ludismo foi um movimento de trabalhadores que utilizou a destruição de máquinas - prática que era comum entre os mineiros ingleses - como forma de pressionar os empregadores contra as condições precárias a que eram submetidos: jornadas exaustivas, ambientes de trabalho insalubres e baixos salários. O cenário se agravava com a introdução de máquinas que causavam demissões e substituição de funções mais qualificadas por outras de pouca exigência técnica e pior remuneradas. O momento histórico era de

turbulência econômica e desemprego em massa, com inúmeras famílias sendo assoladas pela fome. Questões de competição entre pequenos produtores também se faziam presentes (ROBSBAWM, 1952).

Novamente, a emergência de uma nova revolução tecnológica reacende a polêmica com debates entre visões diametralmente opostas: a daqueles que vislumbram um futuro brilhante, no qual a tecnologia liberta a humanidade da obrigação do trabalho ou ao menos do trabalho duro, repetitivo, desestimulante, ao mesmo tempo que elimina doenças, promove a longevidade, o conforto e o deleite com novas possibilidades lúdicas e sensoriais trazidas por novos e tecnológicos dispositivos, sistemas e ambientes digitais; em posição antagônica, a daqueles que temem as consequências potencialmente nefastas da proliferação da tecnologia de forma intensa por tantos campos sensíveis, como o trabalho, a medicina genética, o controle sobre as informações, sobre os veículos e mesmo sua aplicação no campo militar, criando novos e terríveis cães de guerra. Soma-se ainda o risco da desumanização das relações e da própria consciência humana, num cenário de pós-humanismo cibernético (FUKUYAMA, 2002). O que alimenta estes temores? Embora a informatização tenha sido historicamente confinada a tarefas rotineiras envolvendo atividades baseadas em regras explícitas, a inteligência artificial e os algoritmos para *big data* agora estão entrando rapidamente em domínios dependentes de reconhecimento de padrões e podem substituir prontamente o trabalho em uma ampla gama de tarefas cognitivas não rotineiras. Somando-se a isso, robôs avançados estão ganhando sentidos aprimorados e destreza, que lhes permitem executar uma ampla variedade de tarefas manuais. Isso provavelmente mudará a natureza do trabalho em empresas e profissões (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2011). Algumas mudanças já são percebidas. Os avanços nas interfaces de usuário, por exemplo, já permitem que computadores respondam com mais eficiência aos pedidos de clientes, reduzindo a necessidade de intervenção humana em algumas atividades de atendimento e serviços. Com a expansão da capacidade dos computadores, tarefas que já foram consideradas muito complexas para serem codificadas estão sendo convertidas em problemas bem definidos tratáveis através de soluções digitais (OSBORNE; FREY, 2014). Novas aplicações de alto desempenho no reconhecimento de fala e processamento de texto permitem interpretação simultânea, criação automática de textos-padrão complexos, bem como a análise de grandes volumes de texto para fins legais. Em medicina,

o *software* inteligente de reconhecimento de imagem pode melhorar significativamente o diagnóstico de muitas doenças e gerar aumento da capacidade produtiva para os médicos e afetar a classe dos clínicos gerais. Na área de cuidados de saúde, estão sendo testados sistemas interativos que podem promover o bem-estar psicológico e emocional de idosos, substituindo em parte o trabalho de assistentes e cuidadores.

Em suma, seja em relação ao trabalho industrial, de serviço ou de conhecimento, a digitalização está mudando todo o sistema sociotécnico de pessoas, organização e tecnologia. Em seus efeitos, há aspectos claramente positivos e outros que inspiram maior reflexão. A figura 1 ilustra a mudança no sistema sociotécnico do trabalho.

Figura 1: Mudança no sistema sociotécnico como resultado da digitalização



Fonte: BMAS (2017)

Na interface entre as pessoas e a tecnologia, as novas tarefas serão distribuídas com base nas respectivas forças situacionais e específicas, em que a tecnologia pode ajustar as prioridades e customizar a tarefa para a aplicação específica. Na interface entre organização e tecnologia, os subprocessos hierarquicamente separados, fragmentados, que até então foram executados um após o outro de forma sequencial, são substituídos por procedimentos integrados, simultâneos e descentralizados. Na interface entre homem e organização, surge a questão de adaptar tarefas e distribuir papéis. A mudança na interação homem-máquina abre, assim, novas oportunidades para o redesenho do trabalho e dos processos de produção. Surgem possibilidades para alívio do trabalho rotineiro e repetitivo, para o desenvolvimento das

habilidades dos funcionários e, mesmo, para a reconciliação da vida privada e trabalho, à medida em que este possa ser tornado mais eficiente, com menor demanda de tempo de dedicação e menos dependência de ciclos de máquinas e equipamentos. O aumento da flexibilização e a organização dos processos em rede abrem oportunidades mais interessantes de interação pessoas-máquinas, permitindo o trabalho mais remoto e alterando em parte a necessidade da presença física constante das pessoas nas instalações das empresas. Esta lógica adveio da revolução industrial, que deslocou o espaço-tempo de trabalho obrigando os indivíduos a agruparem-se em fábricas, em locais fisicamente determinados e em horários pré-estabelecidos (BMAS, 2017).

Um desenho mais apropriado para a era da interação homem-máquina pode contribuir para uma base mais adequada para as operações. Atividades ergonomicamente desfavoráveis podem ser substituídas, aliviando as pessoas da execução de tarefas fisicamente difíceis ou mentalmente estressantes. Desta forma, o estresse físico e mental pode ser reduzido. Mais oportunidades de inclusão no mercado de trabalho surgirão, pois as restrições devido a limitações físicas ou sensoriais podem ser compensadas com a ajuda de sistemas de assistência. As pessoas portadoras de necessidades especiais podem fazer um trabalho mais abrangente. Os trabalhadores mais velhos podem trabalhar mais e de forma mais saudável, o que é uma possibilidade estratégica no atual contexto demográfico, em que vários países estão enfrentando redução de sua força de trabalho por conta do envelhecimento, o que gera efeitos deletérios sobre suas economias (VOGLER-LUDWIG; DÜLL; KRIECHEL, 2016).

O aprimoramento de capacidade produtiva também se aplica à área cognitiva: a disponibilidade constante de informações preparadas com precisão contribui para melhor suporte ao processo de tomada de decisão ao mesmo tempo que possibilita a expansão e maior abrangência das análises e atuações decisórias, se forem suportadas por sistemas de assistência inteligentes. Sistemas de tutoria inteligentes poderiam permitir um nível muito maior de aprendizagem no processo de trabalho. As tarefas de trabalho podem ser projetadas e distribuídas de forma que considerem e promovam sistematicamente a capacidade física e mental de cada indivíduo que trabalha com o sistema autônomo. Essas novas potencialidades estão moldando o mundo do trabalho de amanhã e envolvem a digitalização, novas bases tecnológicas e oportunidades de colaboração, produção, organização dos negócios e dis-

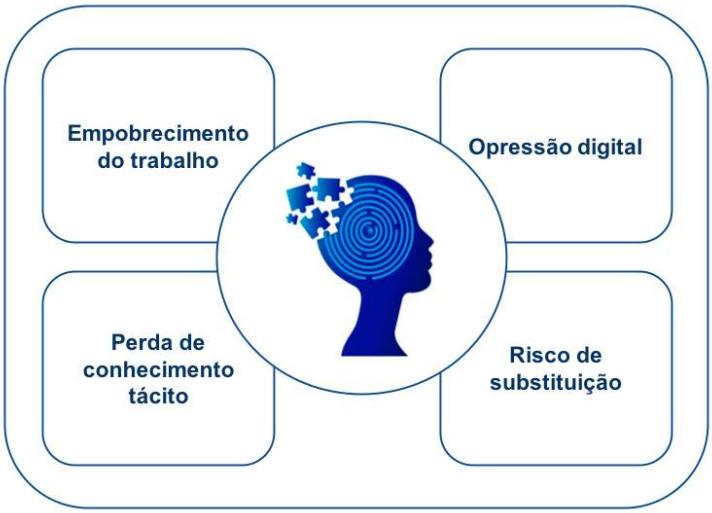
tribuição de bens e serviços. Vislumbram-se novas possibilidades para um novo tipo de trabalho no futuro: mais produtivo, mais flexível, mais em rede, com possibilidade maior de conectividade internacional. Ao mesmo tempo, criam pressão para a mudança, a necessidade de adaptação e a premência da inovação. Quanto mais percebemos o novo, quanto mais ele se mostra ou pode ser imaginado, mais decisivamente é possível moldá-lo de acordo com os valores e necessidades da nossa sociedade (BMAS, 2017).

Campos de tensão

A interação com sistemas complexos e cada vez mais autônomos também apresenta desafios para os trabalhadores. A adoção de sistemas e equipamentos tecnológicos avançados modifica a natureza do trabalho humano nas organizações e interfere em várias dimensões do ambiente de trabalho. A amplitude do trabalho pode ter sua complexidade enxugada até o ponto em que o humano se torna assistente da máquina e passa a realizar apenas tarefas complementares em que ela ainda seja improdutiva. Tal condição restringiria aos indivíduos a capacidade de desenvolver visão sistêmica e reduziria o significado do trabalho e o seu propósito, empobrecendo o processo de aprendizagem à medida em que habilidades específicas não seriam mais desenvolvidas pelas pessoas, gerando perda de conhecimento prático. Uma forma de opressão digital poderia se instituir, dadas as imensas possibilidades de monitoramento e controle do desempenho dos trabalhadores, numa alegoria literária, tal qual descrito no romance distópico "Mil novecentos e oitenta e quatro", publicado em 1949 pelo inglês George Orwell (ORWELL, 2004).

O risco de substituição permanente do trabalho humano pelas máquinas e sistemas interfere na questão da motivação dos trabalhadores, pois abala as suposições de estabilidade no emprego e, consequentemente, de garantia da renda e do sustento. Maslow, em sua teoria sobre as necessidades humanas e a motivação dos indivíduos, coloca a questão da segurança como sendo um dos requisitos básicos para a satisfação das necessidades humanas (SENGUPTA, 2011). A figura 20 indica as áreas de tensão que surgem a partir do contexto da digitalização e automação intensa dos processos de trabalho e operações.

Figura 2: Campos de tensão para o trabalhador diante do avanço da digitalização do ambiente de trabalho.



Fonte: os autores

Empobrecimento do trabalho

A interação pessoas-máquina pode tanto enriquecer as atividades para os funcionários, tornando-as mais integradas e significativas, como depreciá-las, conforme o modelo que seja adotado. O desenho do trabalho pode definir o uso dos sistemas para fornecer assistência para o indivíduo lidar com as novas complexidades. Também pode partir do princípio da simplificação e normalização exaustiva dos processos, tornando reduzida a possibilidade de aplicação do conhecimento e da experiência pelas equipes de trabalho (BMAS, 2017). Situações em que o funcionário segue apenas sinais ou comandos emitidos pelo próprio sistema tornariam o trabalho enfadonho e pouco significativo. Processos desenhados com automação excessiva, que buscam eficiência extrema, podem acabar por delegar apenas atividades residuais e monótonas aos trabalhadores, retirando o sentido do trabalho e destruindo a motivação de fazê-lo. Seria uma espécie de *taylorismo* digital, uma volta às origens da administração científica, cujos princípios fundamentais são a especialização, a padronização das tarefas, a divisão do trabalho em tarefas simples e capazes de uma execução que não demande qualificação profissional sofisticada, entre outras (TAYLOR, 1990).

