



TEXTO PARA DISCUSSÃO

ISSN 0103-9466

371

**Indústria 4.0,
manufatura avançada e seus impactos sobre
o trabalho**

**Denis Maracci Gimenez
Anselmo Luís dos Santos**

Novembro 2019



ie Instituto de
economia

Indústria 4.0, manufatura avançada e seus impactos sobre o trabalho ¹

Denis Maracci Gimenez ²
Anselmo Luís dos Santos ³

Introdução

O objetivo deste trabalho é apresentar a análise e interpretação das tendências observadas no âmbito da chamada indústria 4.0 ou “manufatura avançada” e seus desdobramentos sobre o mundo do trabalho. Tal objetivo será cumprido a partir da sistematização de estudos de organismos multilaterais, estudos acadêmicos, de empresas de consultoria estrangeiras e brasileiras, acerca das transformações tecnológicas e seus impactos sobre o trabalho.

O trabalho está dividido em duas partes. Na primeira parte, “Mudanças estruturais, tecnológicas e produtivas: impactos da indústria 4.0” serão abordadas as principais transformações relativas ao processo de transformação da estrutura econômica em face do avanço “Indústria 4.0” ou “Manufatura Avançada”. Essas transformações tecnológicas projetam avanços ainda mais significativos nas próximas décadas podendo provocar uma profunda mudança de paradigma na sociedade, em termos da produção de novos produtos e serviços, da gênese de diferentes formas de organização no processo produtivo, tanto nas atividades da indústria, como nos serviços e também no setor primário.

Na segunda parte, “Impactos da automação, da manufatura avançada ou indústria 4.0 sobre o trabalho”, a questão fundamental diz respeito às consequências da automação avançada sobre o trabalho, no processo de destruição e criação de empregos e de formas de organização da atividade laboral. Além das estimativas sobre a criação e destruição de empregos nos países, nesta segunda parte, destaca-se o impacto heterogêneo sobre o trabalho das transformações tecnológicas, tratadas na primeira parte, em diferentes realidades nacionais, entre países desenvolvidos e periféricos. Heterogeneidade expressa no ritmo e intensidade da destruição e criação de empregos em estruturas produtivas com graus de desenvolvimento diferente, dos impactos distintos nos diferentes setores da economia, nas diferentes classes sociais e tipos de emprego, entre homens e mulheres, atividades mais qualificadas, de média ou baixa qualificação, entre outros. Por fim, serão feitos breves apontamentos sobre especificidades brasileiras.

1 Mudanças estruturais, tecnológicas e produtivas: impactos da indústria 4.0

Essa etapa do trabalho será feita a partir da análise de diversos estudos realizados por empresas de consultoria especializadas internacionais (McKinsey, IBA – International BAR Association, Oxford, entre outros) por instituições multilaterais (OIT, Cepal, entre outras), por instituições brasileiras (CNI, IEDI), e

(1) Trabalho elaborado a partir das pesquisas realizadas entre 2017 e 2018 no âmbito do *Mapa da Educação Profissional e Tecnológica no Brasil – Mercado de Trabalho e Dinâmica Ocupacional*, desenvolvido pelo CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos www.cgee.org.br/.

(2) Professor do Instituto de Economia da Unicamp, pesquisador e diretor do Cesit/IE/Unicamp.

(3) Professor do Instituto de Economia da Unicamp e pesquisador do Cesit/IE/Unicamp.

por trabalhos acadêmicos sobre as profundas transformações tecnológicas em curso – chamadas de indústria 4.0 ou manufatura avançada⁴.

O termo Indústria 4.0 significa, em essência, a integração técnica de sistemas físicos cibernéticos (CPS), em produção e logística e o uso da 'internet das coisas' (conexão entre objetos cotidianos) e serviços em processos (industriais) – incluindo as consequências para uma nova criação de valor, modelos de negócio, bem como serviços a jusante e organização do trabalho. O CPS refere-se às conexões de rede entre humanos, máquinas, produtos, objetos e sistemas de ICT (tecnologia da informação e comunicação). Nos próximos cinco anos, espera-se que mais de 50 bilhões de máquinas conectadas existam em todo o mundo (IBA, 2017).

Segundo Afonso Fleury, pesquisador brasileiro, esse processo que tem sido denominado por “Indústria 4.0” ou “Manufatura Avançada” são expressões de programas desenvolvidos para não perder e até reconquistar a hegemonia no setor industrial, respectivamente, associadas ao programa alemão e ao programa americano.