Perda do conhecimento tácito

Um segundo campo de tensão diz respeito à importância do conhecimento baseado na experiência. À medida que o papel dos humanos é cada vez mais reduzido para mera supervisão dos processos automatizados, dificilmente os funcionários desenvolverão competência para operá-los, analisá-los criticamente e mesmo melhorá-los. O chamado conhecimento tácito, aquele que é fruto da experiência, adquirido pelo exercício da prática recorrente, termina por não se desenvolver nas equipes de trabalho, o que gera tanto dependência excessiva dos sistemas automatizados quanto esvaziamento da capacidade destas equipes de otimizar seus processos. O quadro 1 apresenta uma experiência desenvolvida na Toyota no Japão em que pessoas são reintroduzidas no trabalho de linhas de montagens para que possam identificar oportunidades de melhoria nos processos produtivos (TRUDELL; HAGIWARA; JIE, 2014). Experiência similar foi desenvolvida numa fábrica da Mercedes, em que a empresa entendeu que algumas atividades que haviam sido automatizadas deveriam novamente ser feitas por pessoas, inclusive para que a empresa não perdesse seu *know how* e pudesse ter certa flexibilidade em situações de falha de equipamentos (GIBBS, 2016).

Quadro 1: Experiência na linha de montagem da Toyota.

O caso da Toyota
Os fabricantes de automóveis adotam a automação e substituem humanos por robôs em suas linhas de montagens há muitos anos. Mas a Toyota, maior fabricante mundial de veículos, está literalmente dando um passo para trás e substituindo máquinas automatizadas em algumas fábricas no Japão e criando linhas de produção com razoável participação manual de pessoas.
É uma escolha não convencional para uma empresa japonesa. O Japão concentra, de longe, o maior número de robôs industriais do mundo: mais de trezentos mil. A noção de colocar pessoas de volta ao comando das linhas de montagem é contra intuitiva porque os robôs se tornaram muito eficientes em fazer as tarefas repetitivas com precisão absoluta e estão presentes na maior parte das atuais linhas de montagens automatizadas. Entretanto, em oposição à velocidade, precisão, baixo custo de produção e repetibilidade que os caracterizam, os robôs industriais não conseguem sugerir e encontrar formas de melhoria. Na visão dos gerentes da Toyota, a única maneira de melhorar os processos e promover mais reflexão sobre sua eficiência é colocar as pessoas de volta e fazê-las vivenciar a prática do *kaizen,* componente essencial do modelo de

gestão da Toyota, chamado Sistema Toyota de Produção, que prescreve a abordagem de melhoria contínua a partir do acompanhamento intenso, observação e realização das tarefas, como subsídio para que as equipes possam redesenhar os processos em busca de ganhos de qualidade e eficiência. O chefe deste projeto, Mitsuru Kawai, afirma que as pessoas que retomaram o trabalho realizado por robôs em mais de cem espaços de trabalho reduziram o desperdício na produção em 10% e ajudaram a encurtar o tempo de processo.

Fonte: Trudell; Hagiwara; Jie (2014). Elaborado pelos autores.

Opressão digital

Os mesmos dados que inicialmente são gerados para controle dos processos, equipamentos e máquinas podem ser utilizados para controle do desempenho das pessoas e mesmo controle comportamental. À medida em que pessoas e máquinas trabalham mais conectadas e em rede, é mais possível controlar e documentar informações sobre localização, desempenho e comportamento das pessoas. Em aplicações específicas, os robôs devem reagir ao comportamento de um trabalhador, movendo-se, por exemplo, para evitar choques e lesões. Isto requer, além de sensores apropriados, dados sobre os movimentos e a localização do trabalhador. Armazéns automatizados devem saber quanto tempo os trabalhadores despendem para retirar itens de seus locais de armazenamento. As luvas inteligentes somente podem ser úteis se determinados dados estiverem disponíveis sobre o funcionário e a ordem de trabalho. O que se tornará realidade em termos de configuração do trabalho no futuro dependerá não somente de aspectos de viabilidade técnica e rentabilidade financeira, mas também de negociação e estruturação social (BMAS, 2017).

Numa escala menor, dependerá das políticas e opções de arranjo que cada organização decidir estabelecer. A tipologia provável deve se resumir em duas configurações. Na empresa do tipo "arranjo centrado na tecnologia", a participação humana seria reduzida a atividades que não fossem passíveis de automação por razões técnicas, econômicas ou éticas, como, por exemplo, algumas atividades de cuidado com a saúde. Nessas empresas, haveria uma distinção bem marcante entre um pequeno contingente de pessoas simples, porém bem qualificadas para as funções operacionais e de apoio aos processos, e uma elite profissional fortemente focada em planejamento e controle

com qualificação profissional num nível bem superior ao primeiro grupo. Na empresa do tipo "arranjo centrado na colaboração", as pessoas exerceriam sua autoridade criativa, decisória e experimental, trabalhando em rede, divididas em equipes tecnicamente niveladas, menos distintas entre si, em que a separação entre o planejamento e controle e a execução ocorreria de maneira suave e quase superada, com todos atuando de forma sinérgica e complementar, apoiados por ferramentas inteligentes e sistemas avançados de assistência e mesmo redes de robôs colaborativos. O quadro 2 indica a tipologia possível num ambiente de uso intenso de tecnologia.

Quadro 2: Tipologia de organizações que fazem uso intensivo da tecnologia digital em seus processos de trabalho.

Tipo de empresa	Foco determinante	Distriuição de funções	Perfil da equipe
Arranjo centrado na tecnologia	Tencologia	Divisão clara entre planejamento e controle e execução	Hierárquico, desigual, com alto grau de divisão de classes
Arranjo centrado na colaboração	Colaboração	Funções compreendem planejamento, controle e execução	Homogêneo, com atuação complementar, colaborativa e em rede

Fonte: Os autores.

A opção por um dos tipos determinará as escolhas essenciais que a organização fará em termos do desenho da sua operação, incluindo a forma de estruturação conceitual e desenho dos seus processos, o tipo de equipamento, maquinário, robôs e sistemas que serão adquiridos, o arranjo físico e mesmo o tipo de mobiliário, as políticas de remuneração, a estrutura organizacional, a estrutura de cargos e salários, o estilo de liderança e o perfil da sua força de trabalho.

Risco de substituição

Existe uma crescente polarização das oportunidades no mercado de trabalho entre empregos de alta e baixa habilidade e remuneração, desemprego e subemprego, estagnação dos rendimentos de uma grande proporção de famílias e desigualdade de renda (ANTUNES, 2006; PIKETTY, 2015; MGI, 2016). O desenvolvimento da automação habilitada por tecnologias como a robótica e a inteligência artificial traz a promessa de maior produtividade, crescimento econômico, eficiência, segurança e conveniência. Entretanto,

essas tecnologias levantam questões difíceis sobre o impacto da automação nos empregos, nos salários, nas habilidades requeridas e na própria natureza do trabalho em si. Muitas atividades que são realizadas atualmente têm potencial para serem automatizadas (MGI, 2017a). Os trabalhos de menor qualificação, incluindo os serviços administrativos, possuem alto risco de substituição pela tecnologia.

Transformações nas organizações

As empresas e outras organizações estão também sendo afetadas pelas mudanças nas condições da economia e do trabalho geradas pela transformação digital: mudanças tecnológicas, inovação acelerada, alterações nas cadeias de fornecimento, mudança na arquitetura dos processos produtivos, surgimento de serviços baseados em grandes dados, entre tantas. Novas possibilidades e rumos no atendimento dos desejos dos clientes estão transformando processos de criação de valor e colocando demandas inteiramente novas para a organização mais flexível do trabalho humano e sua interação com sistemas e máquinas. Empresas e organizações são os espaços onde todas essas mudanças se amalgamam e se concretizam. A típica estrutura organizacional – vertical, hierárquica, preparada para produzir baseada em padronização, com portfólio rigidamente definido e busca permanente por maior escala – já vinha mudando ao longo dos anos ao adotar novos modelos e práticas de gestão como o *lean manufacturing, a* gestão da qualidade total, a gestão por processos, entre outros sistemas e técnicas de gestão (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009; CORRÊA; CORRÊA, 2017; CAMPOS, 1990). Diferentes modelos e possibilidades para conduzir a organização com sucesso aos seus propósitos podem ser aplicáveis. Sua escolha depende das suas características intrínsecas, contextos, porte, ramo de atuação, estilo e opções estratégicas. Algumas prezam pela estruturação rígida de processos, controles e planejamento, enquanto outras apoiam-se no trabalho de grupos criativos e mais informais, ou mesmo na condução inspiradora de líderes diferenciados (MASI, 2000).

O momento atual sugere transformações radicais em termos organizacionais, com a possível utilização de estruturas e ambientes colaborativos, intensidade de interfaces pessoas-máquinas, uso intenso da virtualização como recurso de desenvolvimento e análise de produtos, serviços e proces-

sos, atuação interna e externa em redes, foco mais acentuado na geração de valor aos clientes e usuários. No campo da manufatura, o modelo das fábricas inteligentes é bem representativo das novas configurações possíveis.

Transformações nos mercados de trabalho e nas sociedades

A discussão sobre o impacto dos robôs e da automação ganhou novas proporções quando os pesquisadores Carl Benedikt Frey e Michael Osborne da Universidade de Oxford publicaram um trabalho científico em 2013 que envolveu a análise de mais de setecentas ocupações de trabalho no Reino Unido e a probabilidade de serem automatizadas nos próximos vinte anos, ou seja, quais as chances dos trabalhadores que atuam nestas profissões serem substituídos por máquinas inteligentes. O estudo apontou que 35% dos trabalhadores do Reino Unido estão em risco de serem substituídos por máquinas nos próximos vinte anos. Com base neste mesmo estudo, há previsões de que metade dos empregos da União Europeia esteja ameaçada (OSBORNE; FREY, 2013).

Para classificar o grau de risco de automatização das ocupações, os pesquisadores consideraram algumas habilidades críticas que dificilmente podem ser incorporadas por máquinas e sistemas de inteligência artificial no atual estágio de evolução:

- Habilidade de percepção: entendimento de um contexto complexo, mesmo que subjetivo.
- Manipulação: especialmente de objetos irregulares.
- Criatividade: envolve a capacidade de inovação, a criação estética e artística, a criação de soluções para desafios não programados.
- Inteligência social: envolve a combinação de habilidades de negociação, persuasão, empatia e cuidado com o outro (OSBORNE; FREY, 2013).

As estimativas para os EUA sugerem que 47% da força de trabalho estejam em risco. Entre os aspectos já nítidos, estão a mudança da demanda em termos do nível de qualificação do profissional e as diferentes probabilidades de substituição tecnológica a que as atuais profissões estão sujeitas. Os avanços na tecnologia estão tornando uma ampla gama de tarefas não rotineiras automatizáveis, permitindo principalmente a substituição de

trabalhadores de baixa renda e baixa habilidade nas próximas décadas. A função de operador de telemarketing tem 99% de chance de desaparecer. Já a de assistente social tem apenas 0,3% de probabilidade de substituição (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2011). A figura 3 mostra a probabilidade de automação de algumas funções.

Figura 3: Probabilidade de automação para doze diferentes ocupações nas maiores economias. Em milhares de trabalhadores.