As transformações tecnológicas que vêm ocorrendo atualmente e que projetam avanços ainda mais significativos nas próximas décadas têm sido consideradas suficientes para provocar uma profunda mudança de paradigma na sociedade, a partir de seus impactos em termos da produção de novos produtos e serviços, sobre as diferentes formas de organização no processo produtivo e, portanto, no processo de destruição e criação de empregos e de formas de organização do trabalho, tanto nas atividades da indústria, como nos serviços e também no setor primário (agricultura, pecuária, extração mineral e vegetal).

Essas transformações têm sido caracterizadas por uma nova era de automação associadas à conjunção de importantes mudanças⁵: aos processos de ampliação e aprofundamento da conectividade com os avanços nos sistemas de comunicações e de suas redes, nas redes internas das organizações, na internet com os avanços na chamada “internet das coisas” ; ao grande avanço no processo de sensorização; à capacidade de acumulação e processamento de dados pelos avanços dos computadores (*Big Data*); ao desenvolvimento da Robótica e aos profundos avanços nas capacidades dos robôs realizarem não somente atividades rotineiras – como no passado, na substituição do trabalho rotineiro – mas também cognitivas; associadas aos avanços na chamada “inteligência artificial”; ao desenvolvimento do processo chamado de “aprendizado das máquinas” (*Machine learning*); a um processo de crescente digitalização da economia.

Estudos apontam que a Indústria 4.0 apresentará progressivamente fortes impactos nas formas de criação de valor, nas formas de organização de negócios, em termos da necessidade de reorganização das atividades de serviços e na organização do trabalho⁶. A integração física e cibernética tem promovido uma

(4) “Publicado pelo NSTC em fevereiro de 2012, o Plano Nacional Estratégico de Manufatura Avançada foi elaborado por um grupo de trabalho interagências, a partir das recomendações e sugestões da AMP. Nos relatórios que produziu, ouvindo representantes da indústria e pesquisadores acadêmicos, a AMP sugeriu priorizar os investimentos federais em tecnologias transversais críticas com base em critérios como necessidade nacional, demanda global, competitividade da indústria dos EUA e prontidão tecnológica. Na avaliação do grupo de trabalho, a manufatura avançada está emergindo como um motor especialmente potente do crescimento econômico futuro. Manufatura avançada é uma família de atividades que (a) dependem do uso e coordenação de informações, automação, computação, software, detecção e rede, e / ou (b) utilizam materiais de ponta e capacidades emergentes habilitadas pelas ciências físicas e biológicas, como a nanotecnologia, a química e a biologia. Envolve tanto novas formas de fabricação de produtos existentes quanto à fabricação de novos produtos que surgem das novas tecnologias avançada.” (IEDI, 2017d, p. 12).

(5) Segundo estimativas de pesquisa da McKinsey (2017), “a adaptação da tecnologia atualmente demonstrada tem potencial técnico para automatizar aproximadamente 50% das atividades de trabalho atuais do mundo. Enquanto a data em que isso poderia acontecer poderia ser em torno de 2055, assumindo que todos os fatores estão em vigor para a adoção bem sucedida até então, modelamos possíveis cenários onde esse nível de adoção ocorre até quase 20 anos antes ou depois.”

(6) “O termo Indústria 4.0 representa a otimização de componentes envolvidos no processo de produção (máquinas, recursos operacionais, software, etc.) devido à sua comunicação independente entre si por meio de sensores e redes. Isso

profunda mudança nas formas de articulação entre homens, máquinas, processos produtivos e de prestação de serviços, e os sistemas de tecnologia de informação, comunicação, inteligência artificial (IBA 2017; Mckinsey 2017; ILO 2015; IEDI 2017).

Os sucessivos avanços nas tecnologias de comunicação, informação e computação e sua enorme ampliação por meios físicos ou cibernéticos conectando pessoas, máquinas, objetos, processos produtivos, logística, atividades administrativas e organizações têm criado as bases para o destaque que vem sendo dado para à “Internet das Coisas” (IOT), à “Inteligência Artificial” (AI), à Robótica e ao “Aprendizado das Máquinas” nessa nova onda de profundas mudanças tecnológicas já caracterizadas por alguns também como a Quarta Revolução Industrial e Tecnológica.

Segundo Coutinho (2017),

a internet das coisas deve ocorrer em ondas sucessivas de sensorização ou de distribuição em objetos, equipamentos, bens de consumo e, no limite, pessoas, que estarão enfim equipadas ou “tagueadas” com um pequeno chip emissor de radiofrequência e de identidade, ou com pequeno sistema que, além de emitir identidade, localização etc., será capaz de acumular e processar dados ou de realizar pequenas operações microeletromecânicas⁷.

A inteligência artificial, processo também associado ao aprendizado das máquinas e à “internet das coisas”, pode ser definida como a articulação de sistemas – de processamento de um enorme conjunto de informações, por meio de avançados sistemas de programação com a utilização de algoritmos – a equipamentos, máquinas, robôs, e diversos tipos de dispositivos, que passam a operar a partir do que tem sido chamado de sistemas cognitivos, permitindo que eles possam desenvolver atividades similares àquelas encontradas na cognição humana, como as de “enxergar”, “ler”, “captar sensações” (temperatura, som, distância, movimento), “reconhecer imagens”, “entender”, “raciocinar”, “gerar e testar hipóteses”, e com isso poder “decidir ou não”, atuar de uma forma ou de outra, corrigir ou reprogramar procedimentos, evitar erros e paradas de máquinas ou processos, de uma maneira ainda tutorada⁸. Segundo relatório da Mckinsey (2017), nesse processo estaria também incluído “fazer julgamentos tácitos, sentir emoção ou mesmo dirigir atividades que costumavam ser consideradas difíceis de automatizar com sucesso”.

Diversas pesquisas destacam que essas atividades podem ser desenvolvidas pelas máquinas ou robôs de formas mais precisas, eficientes e baratas do que a força de trabalho humano.

Segundo Coutinho, “a inteligência artificial começa com a acumulação e estruturação de dados, a possibilidade de analisá-los com um grau de profundidade a que várias famílias de algoritmos matemáticos recorrem, que vão desde das nossas conhecidas ferramentas estatísticas, que refazem todas as regressões

supostamente reduz os custos de produção, particularmente na área de planejamento de pessoal, dando à empresa uma posição melhor na competição internacional (IBA 2017).

(7) Segundo Coutinho (2017), “teremos diversos tipos de sensores: atuadores, com capacidade eletromecânica ou microeletromecânica, distribuídos em toda a frota de veículos; nos sistemas de distribuição de água, de energia; nos sistemas de iluminação pública. – economia de energia de mais de 30%. Estima-se que em 2020, teremos 15 bilhões de sensores; em 2030, 30 ou 35 bilhões, e alguns mais otimistas chutam números mais altos: em 2050, alguns consultores falam em 100 bilhões de coisas ligadas à internet através desses sensores”.

(8) “A inteligência artificial descreve os processos de trabalho de máquinas que exigiriam inteligência se realizadas por seres humanos. O termo “inteligência artificial” significa, portanto, “investigar o comportamento inteligente de resolução de problemas e criar sistemas informáticos inteligentes”. Existem dois tipos de inteligência artificial. Inteligência artificial fraca; o computador é meramente um instrumento para investigar processos cognitivos – o computador simula inteligência. Inteligência artificial forte: os processos no computador são processos intelectuais e de auto-aprendizagem (IBA, 2017). Os computadores podem “entender” por meio de corretos softwares/programas e são capazes de otimizar seu próprio comportamento com base em seu comportamento antigo e sua experiência. Isso inclui a rede automática com outras máquinas, o que leva a um efeito de escala dramática” (IBA, 2017).

do último livro texto de econometria, até os diversos ramos da estatística e da matemática que são usados para simular redes em níveis e subníveis que imitam o funcionamento de redes neurais (Coutinho 2017).

Esse processo de revolução produtiva e tecnológica expressa profundas mudanças nas ciências ligadas aos materiais, à computação, à eletrônica e elétrica, às formas de energia e, portanto, são resultados das profundas transformações nas ciências físicas, químicas, biológicas, da saúde humana, na nanotecnologia, nonoquímica, nonopartículas de estado sólido (Coutinho 2017). Essas transformações apresentarão impactos progressivos na produção de novos produtos e serviços e na substituição de produtos e serviços ofertados atualmente, e também nas novas formas de fabricação, da logística, do consumo⁹.