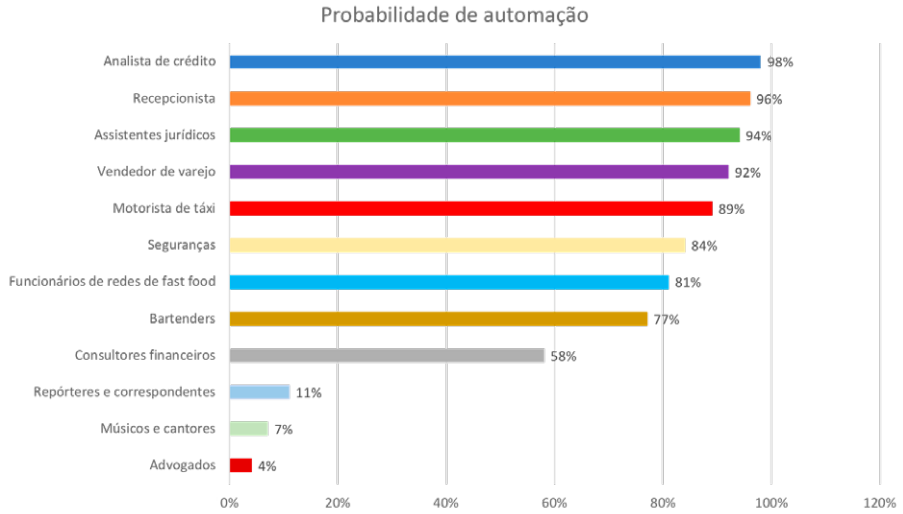


Fonte: WEF (2016).

Baixa qualificação, alto risco

Diferentemente de outros movimentos históricos semelhantes, a nova revolução digital impactará fortemente as ocupações de baixa renda e menor qualificação, em função das suas características tecnológicas. Pesquisa realizada em Londres aponta que um em cada três empregos corre risco de ser redundante pela tecnologia nos próximos 10 ou 20 anos. Em relação aos empregos de baixa remuneração, 63% estão classificados na categoria de alto risco de substituição (OSBORNE; FREY, 2013). O gráfico 1 indica o risco de substituição para algumas ocupações.

Gráfico 1: Probabilidade de automação para algumas ocupações



Fonte: WEF (2015). Elaborado pelos autores.

Por outro lado, ocupações que envolvem maior qualificação apresentam menor risco de substituição, sendo que algumas terão forte expansão da sua demanda. O Department of Labor do governo dos Estados Unidos afirma que 11 das 15 ocupações com previsão de maior expansão em número de postos de trabalho até o ano de 2024 tem como requisito de entrada nível superior de educação (BLS, 2017). Na Alemanha, os estudos que preveem expansão do PIB e crescimento do número de postos de trabalho com a implantação da Indústria 4.0 no país consideram que a oferta de mão de obra do cenário básico não será suficiente para cobrir a demanda por mais 530 mil profissionais qualificados com nível de educação superior até 2030. Neste número, incluem-se 170 mil bacharéis em direito, economia e sociologia, 140 mil engenheiros, 90 mil matemáticos e cientistas, assim como 70 mil cientistas sociais e bacharéis em letras, além de 30 mil historiadores e graduados no estudo das artes. O desafio será enfrentar a redução dos postos de trabalho ocupados por trabalhadores de baixa escolaridade e qualificação. Em 2014, havia um total de 7,8 milhões de pessoas com este perfil profissional na Alemanha. Acredita-se que 2 milhões de trabalhadores serão redundantes com a tecnologia até 2030 (VOGLER-LUDWIG; DÜLL; KRIECHEL, 2016).

Diferença entre setores econômicos

A estratégia de digitalização acelerada vai estimular um crescimento mais forte em alguns setores específicos da economia alemã. O setor de tecnologia de informação precisará de 120.000 adicionais até 2030, um crescimento de 17% em relação a 2014. Também profissões ligadas às áreas de vendas, engenharia mecânica, propaganda e marketing, mídia, compras, serviços financeiros, construção civil e serviços públicos se beneficiam. Por outro lado, o setor de varejo, setor gráfico e de fabricação de papel e administração pública terão queda no número de postos de trabalho. Um total de 27 setores da economia alemã terá diminuição da sua força de trabalho, com uma perda estimada de 750 mil empregados. As maiores perdas relativas acontecerão na indústria têxtil, no setor de vestuário e couro, mineração, telecomunicações, setor gráfico e fabricação de papel (VOGLER-LUDWIG; DÜLL; KRIECHEL, 2016).

Impactos diferentes nos países

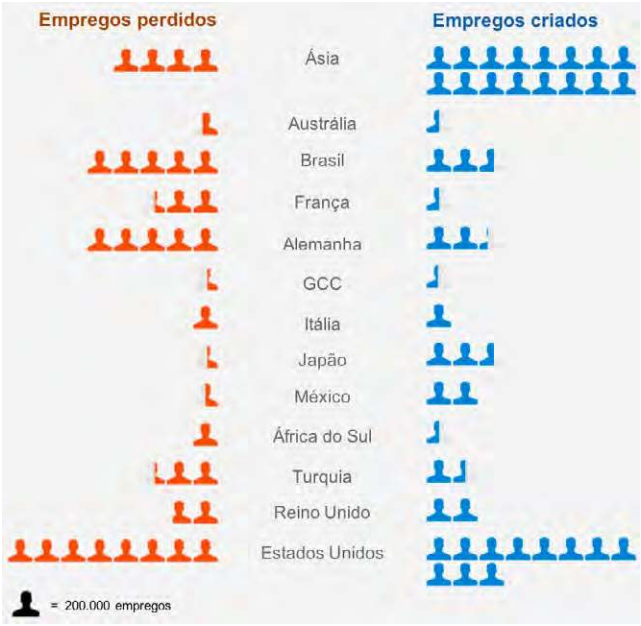
O impacto da digitalização sobre a economia e sobre o mercado de trabalho será diferente para cada país. Uma pesquisa feita pela Universidade de Oxford em parceria com o Citibank em janeiro de 2016 aponta a China, Índia e Tailândia como sendo os países potencialmente mais afetados em termos do risco de substituição do trabalho humano por conta da automação (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2011).

A automação orientada pela inteligência artificial pode ampliar a divisão internacional do trabalho, aumentando a defasagem econômica das nações mais pobres e tecnicamente atrasadas. Países que esperam um crescimento rápido da sua população e têm contado com um modelo de desenvolvimento econômico intensivo em mão de obra podem enfrentar novas ondas de agitação social, pois grandes segmentos da população perdem seus empregos para as máquinas (MGI, 2017d).

O mapa do impacto da tecnologia sobre os empregos não terá uma configuração baseada na geografia ou na tradicional divisão entre países de economia desenvolvida e em desenvolvimento – países emergentes. Ele se baseará num conjunto e combinação de fatores, que incluem: o potencial industrial de cada um, o perfil de participação de cada setor da economia no

PIB (agrícola, industrial e serviços), o nível educacional da força de trabalho, a capacidade de requalificar sua força de trabalho para os requisitos do ambiente digital e da Indústria 4.0, a estrutura demográfica do país, seu grau de desenvolvimento tecnológico e de inovação, a disponibilidade dos recursos necessários para adequar sua infraestrutura e garantir os investimentos necessários para a transformação, assim como a capacidade de organizar e gerenciar o processo de mudança (EUROPEAN COMMISSION, 2012; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBRIG, 2013; WEF, 2016; RANDER, 2016). A figura 4 indica os impactos previstos na força de trabalho de alguns países.

Figura 4: Disrupturas no mercado de trabalho.



Fonte: WEF (2016). Adaptado pelos autores.

Impactos diferentes em cidades

A cidade é a divisão administrativa e o espaço de viver onde a realidade se coloca de forma concreta aos indivíduos. No âmbito dos estados e da própria federação, a dimensão dos fenômenos é composta ora por um somatório, ora por uma média. É claro que as políticas e as decisões tomadas nestas esferas definem o contexto e certas condições determinantes; entretanto, é no espaço local que a realidade se tangibiliza de forma úni-

ca. De acordo com seu perfil técnico-econômico e cultural, cada cidade sofrerá seu próprio impacto com a revolução tecnológica que se desdobra. Por exemplo, o risco geral de substituição de empregos nos EUA nos próximos vinte anos é de 47%. As cidades com maior risco são Las Vegas e Fresno na Califórnia, esta com 54%. Já a suscetibilidade à automação das cidades de Washington, New York e Boston é de 38% (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2011).

As divisões podem acontecer mesmo entre regiões costeiras mais prósperas e regiões interiores menos desenvolvidas, assim como entre áreas urbanas e rurais. Considerar essas possibilidades será uma parte vital do planejamento para um futuro que inclua um papel importante para as tecnologias de inteligência artificial (MGI, 2017d).

No Reino Unido, a estimativa geral é que 35% das ocupações apresentam alto risco de substituição pela tecnologia. O risco para Londres é 30%, sendo que 19% dos empregos apresentam risco médio e 51% dos empregos apresentam risco baixo de extinção. A grande proporção de empregos de Londres na categoria de baixo risco reflete a especialização da cidade em habilidades sociais e criativas. Com alta densidade populacional num ambiente de forte interação social e de intercâmbio de ideias, Londres já é um centro para empregos mais qualificados do que outras cidades líderes em todo o mundo e possui o maior número de pessoas que trabalham em indústrias baseadas no conhecimento (OSBORNE; FREY, 2014). A figura 5 apresenta uma comparação do número de empregos de alta qualificação em algumas das principais cidades do mundo.

Figura 5: Número de empregos altamente qualificados nas principais cidades do mundo, 2013



Fonte: Deloitte (2015).

O ritmo da automação e seus impactos nos trabalhadores variará em diferentes atividades, ocupações e níveis de salário e habilidades. Alguns países sofrerão impactos maiores do que outros; assim como no âmbito das

cidades, os efeitos da transformação serão diferentes. Esta desproporção dos efeitos certamente desencadeará desafios para as cidades e países em termos de novos fluxos migratórios e imigratórios, desequilíbrios regionais, pressão sobre os serviços públicos e sobre os sistemas de proteção social.

Os fatores que determinarão o ritmo e a extensão da automação incluem o desenvolvimento contínuo das capacidades tecnológicas, o custo da tecnologia, a concorrência e qualificação da mão de obra disponível, a dinâmica da oferta e da demanda, os custos trabalhistas, as restrições regulatórias, condicionantes legais e a própria aceitação social e capacidade de liderança e condução da mudança. Os cenários sugerem que metade das atividades de trabalho de hoje poderia ser automatizada até 2055, com um intervalo de tolerância de mais ou menos 20 anos (MGI, 2017b).

A divergência nas taxas de adoção de novas tecnologias explica, em parte, a diferença de padrão de renda entre países ditos ricos e pobres, desde a Revolução Industrial (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2011). Os efeitos da automação podem ser lentos em um nível macro, em setores ou mesmo em economias inteiras, mas bastante rápidos em nível micro, para as pessoas cujas atividades são automatizadas ou para empresas cujas operações são interrompidas por concorrentes que adotem a automação avançada mais rapidamente (MGI, 2017b).

O futuro brilhante

Em termos dos efeitos sobre o emprego, a tecnologia, nos últimos 150 anos, por mão das suas revoluções, levou à criação de postos de trabalho e expansão da economia (STEWART; COLE, 2015). A automação e o progresso tecnológico não tornaram o trabalho humano obsoleto: a relação emprego-população aumentou durante o século XX e, embora a taxa de desemprego flutue ciclicamente, não há tendência aparente a longo prazo (OSBORNE; FREY, 2013).

O futuro ainda está sendo construído. Importantes economias mundiais, como Alemanha, Inglaterra e Estados Unidos, desenvolveram estudos e planos para se prepararem para as transformações desta revolução tecnológica. Bélgica, Suécia e Áustria também desenvolvem planos e ações de adequação de sua indústria. O sucesso de suas iniciativas definirá o impacto das mudanças sobre suas respectivas economias e mercados de trabalho (EURO-

PEAN COMMISSION, 2012; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBRIG, 2013; HOLDREN; LANDER, 2014; THINK ACT, 2015).