Nesse sentido, pode-se destacar brevemente que as mudanças nas formas de comunicação (satélites, “internet das coisas”, sensores)¹⁰, de controle ou comando (drones, reconhecimento de imagens, máquinas com comando autônomo ou externo aos equipamentos), nas ciências químicas e biológicas, novos materiais e nanotecnologia (nonoquímica, nonopartículas) afetarão profundamente as atividades do setor primário das economias, com os resultados de processos de intervenção no DNA, da utilização de sensores e formas de reconhecimento de imagem, para medir e controlar temperatura, umidade, necessidade de fertilizantes, maior controle sobre a eficiência no desenvolvimento do plantio e sobre a saúde de animais e definição dos melhores momentos colheita, entre outros.

No setor de serviços as atuais mudanças têm permitido a realização de projeções que indicam transformações ainda mais profundas. Na área de saúde o diagnóstico é que “*o paradigma da medicina vai mudar: de tentativa e erro: para medicina de natureza muito mais preventiva do que curativa, e que se baseia na compreensão de como o mecanismo molecular de uma determinada doença se comporta e como ele pode ser objeto de intervenção*” (Coutinho, 2017)¹¹. Já é muito comum a utilização de Scanner de boca no reconhecimento de imagem, enviada do consultório dentista pela internet para que o protético possa produzir a prótese por meio de impressora 3D. Robôs e máquinas inteligentes têm sido utilizados na área de saúde em diagnósticos que requerem alta precisão, assim como tem sido decisivos em processos associados ao cuidado de pessoas e também no salvamento de vidas¹². Nas farmácias hospitalares, robôs têm sido utilizados na distribuição de drogas, com maior segurança, rapidez e menor custo, (Mckinsey 2017). Robôs também têm sido utilizados “*para avaliação de objetos perigosos usando controle remoto e sistemas de câmera integrados. Isso torna possível, por exemplo, desarmar uma bomba sem que um humano tenha que se aproximar dela*” (Coutinho 2017).

Nas comunicações, observa-se um crescente processo de desmaterialização, de transformação de produtos físicos tradicionais (jornais, revistas, fotografias, CDs, DVDs), que passam a ser substituídos por gravações em softwares, em imagens virtuais, serviços de transmissão. Da mesma forma, avançam os processos de robotização da linguagem, de leitura labial realizadas de forma mais precisa do que do que o

(9) Essas transformações, segundo estimativas da Mckinsey (2017) poderiam elevar a produtividade entre 0,8% e 1,4% ao ano nas próximas décadas.

(10) Em função da importância estratégica das informações nas redes conectadas, diversos trabalhos destacam o surgimento de uma atividade decisiva: a segurança das redes (IBA, 2017; Mckinsey, 2017).

(11) Não somente os impactos das intervenções do DNA, mas o conjunto das mudanças relacionadas às tecnologias de informações e comunicação, biológicas, químicas, nas nanotecnologias, entre outras têm permitido que “*O genoma humano, que há 15 anos custava 100 milhões de dólares, vê agora seu custo caindo para mil dólares e há quem fale que em mais algum tempo poderá custar 100 dólares*” (Coutinho 2017).

(12) Nessa área tem sido destaque o fato de que o chamado “*Robo Gas Inspector, um robô de inspeção equipado com tecnologia remota de detecção de gás, pode inspecionar instalações técnicas, mesmo em áreas difíceis de alcançar, sem colocar os humanos em risco, por exemplo, para detectar vazamentos em gasodutos acima do solo e subterrâneos*” (IBA, 2017).

ser humano, traduções automáticas de textos e de línguas faladas, por meio de computadores e também dispositivos móveis.

Nos transportes, observa-se os avanços com os veículos autônomos, piloto automático inteligente, carros elétricos, drones, movimentação de cargas em estoques e em atividades de carga/descarga realizados por equipamentos autônomos, o rastreamento por meio dos sistemas de conectividade, sensores, códigos de produtos que identificam o local do fornecedor e também do consumidor final, processos que estão associados as mudanças tecnológicas que permitem às máquinas e dispositivos reconhecer imagens (ou “enxergar”) e locais, e capacidade de tomar decisões autônomas em relação à localização no espaço, movimento, velocidade.¹³

Na área das finanças observa-se a substituição de bilhetes de eventos tradicionais, de viagens ou mesmo de dinheiro duro, por meio da codificação do dinheiro, ou seja, a crescente possibilidade de pagamento sem contato, do pagamento por meio de computadores ou dispositivos móveis, caso exemplar da China, em que nas grandes cidades já está se tornando difícil fazer pagamentos no comércio sem a utilização de *smartphones*.

Nas atividades administrativas e contábeis, os impactos têm sido profundos com os processos de digitalização, de desmaterialização, da utilização de softwares (padronizados ou não) de cálculos e gestão, com a utilização de redes internas às empresas (conectando as diversas unidades, fornecedores, distribuidores, parceiros e clientes) e a conexão com redes externas (para marketing, impostos, acesso a informações). Essas atividades também estão relacionadas aos processos automáticos de gravação e processamento de dados, da imitação e reconhecimento de voz (computadores nos *call centers*), substituindo as atividades tradicionais de “*back-office*”, e que têm apresentado um dos maiores impactos em termos de destruição de emprego no setor terciário.

Também no ramo da alimentação observa-se a substituição de diversas atividades de serviços (pedidos, atividades de preparo e até de entrega) por dispositivos móveis, robôs (com muita flexibilidade) e que são utilizados na execução de tarefas que anteriormente eram vistas como de difíceis mecanização, com custos muito reduzidos, e com capacidade para serem ajustados, reprogramadas ou “treinados” pelos trabalhadores nos diversos espaços de produção (Mackinsey, 2017)¹⁴.

Esse conjunto de novas tecnologias tem sido fundamental para as transformações na indústria¹⁵. Com o processo de robotização, marcado pelo “aprendizado profundo” (auto aprendizagem dos robôs) das máquinas, equipamentos e sistemas do processo produtivo, a produção já tem sido mais precisa, eficiente, com redução de perdas de insumos (energia, matéria-prima), de tempo (com a identificação e antecipação de possíveis acidentes, desgastes, defeitos, reduzindo o tempo para manutenção, reprogramação, correção

(13) Segundo Coutinho (2017), “*a fronteira agora está no reconhecimento de imagens em movimento, fundamentais para o piloto e para a navegação automática, porque a imagem parada já está reconhecida. A inteligência artificial vai significar o acúmulo dessas capacitações nos equipamentos. É a combinação da capacidade de supercomputação com instrumentação científica altamente poderosa – microscopia, vários equipamentos, espectrografia, muitos equipamentos científicos que, em sua grande maioria, foram empoderados pela capacidade de supercomputação (...)*”.

(14) “*Modelos de serviço conhecidos são, por exemplo, plataformas de rede como o Facebook ou o Amazon Mechanical Turk, os provedores da economia sob demanda Uber e Airbnb, ou serviços de compartilhamento, como compartilhamento de carros, Spotify e Netflix. Estudos mostram que, simplesmente devido ao compartilhamento de serviços, a rotatividade do setor crescerá vinte vezes nos próximos dez anos*” (IBA 2017).

(15) “*Exemplos bem conhecidos no campo da robótica e da IA são as chamadas 'fábricas inteligentes', carros sem motoristas, drones de entrega ou impressoras 3D, que, com base em um modelo individual, podem produzir coisas altamente complexas sem mudanças no processo de produção ou ação humana em qualquer forma sendo necessária*” (IBA, 2017).

de defeitos), em diversas etapas da produção (mudanças de produtos, embalagem¹⁶, distribuição de reduzidos estoques, períodos de manutenção e outros), com fortes impactos na redução de custos em relação à utilização do trabalho humano. Além disso, as articulações via redes internas e externas (internet) permite não somente a integração corporativa, mas a integração de toda a cadeia produtiva (mesmo externalizada e globalizada), por meio da integração com fornecedores, parceiros e chegando até os consumidores, com um sentido de integração para a frente, que permite enormes ganhos a partir do prévio conhecimento e da maior flexibilidade no volume produzido de cada tipo produto, de peças e partes e insumos produzidos pelos fornecedores, de maior eficiência na logística (nos transportes, na redução e flexibilidade de estoques e do tempo de entrega). Esses aspectos são também dinamizados pelas soluções criativas associadas à emergência das impressoras 3D, à enorme flexibilidade dos robôs, a diversos mecanismos de articulação com os clientes – baratos, rápidos e que permitem uma demanda muito mais personalizada, com fortes impactos de eficiência sistêmica nas etapas de vendas, produção, estoques e distribuição em toda a cadeia produtiva.