Na Alemanha, alguns críticos da pesquisa conduzida por Carl Benedikt Frey e Michael Osborne, da Universidade de Oxford, alegam que o seu prognóstico para eliminação de postos de trabalho por conta da automação é controverso, pois implica que tudo o que teoricamente pode ser automatizado será automatizado. Na sua crítica, alegam que somente é possível automatizar determinadas tarefas ou processos e não necessariamente profissões inteiras. Assim, segundo seu próprio modelo de previsão, a porcentagem de funcionários que trabalham hoje em empregos altamente vulneráveis na Alemanha seria de 12% e não 42%, como sugere Osborne e Frey. Em suas projeções, a força de trabalho na Alemanha em 2030 será aproximadamente a mesma de 2014, em termos quantitativos. Tal fato se relaciona com a questão demográfica (envelhecimento da população e aposentadoria) e também com a questão migratória. Estes dois fenômenos interferem significativamente na variação do PIB e da força de trabalho da Alemanha (BMAS, 2017). Considerando que a Alemanha tenha sucesso nos esforços de integração e qualificação dos imigrantes, enquanto força de trabalho capaz de contribuir para a atenuação dos efeitos da redução da população, assim como nas iniciativas já em vigor para preparar a indústria e a economia alemã para a Indústria 4.0, a digitalização acelerada poderia proporcionar aumento da produtividade e crescimento do PIB. O crescimento anual da produtividade no cenário de adoção acelerada da digitalização é de 0,8 a 1,4% (MGI, 2017b).

Em termos de emprego, num cenário de adoção acelerada da digitalização, a perda de 750 mil empregos por conta da substituição tecnológica seria compensada com a criação de um milhão de empregos até 2030 nos setores que serão favorecidos pela transformação econômica gerada pelos investimentos e adoção da Indústria 4.0 (BMAS, 2017).

Esta abordagem considera não apenas os riscos potenciais colocados pela digitalização, mas leva em conta os efeitos positivos da demanda que será gerada pela inovação de produtos, redução dos custos e preços. O produto interno bruto alemão em 2030 é estimado 4% maior do que seria sem a estratégia de adoção acelerada da digitalização conduzida pela iniciativa *Industrie 4.0*. O desemprego cairá em 20% e os rendimentos *per capita* serão 4% maiores. A implantação da digitalização acelerada, por sua vez, implicará num declínio maior do emprego no período entre 2025 e 2030, quando

100.000 postos adicionais serão eliminados na Alemanha por conta da racionalização, se comparado ao cenário de crescimento orgânico da digitalização da economia. Entretanto, considerando a queda no estoque de mão de obra (por questões demográficas), os efeitos da racionalização servirão para aliviar a escassez, garantindo que haja alto crescimento econômico apesar da redução quantitativa da força de trabalho. Os cálculos do modelo mostram que o uso estratégico e ativo da tecnologia digital será capaz de gerar notáveis efeitos positivos no crescimento econômico e no emprego. Os receios de que seja outra onda de desemprego tecnológico são infundados. Portanto, não é apenas uma ameaça para os empregos existentes, mas uma base para criação de novos (VOGLER-LUDWIG; DÜLL; KRIECHEL, 2016).

Várias tendências podem potencializar a demanda por mão de obra e gerar milhões de empregos até 2030. Estas tendências incluem a necessidade de serviços para cuidar de pessoas nas sociedades em envelhecimento, o desenvolvimento de produtos e de infraestrutura ligados às energias renováveis e ao aumento da eficiência energética (por conta dos desafios climáticos), a expansão do consumo nos países em desenvolvimento e também os investimentos em tecnologia, em infraestrutura e construção civil necessários em todos os países (MGI, 2017c).

Com o aumento da proporção da população mundial nas faixas etárias mais elevadas, mais pessoas estão se aposentando em diversos países. Como resultado, prevê-se que a taxa de participação da força de trabalho na economia diminua. No Japão, por exemplo, a população de 128,6 milhões de 2010 deverá cair para menos de 86,74 milhões até 2060 (HELPAGE, 2015; BLS, 2017). Nos EUA, a desaceleração do crescimento da força de trabalho é esperada e deve refletir numa taxa de crescimento do produto interno de 2,2% ao ano ao longo da década. Esse crescimento econômico é projetado para gerar 9,8 milhões de novos empregos - um aumento de 6,5% entre 2014 e 2024. As projeções são baseadas em premissas, incluindo uma taxa de desemprego de 5,2% em 2024 e crescimento da produtividade laboral de 1,8% ao ano em relação ao período projetado (BLS, 2017). A figura 6 mostra a evolução do número de pessoas com mais de 60 anos em algumas das maiores economias do mundo (IMF, 2017; HELPAGE, 2015).

Figura 6: Comparação entre países: proporção de pessoas com mais de 60 anos de idade (%).



Fonte: IMF (2017) e Helpage (2015). Elaborado pelos autores.

Com a redução evidente da população economicamente ativa nas principais economias do mundo, a tendência de queda nos produtos internos brutos pode ser aliviada por um aumento da produtividade. A digitalização da economia pode trazer este benefício se empreendida com sucesso. Para países como a Alemanha, por si só o ganho de produtividade esperado com a digitalização não é suficiente para compensar a queda no PIB. A integração dos imigrantes à força de trabalho é o segundo elemento decisivo para que a economia alemã possa continuar a crescer.

No período de 2000 a 2014, a migração proporcionou cerca de 40% do crescimento da força de trabalho no Canadá, Espanha, Reino Unido e Estados Unidos. Os migrantes tiveram uma contribuição para a produção global de cerca de US$ 6,7 trilhões, ou 9,4% do PIB global em 2015. No entanto, os trabalhadores migrantes, em média, ganham salários que são entre 20 a 30% inferiores aos dos trabalhadores nativos. Abordagens de integração mais eficazes poderiam lançar as bases para ganhos econômicos de até US$ 1 trilhão a nível mundial, beneficiando economias e indivíduos (MGI, 2017a).

Novos empregos surgirão

Cerca de um terço dos empregos criados nos Estados Unidos nos últimos vinte e cinco anos não existia ou era pouco expressivo em áreas como desenvolvimento de tecnologia da informação, fabricação de *hardware*, desenvolvimento de aplicativos, gerenciamento de sistemas de TI, segurança da informação, *web design,* SEO (*search engine optimization*), desenvolvimento de *games* etc. O impacto das tecnologias emergentes pode ser fortemente positivo para os empregos (MGI, 2017a). Além de 2025, novas indústrias e funções de trabalho serão criadas, mas são difíceis de prever, como, no passado, era difícil prever *smartphones* e redes sociais como temos atualmente. A automação tem impulsionado a produtividade e os retornos do capital e do trabalho há 200 anos (TRUDELL; HAGIWARA; JIE, 2014). A Internet foi responsável por 21% do crescimento do PIB nos últimos cinco anos nos países desenvolvidos. Entre as 4,8 mil pequenas e médias empresas pesquisadas, a Internet criou 2,6 postos de trabalho para cada emprego perdido devido a eficiências relacionadas com a tecnologia (MGI, 2011). Na França, a Internet contribuiu para que 500 mil empregos fossem destruídos entre 1985 e 2000. No mesmo período, por outro lado, ajudou a criar 1,2 milhões de outros, uma relação de 2,4 empregos criados para cada emprego destruído. O crescente papel do *big data* na economia e nos negócios criará a necessidade de aporte significativo de estatísticos e analistas de dados, estimado em 250.000 cientistas apenas nos Estados Unidos na próxima década. A tecnologia digital também estimulará novas formas de atividade empresarial. Empreendedores e trabalhadores em pequenas empresas e profissões autônomas podem se beneficiar de maiores oportunidades de trabalho e renda (MGI, 2017a).

Robôs podem trabalhar de forma colaborativa

A despeito dos temores pela intensificação do uso de robôs nas fábricas inteligentes, as empresas estão explorando as opções de uso dos *cobots* ou robôs colaborativos. Esta nova geração de robôs possui dois braços que atuam de forma sincronizada, o que lhes confere novas possibilidade de manuseio e movimento de pequenas partes ou peças. Incorpora a capacidade de "enxergar" - através de câmeras acopladas - e localizar seus objetos de interesse ajustando a amplitude dos seus movimentos. São equipados com

sensores de toque e aproximação que evitam que se choquem com os humanos com os quais trabalham de forma colaborativa em células de produção. A ideia é somar e combinar as habilidades mais fortes de humanos e robôs de forma a melhorar a eficiência da operação e mesmo libertar os indivíduos de parte de movimentos desgastantes ou repetitivos (ABB, 2018). Robôs são consistentes, confiáveis e não se cansam, mas não improvisam bem. As mudanças nas linhas de montagem exigem uma reprogramação minuciosa pelos humanos. A solução é conciliar inteligência artificial para orquestrar os processos produtivos, programando robôs e distribuindo tarefas aos humanos que trabalham ao lado deles (MCDERMOTT, 2018).

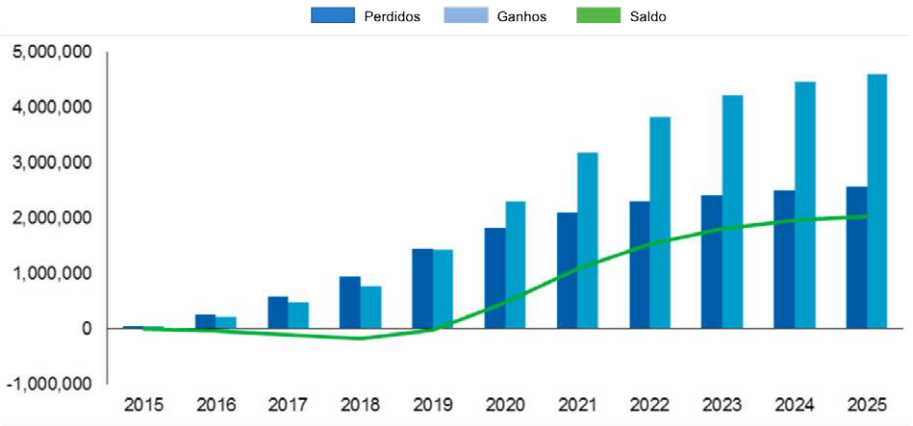
Numa fábrica da Mercedes-Benz, alguns dos seus robôs foram trocados por pessoas mais capazes em suas linhas de montagem. Os robôs não conseguem lidar com o ritmo das mudanças e com a complexidade das principais opções de personalização de alguns produtos comercializados pela empresa. Nestes casos, é possível reduzir os custos empregando pessoas no lugar de robôs. A indústria automotiva é a maior usuária de robôs industriais, responsável por cerca de 100.000 das unidades embarcadas em 2014. Na busca por um padrão de produtividade que permita gastar 30 horas para produzir um veículo (em 2005 a empresa gastava 61 horas), a Mercedes-Benz está utilizando uma configuração de trabalho que denominou de "agricultura robótica": pessoas trabalhando assessoradas por uma variedade de máquinas menores e mais leves e robôs colaborativos. A Mercedes, segundo maior fabricante mundial de carros de luxo, não está sozinha nesta mudança para sistemas mais flexíveis. Os concorrentes alemães BMW e Audi também estão testando robôs equipados com sensores e inteligência que são seguros o suficiente para trabalhar junto com seres humanos (GIBBS, 2016).

A Inteligência Artificial trará grandes oportunidades e criará mais empregos do que eliminará

Segundo a empresa de consultoria Gartner (2017a), a Inteligência Artificial criará 2,3 milhões de empregos até 2020, enquanto eliminará 1,8 milhão. Muitas inovações significativas no passado foram caracterizadas por um período de transição, que gerava perdas de empregos por certo tempo, ao qual se seguia uma fase de recuperação e de transformação nos negócios e mais prosperidade. A IA pode melhorar a produtividade de muitas organiza-

ções, eliminando milhões de posições de médio e baixo nível, mas também criando milhões de posições de nível médio e alto nível (GARTNER, 2017a). O gráfico 2 indica a evolução dos postos de empregos que serão gerados pela aplicação das tecnologias de Inteligência Artificial.