Os impactos em termos de mudanças no perfil da demanda por máquinas, dispositivos, partes, peças serão, portanto, muito expressivos. Não somente está em curso uma elevação da demanda por robôs e diversos tipos de equipamentos eletrônicos, como tem se tornado necessário o aumento da produção de bilhões de sensores, de baterias móveis cada vez menores, mais eficientes e com mais tempo de duração, além de placas e outros tipos de equipamento nas áreas de energia solar, eólica, diversas partes e peças para carros elétricos, com fortes impactos nos segmentos da indústria eletroquímica, de energia, de equipamentos elétricos, de novos materiais, entre outros¹⁷.

As referências acima já apontam para o fato de que essas mudanças já estão afetando diferentemente economias nacionais, e deverão ser profundas as mudanças que ocorrerão no padrão de concorrência internacional, entre empresas de diferentes ramos de atividade, nacionais, internacionais e globais. Nesse sentido, também serão fortes os impactos sobre as formas de organização e de articulação das diferentes empresas, organizações e modelos de negócios (Mckinsey, 2017).

Os impactos dessas transformações também serão profundos nas organizações empresariais. Muitas empresas terão que redefinir suas atividades em função das transformações que poderão reduzir a demanda por seus produtos. A análise dos impactos dessas tendências coloca-se como um aspecto estratégico, sendo necessário considerar suas capacidades para enfrentar os novos requerimentos colocados pelo mercado e as novas possibilidades de relações entre as empresas, nos planos nacional e internacional, nas relações com os trabalhadores, nas relações com os clientes, especialmente em suas capacidades tecnológicas e de pesquisa e desenvolvimento, num contexto de muitos desafios e incerteza, não somente sobre seus impactos produtivos, tecnológicos e organizacionais, mas também sociais e sobre o emprego (IBA, 2017; Mckinsey, 2017)¹⁸.

Além das tradicionais divisões departamentais (ligadas a fornecedores, produção, vendas, pesquisa e desenvolvimento, finanças, entre outras) será necessário considerar a introdução, pela sua crescente

(16) Na empresa *Amazon*, a utilização de robôs resultou na redução de 3 vezes o tempo (hora por trabalhador) utilizado no processo de empacotamento (IBA 2017).

(17) Segundo Coutinho, “na indústria eletroquímica, por exemplo, a internet das coisas vai exigir bilhões de sensores, mas não haverá um fio ligado a uma tomada, porque a maior parte deles são dispositivos móveis. Por isso, é preciso que existam pequenas baterias eficientes, com capacidade de duração de pelo menos 10 anos” (IEDI 2017).

(18) Segundo pesquisa do IBA (2017), mais de 40% dos CEOs, comandando empresas em todo mundo acreditavam que ocorreriam significantes mudanças em suas empresas já nos próximos três anos.

importância, de um departamento de tecnologia da informação¹⁹. Isso significará em muitos casos uma reorganização interna que considere uma divisão entre analistas de dados e as atividades tradicionais de tecnologia da informação, já que essas atividades serão também estratégicas para outros departamentos, reforçando a importância para diversas áreas da rapidez no acesso a informações e, portanto, de uma utilização eficiente dos grandes bancos de dados (Big Data) para o conjunto da empresa (IBA, 2017; Mckinsey, 2017).

Aspecto que já vem sendo utilizado há muito décadas nas formas de organização das empresas – o foco no núcleo de suas mais importantes competências e atividades e a terceirização das demais – tenderá a ganhar ainda mais importância e exigirá formas mais eficientes, ágeis, seguras e com maior independência para o grupo ou pessoa responsável pela tomada de decisões, seja na relação com sua rede de fornecedores e, especialmente, com os clientes, aspectos que têm sido destacados como estratégicos para o sucesso nesse novo mundo digital (IBA, 2017, Mckinsey, 2017)²⁰. A internet das coisas e a digitalização exigirá e permitirá essa maior flexibilidade, no plano administrativo, hierárquico e de tomada de decisões, das relações nacionais e transnacionais das organizações empresariais, e *“isso significa que as estruturas de supervisão que são independentes da empresa empregadora podem ser introduzidas dentro de um grupo com atividades transfronteiriças”* (IBA, 2017).

Uma importante característica da indústria 4.0 é a produção instantânea (em tempo real) articulada à demanda dos consumidores, mas a automação também exigirá das empresas a descentralização e a individualização da produção – que exigirão a criação de redes de unidades de produção, automação de pedidos, planejamento de materiais²¹. Desafios serão enfrentados em vários segmentos produtivos no processo de estruturação e gestão da *“fábrica inteligente”*²², pois apesar de muitas tentativas já observadas, especialmente em áreas e produção específicas, com máquinas inteligentes ou impressoras 3D, essa realidade ainda está muito além das atuais capacidades da enorme maioria das empresas.

Questões de segurança no ambiente de trabalho também terão que ser reorganizadas pelas empresas. Em muitos casos, serão necessárias a separação dos locais de trabalho, entre trabalhadores e robôs, nos casos em que estes executam tarefas perigosas para os seres humanos (IBA, 2017). Entretanto, em muitos outros casos, a preocupação com segurança e maior atenção de pesquisadores e gestores referem-se às atividades marcadas pela convivência no mesmo local, como por exemplo, nos casos de robôs *“humanóides”*, que falam em três línguas, apresentam aparência humana, atuando em hotéis nas atividades de carregar bagagens, receber e servir hóspedes, na limpeza dos quartos, no preparo de comida, como já têm sido observado em alguns hotéis no Japão (IBA, 2017).

(19) *“As estruturas das empresas estão mudando junto com seus grupos de trabalho virtuais e cross-linking digital de longo alcance”* (IBA 2017).

(20) *“A internet das coisas oferece uma conexão direta entre os computadores do cliente e seus fornecedores ou provedores de serviços. Um antigo nível de hierarquia piramidal não é mais capaz de satisfazer as necessidades relacionadas a essa flexibilidade. Uma possibilidade poderia ser a mudança de liderança em um determinado grupo de trabalho, se outro funcionário tiver melhor conhecimento técnico especial alguma área ou domínio”* (IBA, 2017).

(21) *“A máquina do futuro será capaz de responder, dentro de certos limites, às solicitações individuais dos clientes (...). A fábrica inteligente adiciona certos componentes ou, em um contexto de distribuição ideal durante todo o processo, adapta etapas individuais de produção para corresponder às solicitações do cliente”* (IBA, 2017).

(22) *“Uma fábrica inteligente é caracterizada pela máquina inteligente participando ativamente do processo de produção. Neste contexto, as máquinas trocam informações e controlam-se em tempo real, o que faz com que a produção seja executada de forma totalmente automática. A máquina assume o recibo digital do pedido recebido, o planejamento – se necessário, individual – do produto, a solicitação dos materiais necessários, a produção como tal, o manuseio do pedido e até o envio do produto. O ser humano tem apenas uma função de supervisão”* (IBA, 2017).

Por um lado, estudos têm destacado a importância da progressiva queda do preço dos robôs e das possibilidades que os países mais desenvolvidos terão para voltar a internalizar etapas de produção que foram externalizadas para terceiras subcontratadas em países de custo do trabalho muito reduzido²³. Mas também tem sido destacadas as novas oportunidades oferecidas pelo processo de crescente globalização e digitalização na realocação (terceirização) para outras regiões ou nações (vistas como mais fracas ou de baixo custo de força de trabalho), segmentos de atividades, diversos tipos de serviços, como *call centers*, armazéns, serviços de software e programação, por meio de avanços na subcontratação de pequenas empresas, até mesmo por meio de contratações pela internet de empresas ou *freelancers*, ou “grupo de trabalho virtual especial” por meio de joint ventures (IBA, 2017; McKinsey)²⁴.

Por outro lado, deve-se destacar que muitos estudos têm apontado para o fato de que a flexibilidade com as novas tecnologias abrirá novas oportunidades de acesso a novos mercados, em diversos tipos de atividade, inclusive na indústria de transformação, com níveis maiores de eficiência e competitividade²⁵. É possível, portanto, que um maior apoio ao segmento de médias e micro e pequenas empresas (MMPEs), assim como políticas nas áreas de educação e formação profissional possam elevar e/ou melhorar a posição dessas MMPEs de diferentes países pobres e em desenvolvimento nas Cadeias Globais de Valor – empresas terceirizadas ou subcontratadas e comandadas geralmente pelas corporações transnacionais – e com isso contribuir para que sejam melhoradas suas condições precárias de funcionamento e o elevado grau de exploração e precarização da força de trabalho²⁶.