Gráfico 2: Impacto das tecnologias de Inteligência Artificial nos empregos do mundo até 2025 (em milhões).



Fonte: Gartner, 2017b. Adaptado pelos autores.

Pode-se esperar que a utilização da IA continuará crescendo de forma constante a partir de 2020. Em 2021, o aumento de IA gerará US$ 2,9 trilhões em valor comercial e recuperará US$ 6,2 bilhões de horas de produtividade do trabalhador. A longo prazo, a IA reduzirá o custo da mão de obra como uma porcentagem da receita, mas uma parte dessa receita continuará se traduzindo em novos empregos, embora empregos diferentes, de maior qualificação, com remuneração superior àqueles que foram tornados obsoletos (TRUDELL; HAGIWARA; JIE, 2014). As indústrias experimentarão diferentes níveis de economia de tempo e esforço. Apenas algumas indústrias sofrerão perda geral de emprego, outras terão perda de emprego por pouco anos. A maioria das indústrias sequer experimentará perda líquida de emprego. Atualmente, um grande número de empresas iniciou projetos e iniciativas de IA e os investimentos de capital estão levando a proliferação de *startups* de IA. A inteligência artificial já demonstrou resultados comprovados em diversas aplicações, como detecção de anomalias, cibersegurança, negociação de valores mobiliários, diagnósticos médicos, satisfação do cliente, classificação de sequências de DNA e muitos outros casos. Apesar da imensa

possibilidade de ganhos com o uso da IA, ainda persistem temores com sua utilização, em parte por se confundir seus efeitos sobre os empregos com aqueles gerados pela automação (TRUDELL; HAGIWARA; JIE, 2014).

O trabalho sem futuro

> Há mentes inteligentes em todos os lados desta questão. Alguns, como o professor Stephen Hawking, acreditam que o aumento de IA representa uma ameaça existencial. Ele disse a uma audiência de rádio da BBC: "Eu acho que o desenvolvimento de inteligência artificial completa poderia significar o fim da raça humana (MCDERMOTT, 2018).

Stephen Hawking, Elon Musk, Bill Gates e outros pesquisadores, cientistas e especialistas em inteligência artificial estão alertando sobre os perigos potenciais da inteligência artificial, a qual pode avançar além do controle humano à medida que se torna capaz de reescrever autonomamente seu próprio código de programação com base em interação, implementá-lo em escala, modificar seus objetivos a partir de análises de contextos e superar o intelecto humano em termos de capacidade de processamento (BBC, 2014). A ideia de que, em algum momento futuro, a inteligência artificial superaria a humana recebeu o termo de "singularidade tecnológica", a partir do texto do cientista e escritor Vernor Vinge (VINGE, 1993). A despeito dos temores a respeito destas possibilidades, o que já é certo é que a Inteligência Artificial e outras tecnologias, como biologia sintética, ciência computacional, nanotecnologia, computação quântica, impressão 3D, Internet das Coisas, veículos autônomos e robótica terão impactos fundamentais sobre a natureza do trabalho, da economia e da cultura até 2050. Se os sistemas socioeconômicos não se adequarem para um cenário de aceleração tecnológica, integração e globalização digitalizada, então metade do mundo pode estar desempregado em 2050 (GLENN; FLORESCU, 2015).

Um dos pontos que vale a pena destacar nesta discussão sobre inteligência artificial é a urgência de uma gigantesca e profunda reestruturação mundial envolvendo diversos sistemas, mecanismos, políticas, investimentos, processos de produção e distribuição, sistemas educacionais, entre tantos outros, para suportar as transformações que estas novas tecnologias já estão provocando e que, em poucos anos, atingirão novos patamares de complexidade e potência – o que é consenso entre otimistas e pessimistas. Tal re-

estruturação depende, ainda, de um excepcional esforço colaborativo e de enorme capacidade de articulação política para envolver inúmeros atores, em muitos casos, com interesses distintos e contraditórios. Soma-se a isto o desafio de gerenciar uma iniciativa que, em termos de complexidade, se assemelha a uma gigantesca operação de guerra, como o plano de retomada da Europa na Segunda Guerra Mundial, que culminou com o desembarque das tropas aliadas nas praias da Normandia, na França, em 6 de junho de 1944, após mais de um ano de planejamento e preparação. Em outras palavras, todos os ganhos em termos de preservação dos empregos e até mesmo seu crescimento, como destacado em algumas previsões (VOGLER-LUDWIG; DÜLL; KRIECHEL, 2016; GARTNER, 2017a; BMAS, 2017), são supostamente viáveis desde que todas as premissas sejam atendidas e que diversas restrições sejam superadas. Mesmo países estruturalmente bem preparados e organizados para o enfrentamento desta transformação, como a Alemanha, dependem de uma combinação de fatores complexos para obter sucesso. Com sua população economicamente ativa diminuindo por conta da curva demográfica, a Alemanha apoia sua estratégia em dois pilares: a integração dos imigrantes como força de trabalho e o aumento da produtividade necessário para compensar o risco de contração econômica. O primeiro pilar traz o desafio da inserção social associado a um bem-sucedido programa de educação e qualificação desta mão de obra. O segundo depende do sucesso na implantação acelerada da Indústria 4.0 – para o qual o país já está se movimentando de forma surpreendente. A Alemanha estabeleceu uma dupla estratégia em relação a Indústria 4.0: obter os ganhos de eficiência e produtividade na sua própria indústria de forma que possa produzir com menos recursos humanos e, ainda, se tornar uma fornecedora mundial de equipamentos, sistemas e soluções de manufatura avançada para outros países que buscarão adequar seus próprios parques e configurá-los para o ambiente de digitalização. Para sua estratégia lograr sucesso, além dos próprios desafios e condicionantes internos, precisa, por um lado, se impor como fornecedora competitiva enfrentando a competição de outros países. Por outro, depende do ambiente econômico externo. A OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – aponta perspectivas frustrantes para a economia mundial até 2060, com uma taxa de crescimento do PIB para os países que compõem a OCDE e o G-20 estimada em 2,7% ao ano. No período compreendido entre 1996 e 2010, o crescimento anual do PIB foi de 3,4% (OECD, 2012).

Esta análise dos desafios da Alemanha, dentro de uma bem elaborada estratégia de digitalização, serve para ilustrar quão desiguais e incertos serão os impactos da digitalização avançada entre os países. Também sugere uma visão mais cautelosa sobre os impactos que as novas tecnologias combinadas em inovações disruptivas podem trazer para o trabalho, o emprego e a sociedade como um todo. Enfim, há consenso sobre os efeitos deletérios, mas não há sobre a possibilidade concreta de se obter os benefícios possíveis e sobre a intensidade prevista em algumas projeções. Também já é evidente que, mesmo num cenário positivo, haverá perdedores. Tanto em termos de nações, cidades, empresas e indivíduos. Não existe, neste caso, um "ganho médio". A afirmação meramente quantitativa de que, por exemplo, a criação de um milhão de novas vagas compensará a extinção de 750 mil não é verdadeira do ponto de vista micro, do ponto de vista do indivíduo ou de grupos de indivíduos. O trabalhador de baixa qualificação dispensado por sua função ter se tornado redundante com a tecnologia não conseguirá ocupar uma das novas vagas que exigem um mais alto padrão de formação. Neste caso, também há consenso de que a maior parte dos atingidos pelos efeitos da automação e digitalização serão as pessoas que exercem as funções que não exigem qualificação sofisticada e que recebem baixa remuneração em termos de salário. A consultoria McKinsey estima que as necessidades de transição de carreira serão enormes, considerando onde ela é viável, e envolverão pelo menos 375 milhões de trabalhadores que precisarão desenvolver novas habilidades, no caso de sucesso na adoção rápida da digitalização pelos países. Se a transição for lenta, o desemprego aumentará e ainda provocará depreciação dos valores dos salários (MGI, 2017c).

Segundo Osborne e Frey (2013), 47% dos empregos se enquadram na categoria de alto risco, ou seja, empregos que podem ser automatizados em período relativamente curto, na próxima década ou duas décadas. Destes, pela primeira vez na história, estarão ameaçados os empregos em inúmeras atividades do setor de serviços, incluindo serviços administrativos e o chamado trabalho do conhecimento.

O desemprego estrutural atinge finalmente o setor de serviços

Dois aspectos merecem destaque quando se avalia o fenômeno da ameaça de desemprego estrutural no setor de serviços: em primeiro lugar, o setor de serviços é o maior responsável pela geração de riqueza na maioria dos países de economia desenvolvida e países emergentes, respondendo pela parcela principal do seu PIB. Na Alemanha, o setor de serviços responde por cerca de 70% do PIB e no Brasil por cerca de 75%. Também é responsável pela maior parte dos empregos. Na Alemanha compreende 72% dos empregos e nos Estados Unidos 80,1% (BLS, 2017; IBGE, 2018; DW, 2018).

A adoção da automação de processos, tecnologias de reconhecimento de documentos eletrônicos e inteligência artificial abrem inúmeras possibilidades de otimização (VOGLER-LUDWIG; DÜLL; KRIECHEL, 2016). Diversas ocupações do setor de serviços serão impactadas, afetando a maioria dos trabalhadores em atividades de transporte e logística, trabalhadores de escritórios e de apoio administrativo, como analistas. Também os trabalhadores administrativos das fábricas serão afetados (OSBORNE; FREY, 2013). A digitalização do setor de serviços atingirá de forma importante o serviço público. As previsões de redução já estão consolidadas em alguns países, como Alemanha e Estados Unidos, onde se espera redução de 15% das ocupações somente nos serviços públicos federais até 2024 (BLS, 2017).

Automatizando as funções do trabalhador do conhecimento

A nova fronteira para a diferenciação competitiva nas empresas não é mais a automação de transações e manutenção de registros, trata-se agora de permitir experiências de transações com clientes e fornecedores, bem como entre as mais diversas funções dentro da própria organização. Envolve gerenciar processos, interfaces e vínculos entre diferentes sistemas, lidar com exceções a transações, conformidade, prevenção e mitigação de riscos, reação a fraudes, definição de contingências e tratativas de emergências. Em suma, a vantagem estratégica vem da integração de informações e aplicativos para automatizar as funções do trabalhador do conhecimento (DAVIS, 2006).

O desafio da automatização do trabalho do conhecimento e da potencialização deste trabalho envolve mais do que tornar os sistemas e as informações interoperáveis. Trata-se de computação com conhecimento, que envolve o domínio sobre a teoria e as informações necessárias para realizar uma tarefa. Os sistemas de informação se concentravam em trazer informações para o trabalho, isto é, a consciência da situação. O conhecimento necessário para fazer um trabalho é algo que depende do humano, que um funcionário deve trazer consigo através de educação e experiência prévias ou adquirir através da aprendizagem (no próprio trabalho ou por treinamento formal). Esta educação é dispendiosa para ser adquirida e provisionada, assim como o é o processo de aprendizagem, que, normalmente, ainda demanda tempos significativos para se concretizar. Existe, ainda, o risco da perda do conhecimento, que em parte se vai com as pessoas que se desligam da organização, gerando determinado retrocesso que tornará necessária nova fase de experimentação e assimilação, com a inevitável repetição de falhas. A automação do trabalho de conhecimento está sendo feita a partir de uma nova abordagem, visto que não basta que se ofereça apenas a informação, mas também toda a teoria e os modos de raciocínio necessários para realização de um trabalho ou uma tarefa (DAVIS, 2006). As soluções que estão surgindo lidam com bases de conhecimento de grande escala, formas complexas de avaliação da situação, modos sofisticados de raciocínio baseados em valores e comportamentos de sistemas autônomos. Chamadas de tecnologias *semânticas,* lidam com os desafios da infraestrutura centrada na rede, automação do trabalho do conhecimento e sistemas de construção que sabem o que estão fazendo, pois aprendem e se fundamentam como os humanos. As *tecnologias semânticas* são capacidades funcionais que permitem aos computadores criar, descobrir, representar, organizar, processar, gerir, fundamentar, apresentar, compartilhar e utilizar significados e conhecimentos para atingir fins comerciais, pessoais e sociais (BUXMANN; HESS; RUGGABER, 2009; THESEUS, 2018).

Serviços de assessoria jurídica e serviços financeiros já estão começando a ver os benefícios da automação do trabalhador do conhecimento. Os escritórios de advocacia, por exemplo, estão usando computadores que podem examinar milhares de esclarecimentos e precedentes legais para auxiliar no trabalho de pesquisa preliminar que pode envolver centenas ou milhares de horas de trabalho. O sistema *Clearwell* da Symantec usa análise de lingua-

gem para identificar conceitos gerais em documentos e apresentar os resultados graficamente. Em um caso, esse software conseguiu analisar e classificar mais de 570.000 documentos em dois dias. Nos serviços financeiros, a inteligência artificial tem desempenhado um papel importante nas análises e nos processos de transações financeiras há algum tempo. Os bancos estão utilizando a aprendizagem de máquina para detectar fraudes e identificar situações como cobranças ou reclamações fora do comportamento normal de compra de uma pessoa. Mesmo serviços como o *Future Advisor* usam a inteligência artificial para oferecer conselhos financeiros personalizados de forma econômica e em escala. Estima-se que, até 2025, ganhos de produtividade de 45 a 55% possam ser alcançados sobre o trabalho de uma massa de 25 milhões de trabalhadores do conhecimento deste setor, o que levaria ao impacto econômico de US$ 600 a US$ 800 bilhões por ano (MGI, 2013).

Inteligência Artificial e a Morte do setor de TI da Índia

Ao longo dos últimos 25 anos, a Índia emergiu como um importante destino para a tecnologia da informação - a contrapartida de serviços de baixo custo para o que a China faz em termos de fabricação de baixo custo. Mas o nicho de serviços de TI de baixo custo que a Índia ocupa é altamente vulnerável à automação pela inteligência artificial. Novas capacidades, como o código de autorreparação, reduzem a necessidade de implantação em grande escala de profissionais de TI baratos. Sistemas habilitados para voz e a personalização cada vez maior deverão diminuir, se não eliminar, a demanda para os centros de chamadas, pelos quais a Índia tornou-se famosa. Cerca de 69% dos empregos na Índia estão em risco de deslocamento devido à inteligência artificial e automação (SINGH, 2017). Nas cinco principais empresas de serviços de TI da Índia, há queda no crescimento do emprego de até 40%. Em particular, a *Wipro* lançou uma plataforma de inteligência artificial conhecida como *Holmes* que usa ferramentas que realizam tarefas repetitivas e demitiu 12 mil funcionários. A Índia enfrenta enormes desafios colocados pela revolução tecnológica em curso. Se nada for feito, cerca de 69% dos trabalhos estarão perdidos para automação e a Índia testemunhará uma crise como nunca viu antes (SINGH, 2017).

Tecnologia atinge setor de saúde e assistência social

O setor de cuidados com saúde e assistência social é uma das promessas de expansão para o emprego. Nos EUA, sua participação foi de 12% em 2014 e as projeções indicam um aumento da participação para 13,6% da força total de trabalho em 2024. Espera-se que sejam adicionados mais de 4 milhões de novos postos de trabalho (BLS, 2017). Entretanto, mesmo este setor em grande expansão por conta da curva demográfica também apresenta oportunidades de racionalização. Robôs começam a ser usados para limpeza, testes laboratoriais, atendimentos e outros serviços. Os efeitos negativos sobre o emprego surgem também para profissionais de saúde médica, em especial profissões de laboratório e enfermagem (VOGLER-LUDWIG; DÜLL; KRIECHEL, 2016). A automação do trabalho de conhecimento pode ter efeitos importantes nos serviços de cuidados de saúde. Os oncologistas no *Memorial Sloan-Kettering Cancer Center* em Nova York estão usando o supercomputador Watson da IBM para fornecer diagnósticos de tratamento crônico e tratamento do câncer, acessando o conhecimento de 600 mil relatórios de evidências médicas, dois milhões de páginas de texto de literatura científica de 42 revistas médicas e 1,5 milhão registros de pacientes e ensaios clínicos no campo da oncologia, além dos dados clínicos e genéticos do paciente. Com isto, o Watson compara os sintomas individuais de cada paciente, sinais vitais, histórico familiar, medicamentos utilizados, estrutura genética, dieta e rotina de exercícios para diagnosticar e recomendar um tratamento com maior probabilidade de sucesso (IBM, 2017). Já a empresa Wellpoint adotou a tecnologia do Watson para oferecer suporte a decisões e acelerar o processo de aprovação de requisições médicas, que antes levavam dias e agora são concluídas em alguns segundos. Isso só foi possível porque o sistema foi treinado com 25 mil casos históricos, aos quais são aplicadas técnicas de geração de hipóteses e aprendizado baseado em evidências para gerar recomendações que auxiliam na tomada de decisão. A computação cognitiva na saúde também pode auxiliar na redução de custos e no aumento da eficiência das organizações, por meio do cruzamento de dados que permitem uma gestão mais eficiente (IBM, 2017).

Varejo: um gigantesco gerador de empregos

Um setor também bastante relevante e intensivo em mão de obra é o varejo. O setor de varejo é o 4º maior gerador de empregos nos EUA, sendo responsável por cerca de 15,820 milhões empregos em 2016. A tabela 1 indica a participação dos quatro maiores setores geradores de emprego nos EUA (BLS, 2017).

Tabela 1: Participação dos maiores setores no total dos empregos nos EUA em 2016

Setor	Participação no total de empregos
Serviços profissionais e de negócios	12,9%
Governos estaduais e locais	12,4 %
Cuidados com saúde e assistência social	12,2 %
Varejo	10,1%

Fonte: BLS (2017). Elaborado pelo autor.

O varejo multicanal tem uma estrutura de custos complexa baseada em dois principais fatores: custo dos bens vendidos e custo da mão de obra. Os desafios competitivos e os investimentos necessários para melhorar a experiência dos clientes implicarão na automatização de tarefas e processos, que permaneceram inalterados por décadas. Com a aplicação de tecnologias como IA e robótica, os varejistas querem usar a automação de processos inteligentes para identificar, otimizar e automatizar atividades intensivas e repetitivas. Muitos varejistas já estão aplicando o processo de check-out automático em suas lojas (GARTNER, 2017a). O Walmart, maior empresa mundial de varejo, está atualmente testando um processo de digitalização e varredura habilitado pelo dispositivo móvel do cliente. Alguns varejistas estão experimentando soluções robotizadas com assistentes virtuais para atendimento ao cliente. A iniciativa do Walmart na adoção da digitalização em suas operações de varejo tem um significado importante. O Walmart é a empresa com a maior receita mundial (485,873 bilhões de dólares) e maior empregadora com 2,3 milhões de funcionários (FORTUNE, 2017). A gigantesca empresa fundada em 1962 nos EUA é a precursora histórica da implantação do conceito *quick response* em 1986, através de um projeto feito em parceria com a empresa Procter & Gamble. Este projeto aplicava conceitos derivados do sistema *Just in time* da Toyota ao varejo, propondo a utilização de tecnologia de sistemas para viabilizar a troca em tempo real de informações de venda,

produção e entrega entre participantes da cadeia de fornecimentos, com o objetivo de otimizar a gestão de estoques, produção e entrega e, assim, reduzir os custos envolvidos através da redução da incerteza de fornecimento – que estimula a formação de estoques de segurança – e da sincronização da cadeia de fornecimento. Os conceitos utilizados neste projeto foram consolidados e difundidos no setor de varejo a partir criação em 1992 do movimento ECR – *Efficient Consumer Response*, que lançou as bases do sistema *supply chain management*, ou gerenciamento da cadeia de suprimentos, adotado por outras indústrias (WOOD, 1993; CHOPRA; MEINDL, 2015).

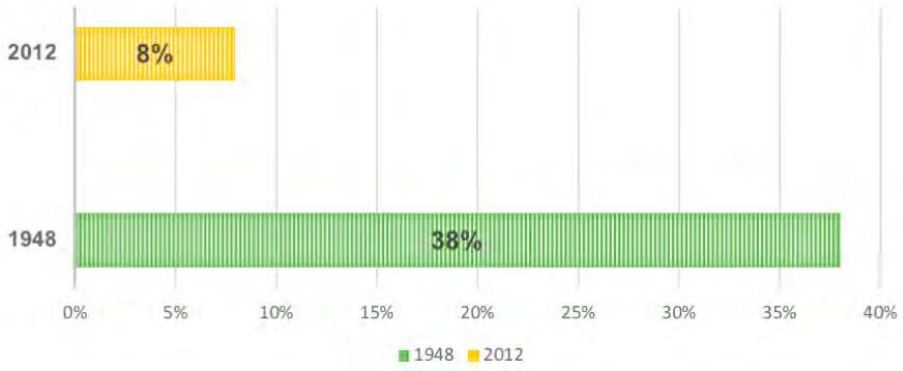
Em outras palavras, o Walmart, por sua importância no varejo mundial, seja pela influência que exerce sobre uma enormidade de empresas relevantes que são suas fornecedoras ou sobre seus concorrentes, propiciará, sem dúvida, a disseminação em escala da digitalização pelo varejo mundial e também pela indústria de alimentos, vestuário, produtos de limpeza e higiene e outras que participam da cadeia de fornecimento do varejo. Outra questão relevante sobre seu envolvimento no uso das novas tecnologias de digitalização é que o Walmart possui forte direcionamento para a eficiência, sendo referência mundial na adoção de princípios, na aplicação de técnicas e na adoção da tecnologia como instrumento para ganhos constantes de eficiência operacional. Isto sugere que a propagação da digitalização sobre os processos e operações do varejo será intensa, assim como a busca por ganhos de eficiência.

O setor de varejo nos EUA já vem apresentando redução de seus postos de trabalho da ordem de 3%, como resultado da digitalização (VOGLER-LUDWIG; DÜLL; KRIECHEL, 2016). Os cortes no setor são relativamente pequenos frente à economia do país como um todo. Entretanto, para os americanos buscando uma porta de entrada no mercado de trabalho, é um obstáculo. Contratos em lojas de comércio representam um terço dos primeiros trabalhos de jovens nos Estados Unidos. Em 2020 a tecnologia trará impactos maiores. Estima-se que os dez principais varejistas apliquem algoritmos avançados que permitirão corte de até um terço das equipes de *merchandising.* Pelo menos um grande varejista multicanal pilotará uma loja física totalmente automatizada e sem suporte humano. Aplicativos de conversação e atendimento digital processarão 50% dos pedidos de atendimento ao cliente (GARTNER, 2017b).

O segundo, mas não menos importante, aspecto que merece destaque quando se avalia o fenômeno da ameaça de desemprego estrutural no setor de serviços é que este setor, historicamente, absorveu parte da mão de obra

que foi sendo eliminada do setor agrícola e industrial por conta dos seus próprios processos de automação e aumento de eficiência. Por abarcar variadas atividades que exigem baixa qualificação, o setor de serviços gerou oportunidades de trabalho e renda para egressos da indústria e do campo (OSBORNE; FREY, 2013). Estes setores vêm apresentando curvas típicas e decrescentes de absorção de mão de obra. O gráfico 3 mostra a redução da participação do emprego na indústria no Reino Unido.

Gráfico:3 Taxa de emprego na manufatura no Reino Unido.



Fonte: Deloitte (2015). Adaptado pelos autores.

Em termos de migração da mão de obra, não haverá mais a possibilidade de um setor absorver grandes quantidades de trabalhadores de outros, visto que agora todos seguem a lógica da automação com ganhos de produtividade sendo obtidos através da substituição do trabalho humano.

A demanda por trabalhadores qualificados

Parte da visão otimista com a construção de um futuro brilhante sustentado pela digitalização da economia se baseia na expectativa de criação de novos postos de trabalho mais qualificados e melhor remunerados (TRUDELL; HAGIWARA; JIE, 2014). Entretanto, a oferta de mão de obra no cenário básico pode não ser suficiente para cobrir os requisitos de qualificação de uma estratégia de digitalização acelerada, mesmo em países desenvolvidos como a Alemanha (VOGLER-LUDWIG; DÜLL; KRIECHEL, 2016). Os sistemas educacionais não acompanharam a mudança da natureza do trabalho, resultando em muitos empregadores dizendo que não conseguem encontrar trabalhado-

res suficientes com as habilidades de que eles precisam. Em uma pesquisa da consultoria McKinsey com jovens e empregadores em nove países, 40% dos empregadores afirmaram que a falta de habilidades foi o principal motivo para as vagas de emprego não terem sido preenchidas. 60% disseram que os novos diplomados não estavam adequadamente preparados para o mundo do trabalho. Houve lacunas em habilidades técnicas, mas também em habilidades básicas, como comunicação e trabalho em equipe (MGI, 2017a).

Considerações Finais

Os impactos que as novas tecnologias podem gerar sobre a força de trabalho do século XXI têm precedentes e são de uma ordem de grandeza semelhante às mudanças ocorridas em outros momentos da história. Essas mudanças não resultaram em desemprego em massa a longo prazo, porque foram acompanhadas da criação de novos tipos de trabalho (MGI, 2017b). Entretanto, não podemos dizer definitivamente se as coisas acontecerão da mesma forma desta vez. Quando uma empresa desenvolve seu planejamento tendo como base exclusiva os seus resultados históricos e os recentes - por exemplo os resultados do ano fiscal anterior - e manipula estes dados matematicamente para identificar sazonalidades e captar eventuais tendências que, na sequência, são analisadas sob a luz de algumas informações externas - como a situação da economia, taxas de câmbio e situação dos concorrentes –, diz-se que ela está tentando andar para frente olhando pelo retrovisor.

A nova revolução tecnológica traz características determinantes que a diferenciam estruturalmente das revoluções anteriores. A velocidade com a qual a transformação está ocorrendo, o ciclo reduzido de escalabilidade das novas tecnologias, a quantidade de tecnologias disruptivas surgindo ou amadurecendo simultaneamente e a diferente demanda de qualificação para os trabalhadores - que privilegia algumas ocupações à medida que exclui outras – são algumas das diferenças em relação ao passado. Inovações tecnológicas, como a chamada *nuvem humana,* afetarão dramaticamente a estrutura e o mercado de trabalho. Imaginar as perspectivas do futuro do trabalho sem considerar estas diferenças seria um equívoco. Podem-se considerar como características diferenciadoras da nova revolução tecnológica em termos do impacto sobre o trabalho:

- Novas empresas que não geram empregos;
- Novas tecnologias que favorecem a substituição do trabalho humano;

- A compactação das cadeias produtivas;
- Corporações ainda maiores com menor número de concorrentes;
- Velocidade acelerada da transformação;
- Impacto nos três setores da economia;
- Novas oportunidades que não são inclusivas.

O quadro 3 apresenta as características diferenciadoras da nova revolução tecnológica.

Em curso, portanto, uma profunda transformação não apenas nos mundos do trabalho, mas em todas as dimensões da vida social e da vida de todas as pessoas. Sem dúvida, as novas condições de trabalho que se impõem inexoravelmente a todos os países do mundo numa economia globalizada exigirão a elaboração de novas políticas públicas que permitam responder rápida e adequadamente aos novos desafios, sobretudo o de preparar as novas gerações dos países emergentes e em desenvolvimento para o enfrentamento do processo contínuo e veloz de mudanças, o que requer especial atenção ao processo educacional de crianças e jovens. E isso porque, se o século XX foi o século do forte assalariamento da classe proletária graças aos milhões de empregos gerados pelo taylorismo e fordismo, empregos de baixa qualidade, é verdade, mas empregos com alguma proteção do Estado devido às políticas de intervenção na economia, o século XXI será o século do "fim dos empregos", como já afirmava Jeremy Rifkin (2004) no seu livro polêmico O Fim dos Empregos – O Declínio Inevitável dos Níveis dos Empregos e a Redução da Força Global de Trabalho, ou, para sermos mais otimistas, o século da redução significativa dos empregos e do surgimento de novas e precárias relações de trabalho.

As novas condições de trabalho exigirão a aquisição das competências profissionais demandadas e definidas pelas novas tecnologias que redefinem o perfil do trabalhador ao redefinirem o conteúdo intelectual e cultural de todas as atividades econômicas e de trabalho, ao mesmo tempo em que exigirão uma clara e sempre atualizada regulamentação das relações de trabalho a fim de garantir contínuos investimentos do capital e, em consequência, a geração de empregos e/ou novas oportunidades de trabalho protegido. Muito embora já estivessem delineadas com clareza nas últimas décadas do século passado, essas são as questões que o século XXI define como as mais urgentes para aqueles países que, como o nosso, não se prepararam para enfrentá-las.

Quadro 3: Características diferenciadoras da nova revolução tecnológica.

Características diferenciadoras da nova revolução tecnológica

Novas empresas que não geram empregos

Novas empresas são intensivas em tecnologia e não em mão de obra. Nascem com o signo da digitalização e automação e geram menos postos de trabalho em comparação com as empresas do século XX. Produzem sob demanda, sem necessidade de estoques e de grandes equipes. Contratam boa parte do trabalho necessário na forma de prestação de serviços ou projetos, através da *nuvem humana*[1].

Novas tecnologias que favorecem a substituição

Algumas das principais tecnologias envolvidas favorecem a substituição de pessoas: automação, robotização, inteligência artificial, realidade virtual e aumentada, aprendizagem de máquina, reconhecimento de voz e controles ciber físicos. Há grande diferença para os efeitos da internet, cujas possibilidades proporcionaram maior criação do que eliminação de empregos.

Compactação das cadeias produtivas

Inovações anteriores, principalmente em termos de produtos e bens, propiciaram a criação das cadeias produtivas ou de fornecimento. A cadeia de fornecimento de óculos, por exemplo, envolve inúmeras empresas em diversas etapas desde a produção da matéria-prima passando pela fabricação do produto, distribuição, transporte e venda, gerando inúmeros empregos. Com a manufatura aditiva (impressão 3D) será possível aos consumidores imprimir em sua própria casa a armação dos óculos de sua preferência. Neste caso, quase toda a cadeia produtiva é eliminada.

Corporações ainda maiores com menor número de concorrentes

Grandes corporações incorporam rapidamente as novas tecnologias e inovações e reduzem extraordinariamente seus custos (inclusive com pessoas). Expansão dos níveis de produtividade e lucratividade. Empresas menores tem dificuldade de competir e são absorvidas ou extintas. Os processos de fusão e aquisição reduzem o número de empregos de cada setor.

Velocidade acelerada da transformação

O tempo gasto para uma nova tecnologia ser adotada em larga escala diminui rapidamente. Enorme quantidade de tecnologias disruptivas surge de forma quase simultânea. Enorme convergência e combinação entre as novas tecnologias. Empresas e governos não conseguem acompanhar o ritmo das inovações. Pessoas não conseguem se adaptar e se qualificar rapidamente para as mudanças no mercado de trabalho.

Impacto nos três setores da economia

Agricultura 4.0 aumenta ganhos de produtividade no campo e atinge principalmente países ainda com grandes contingentes de trabalhadores no campo. Indústria 4.0 amplia robotização e automação nas fábricas. As *smart factories* trabalham de forma quase autônoma, com pouquíssimos funcionários. As cadeias de suprimentos são otimizadas e a desintermediação reduz postos de trabalho. A inteligência artificial, *big data* e tecnologias associadas automatizam processos administrativos, atendimentos, análises, diagnósticos, processos de ensino e outras atividades do setor de serviços. Diminui a possibilidade de grandes quantidades de trabalhadores dispensados migrarem para outros setores da economia.

Novas oportunidades não são inclusivas

As novas oportunidades de trabalho demandarão maior qualificação. Boa parte dos trabalhadores com menor qualificação dos setores de produção, logística, varejo e escritórios não será beneficiada com a digitalização da economia. Redução das vagas de média qualificação criará uma polarização entre trabalhadores de altos e de baixos salários. Os empregos se concentrarão nas capitais e em poucas cidades que detenham profissionais mais qualificados. Alguns dos países mais ricos serão beneficiados, enquanto outros enfrentarão dificuldades. Países de economia em desenvolvimento sofrerão desindustrialização. As economias mais pobres não conseguirão evoluir para o estágio industrial.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Referências bibliográficas

ABB. Yumi. (2018), *Creating an Automated Future Togheter***.** Online. Disponível em: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/yumi>. Acesso em: 14 jan. 2018.

ANTUNES, R. (2006), A era da informatização e a época da informalização: riqueza e miséria do trabalho no Brasil. In: _____. *Riqueza e miséria do trabalho no Brasil*. São Paulo: Boitemp. pp. 15-25.

BBC. (2014), *Stephen Hawking warns artificial intelligence could end mankind***.** Produção: BBC News, London. Vídeo, 5'05". Publicado em 2 dec. 2014. Disponível em: <http://www.bbc.com/news/technology-30290540>. Acesso em: 12 jan. 2018.

BLS – Bureau of Labor Statistics. (2017), *Employment Projections – 2014-24***.** Bureau of Labor Statistics U.S. Department of Labor. Online. Disponível em: <http://www.bls.gov/news.release/archives/ecopro_12082015.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.

BMAS. (2017), *Weis Buch – Arbeiten 4.0***.** Berlin: Bundesministerium für Arbeit und Soziales Abteilung Grundsatzfragen des Sozialstaats, der Arbeitswelt und der Sozialen Marktwirtschaft. Online. Disponível em: <https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/de/pdf-publikationen/a883--weissbuch.pdf?_blob=publicationFile>. Acesso em: 22 jan. 2018.

BRYNJOLFSSON, Erick; MCAFEE, Andrew. (2011), *Race Against the Machine***:** How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy. Lexington, Massachusetts: Digital Frontier Press.

BUXMANN, Peter; HESS, Thomas; RUGGABER, Rainer. (2009), Internet of Services. *Business & Information Systems Engineering* **–** Bise Journal, v. 1, n. 341, online. Disponível em: <http://link-springer-com.ez95.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007%2Fs12599-009-0066-z.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2018.

CAMPOS, V. F. (1990), *Gerência de qualidade total:* estratégia para aumentar a competitividade da empresa brasileira. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni - Escola de Engenharia da UFMG - Bloch Editores.

CASTELLS, Manuel. (2006), *A Era da Informação:* Economia, Sociedade e Cultura. vol. 1, A Sociedade em Rede. 9 ed. São Paulo: Paz e Terra.

CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. (2016), *Gestão da Cadeia de Suprimentos:* estratégia, planejamento e operações. 6 ed. São Paulo: Pearson.

CORRÊA, H.; CORRÊA, C. (2017), *Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica***.** 4 ed. São Paulo: Atlas.

DAVIS, Mills. (2006), *Semantic Wave 2006:* Executive Guide to the Business Value of Semantic Technologies. Washington: Semantic Interoperability Community of Practice (SICOP). Online. Disponível em: http://semanticommunity.info/Other/Federal_Semantic_Interoperability_Community_of_Practice. Acesso em: 3 jan.2018.

DELOITTE. (2015), *Industry 4.0:* Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. [S.I.]: Deloitte. Online. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2017.

DW DEUTSCH WELLE. (2018), *O setor de serviços*. Online. Disponível em: <http://www.dw.com/pt-br/0-setor-de-serviços/a-1017270>. Acesso em: 20 jan. 2018.

EUROPEAN COMMISSION. (2012), *Communication from the commission to the European Parliament, the council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions*: A European strategy for key enabling technologies – a bridge to growth and jobs. Bruxelles: European Commission. Online. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52012DC0341>. Acesso em: 18 jan. 2018.

FORTUNE. (2017), *FORTUNE 500***.** Online. Disponível em: <http://fortune.com/fortune500>. Acesso em: 15 jan. 2018.

FUKUYAMA, Francis. (2002), *Our Posthuman Future:* Consequences of the Biotechnology Revolution. 1 ed. New York: Picador.

GARTNER. (2017a), *Gartner says by 2020. Artificial intelligence will create more jobs than it eliminates.* Stamford: Gartner, 13 dez. 2017. Online. Disponível em: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3837763>. Acesso em: 20 jan. 2018.

GARTNER. (2017b), *Predicts 2018:* AI and the future of work**. [**Relatório]. Stamford: Gartner. Online. Disponível em: <http://www.commerce-associe.fr/wp-content/uploads/predicts_2018_ai_and_the_fut_342326.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2018.

GIBBS, Samuel. (2016), *Mercedes-Benz swaps robots for people on its assembly lines***.** London: The Guardian, 26 fev. 2016. Disponível em: <https://www.theguardian.com/technology/2016/feb/26/mercedes-nenz-robots-people-assembly-lines>. Acesso em: 15 jan. 2018.

GLENN, Jerome; FLORESCU, Elisabeth. (2015), *O Estado do Futuro – Sumário Executivo* [Relatório]. Washington: The Millennium Project. Disponível em: <http://107.22.164.43/millennium/2015-SOF-ExecutiveSummary-Portuguese.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2018.

HELPAGE. (2015), *Global age watch index***.** London: Helpage International. Online. Disponível em: <htpp://www.helpage.org/global-agewatch/population-ageing-data/global-rankings-table/>. Acesso em: 18 jan. 2018.

HOLDREN, J.; LANDER, E. (2014), *Report to the President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing* [Relatório]. Washington: Executive Office of the President President's Council of Advisors on Science and Technology. Disponível em: <https://www.manufacturingusa.com/sites/prod/files/amp20_report_final.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018), *Pesquisa Anual de Serviços – PAS***.** Online. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/serviços/9028-pesquisa-anual-de-servicos.html?&t=destaques>. Acesso em: 18 jan. 2018.

IBM. (2017), *Conheça o Watson e sua aplicação na saúde***.** New York: IBM. Disponível em: <https://www.ibm.com/blogs/robertoa/2017/03/conheca-o-watson-e-seu-uso-na-saude/>. Acesso em: 20 nov. 2017.

IMF – International Monetary Fund. (2017), *GDP***.** Online. Disponível em: <http://www.principalglobalindicators.org/regular.aspx?key=60942007>. Acesso em: 18 jan. 2018.

KAGERMANN, H., WAHLSTER, W., HELBRIG, J. (2013), *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group* [Relatório]. Frankfurt: National Academy of Science Engineering.

MASI, D. D. (org.). (2000), *O ócio criativo.* Rio de Janeiro: Sextante.

MCDERMOTT, Bill. (2018), *Machines can't dream***.** Davos-Klosters: World Economic Forum. Online. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2018/01/machines-can%27t-dream/ >. Acesso em: 25 jan. 2018.

MGI – McKinsey Global Institute. (2011), *Internet matters:* the net's sweeping impact on growth, jobs, and prosperity. [Relatório]. San Francisco: McKinsey Global Institute. Online. Disponível em: <http://www.mcksinsey.com/~/media/Mckensey/Industries/High%20Tech/Our%20Insights/Internet%20matters/MGI_internet_matrters_full_report.ashx>. Acesso em: 20 jan. 2018.

MGI – McKinsey Global Institute. (2013), *Disruptive technologies*: Advances that will transform life, business, and the global economy. [Relatório]. [S.I.]: McKinsey Global Institute. Online. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/disruptive-technologies>. Acesso em: 20 jan. 2018.

MGI - McKinsey Global Institute. (2016), *Independent work: Choice, necessity and the gig economy***.** [Relatório]. San Francisco: McKinsey Global Institute. Online. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Global%20Themes/Employment%20and%20Growth/Independent%20

work%20Choice%20necessity%20and%20the%20gig%20economy/Independent-Work-Choice-necessity-and-the-gig-economy-Full-report.ashx>. Acesso: 24 jan.2018.

MGI – McKinsey Global Institute. (2017a), *Technology, Jobs, and the future of work***.** San Francisco: McKinsey Global Institute. Online. Disponível em: <http://www.mckinsey.com/~/media/Mckinsey/Global%20Themes/Employment%20and%20Growth/Technology%20jobs%20and%20the%20future%20of%20work/MGI-Future-of-Work-Briefing-note-May-2017.ashx>. Acesso em: 12 nov. 2017.

MGI – McKinsey Global Institute. (2017b), *Harnessing automation for a future that works*. [Relatório]. San Francisco: McKinsey Global Institute. Online. Disponível em: < http://www.mckinsey.com/global-themes/digital-diruption/harnessing-automation-for-a-future-that-works>. Acesso em: 12 nov. 2017.

MGI – McKinsey Global Institute. (2017d), *Artificial intelligence*: implications for China. In: THE 2017 CHINA DEVELOPMENT FORUM. Online. Disponível em: <http://www.mckinsey.com/-/media/Mckinsey/Global%20Themes/China/Artificial%20intelligence%20Implications%for%20China/MGI-Artificial-intelligence-implications-for-China.ashx>. Acesso em: 5 nov. 2017.

MGI – McKinsey Global Institute. (2017c), *Jobs lost, jobs gained*: workforce transitions in a time of automation. {Relatório}. McKinsey Global Institute. Online. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Global%20Themes/Future%20of%20Organizations/What%20the%20future%20of%20work%20will%20mean%20for%20jobs%20skills%20and%20wages/MGI-Jobs-Lost-Jobs-Gained-Report-December-6-2017.ashx>. Acesso em 24 jan. 2018.

OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. (2012), *Looking to 2060***:** Long term global growth prospects. Paris: OECD. Online. Disponível em: <http://www.oecd.org/eco/outlook/2060%20paper%Final.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2018.

ORWELL, George. (2004), *1984*. 29 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional.

OSBORNE, Michael; FREY, Carl Benedikt. (2014), *London Agiletown*: the relentless march of technology and London's response. London: Deloitte. Online. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/uk-futures/london-futures-agiletown.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2018.

OSBORNE, Michael; FREY, Carl Benedikt. (2013), *The future of employment*: how susceptible are jobs in computerization? Oxford: Oxford Martin. Online. Disponível em: <https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf_>. Acesso em: 22 jan. 2018.

PIKETTY, T. (2015), *A economia da desigualdade.* Rio de Janeiro: Intrínseca.

RANDER, M. (2016), *Live Business:* The Rise of the Digital Workforce - The digital workforce is replacing the knowledge workforce, and they need Live Business to win. [S.I.]: Digitalist Magazine SAP. Online. Disponível em: <http://www.digitalistmag.com/executive-research/live-business-the-rise--of-the-digital-workforce>. Acesso em: 25 jan. 2018.

RIFKIN, J. (2004), *O Fim dos Empregos***:** O Contínuo Crescimento do Desemprego em todo o Mundo. São Paulo: M. Books Editora.

ROBSBAWM, Eric. (1952), *The machine breakers***.** Oxford: Oxford University Press. *Past and Present*, n. 1, pp. 57-70. Disponível em: <http://web.csulb.edu/-ssayeghc/theory/wintertheory/machinebreakers.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2018.

SENGUPTA, Sunita Sinh. (2011), Growth in human motivation: beyond Maslow. *Indian Journal of Industrial Relations*, v. 47, n. 1, p. 102. Disponível em: <http://link.galegroup.com/apps/doc/A349721391/AONE?u=capes&sid=AONE&xid=53e5cfe8>. Acesso em: 10 out. 2017.

SINGH, Harpreet. (2017), *Artificial Intelligence and the Death of Indian IT Sector***.** Boston: Experfy. Online. Disponível em: <http://www.experfy.com/blog/artificial-intelligence-and-the-death-of-indian-it-sector>. Acesso em: 2 nov. 2017.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. (2009), *Administração da Produção***.** 3 ed. São Paulo: Atlas.

STEWART, I.; COLE, A. (2015), *Tecnologia e pessoas: A grande máquina de criação de empregos.* [S.I.]: Deloitte. Online. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/br/Documents/technology/Tecnologia_e_pessoas.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2018.

TAYLOR, Frederick Winslow. (1990), *Princípios de Administração Científica***.** 8 ed. São Paulo: Atlas.

THESEUS. (2018), *Das Theseus-Forschungsprogramm: Neue Technologien für das Internet der Dienste.* Berlin. Online. Disponível em: <https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/theseus--forschungsprogramm-broschuere.pdf?__blob=publicationFile&v=7 >. Acesso em: 10 jan. 2018.

THINK ACT. (2015), INDUSTRY 4.0 - *Manufacturing in Belgium should embrace digital technologies to step up competitiveness and create differentiated products.* Brussels: Rol and Berger Strategy Consultant. Online. Disponível em: <https://www.rolandberger.com/en/Publications/pub_industry_4_0_manufacturing_in_belgium.html>. Acesso em 3 dez. 2017.

TRUDELL, Craig; HAGIWARA, Yuki; JIE, Ma. (2014), *Humans Replacing Robots Herald Toyota's Vision of Future. Bloomberg,* New York, 7 apr. 2014, online.

Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2014-04-06/humans-replacing-robots-herald-toyota-s-vision-of-future>. Acesso em: 22 jan. 2018.

VINGE, Vernor. (1993), The coming technological singularity: How to survive in the post-human era. In: *Interdisciplinary science and engineering in the era of cyberspace*. Ohio: NASA. pp. 11-22. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19940022856.pdf>. Acesso em: 9 jan. 2018.

VOGLER-LUDWIG, Kurt; DÜLL, Nicola; KRIECHEL, Ben. (2016), *Arbeitsmarkt 2030. Wirtschaft und Arbeitsmarkt in Digitalen Zeitazlter Prognose, 2016. Analyse der Zukünftigen Arbeitskräftenachfrage und Des-angebots in Deutschland auf Basis Eines Rechenmodells.* München: Bundesministeriums für Arbeit und Soziales. Online. Disponível em: <http://www.economix.org/assets/content/ERC%20Arbeitsmarkt%202030%20-%20Prognose%202016%20-%20Langfassung.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2017.

WORLD ECONOMIC FORUM – WEF. PETERSON, Hayley. (2015), *The 12 jobs most at risk of being replaces by robots.* New York: World Economic Forum - WEF. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2015/11/the-12-jobs-most-at-risk-of-being-replaced-by-robots/>. Acesso em: 27 jan. 2018.

WEF. (2016), *The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution.* [Relatório]. Geneva: World Economic Forum. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2018.

WOOD, Andy. (1993), *Efficient Consumer Response***.** Logistics Information Management, v. 6, issue 4, pp. 38-40. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/EUM0000000002908>. Acesso em: 12 jan. 2018.