Essas transformações têm ocorrido num contexto de um capitalismo desregulado, no qual se observa um grande acirramento da concorrência internacional, num contínuo processo de internacionalização/globalização do sistema mundial de produção, com a maior importância das cadeias globais de valor, ou seja, com o crescimento de cadeias de abastecimento mundiais que permitem “*cada vez menos identificar uma única origem nacional dos produtos finais*”, e a emergência dos produtos “*Fabricados no Mundo*” (ILO, 2015). Aspecto que deverá afetar muito diferenciadamente cada região ou nação, e a atual situação de forte assimetria na divisão internacional do trabalho, podendo acentuá-la e criando ainda maiores dificuldades para países de menor nível de desenvolvimento produtivo e tecnológico.

Assim, o estudo do IBA (2017), por exemplo, aponta que essas transformações irão afetar inicialmente os países desenvolvidos ocidentais e o Sudeste Asiático: “*em resumo, pode-se dizer que o aumento da automação e da digitalização é uma preocupação global que, devido à falta de possibilidades financeiras em muitos países em desenvolvimento, será, inicialmente, fortemente focada nos países*

(23) “*Enquanto uma hora de trabalho de produção custa à indústria automotiva alemã mais de 40 €, o uso de um robô custa entre € 5 e € 8 por hora. Um robô de produção é, portanto, mais barato do que um trabalhador na China. (...) “Um sistema informático autônomo não depende de fatores externos, o que significa que ele funciona de forma confiável e constante, 24/7, e pode funcionar em zonas perigosas. Em regra, sua precisão é maior do que a de um ser humano, e não pode ser distraída nem por fadiga ou por outras circunstâncias externas” (McKinsey, 2017).*

(24) “*O novo mercado de trabalho está se aproximando rapidamente. Somente o vendedor que primeiro descobrir, desenvolver ou até mesmo trazer o novo modelo de serviço para o mercado ganhará grandes lucros. Além disso, devido ao rápido desenvolvimento técnico, os serviços novos e lucrativos também se tornarão obsoletos muito rapidamente. Eles serão substituídos por outros serviços, que serão baseados nos serviços mais desenvolvidos, e soluções criativas serão encontradas para atender às necessidades dos clientes que não são atendidos pelo serviço mais antigo (IBA, 2017).*

(25) “*Em todos os setores, a automação pode aumentar a concorrência, permitindo que as empresas entrem em novas áreas fora de seus principais negócios anteriores e criando uma divisão crescente entre líderes tecnológicos e retardatários em todos os setores” (Mackinsey, 2017)*

(26) Entretanto, deve-se ressaltar algumas dificuldades para as MPEs: “*as pequenas e médias empresas, em particular, tendem a se esquivar dos dispositivos técnicos por causa dos altos custos de aquisição e da falta de especialistas altamente qualificados que possam lidar com os novos sistemas (IBA, 2017).*

ocidentais desenvolvidos e no Sudeste Asiático. Esses países serão considerados os vencedores da Indústria 4.0 por causa de seu avanço tecnológico e seus modelos de serviço criativo.”

No caso brasileiro, é preciso destacar o seu relativo atraso em relação a esse processo de transformações colocado pela Indústria 4.0. As desvantagens brasileiras se apresentam em diversas dimensões, criando uma reduzida capacidade de concorrência sistêmica para diversas atividades industriais e de serviços: no reduzido peso do setor de bens de capital na estrutura industrial; nas limitações e dependência em relação ao desenvolvimento tecnológico e às questões de financiamento de longo prazo para investimentos²⁷; na precariedade e elevado custo de sua infraestrutura²⁸; numa estrutura tributária regressiva que impacta negativamente sobre a formação dos preços e a competitividade; na perda de dinamismo, nas últimas décadas, da indústria eletrônica instalada no país; na fragilidade da sua dinâmica de pesquisa, desenvolvimento e inovações relativamente a países desenvolvidos e alguns em desenvolvimento (China, Coreia do Sul, Índia); nas fragilidades de seus sistemas educacionais e de formação profissional.

Essas limitações e fragilidade apontadas anteriormente, entre outros problemas, têm sido motivos para vários autores argumentarem que a economia brasileira passa por um processo de desindustrialização precoce, com impactos fortemente positivos sobre nossa estrutura produtiva e capacidade de competir nessa nova ordem internacional, marcada não somente pelo avanço dessa nova onda tecnológica, produtiva e organizacional, mas também pelo acirramento da concorrência internacional num contexto de crescente importância das Cadeias Globais de Valor. Conforme destaca Afonso Fleury *“se pensarmos nas multinacionais brasileiras, poucas são líderes de global value chain. Na verdade, só a Embraer é uma verdadeira líder, na acepção da palavra. Então, as possibilidades de trabalharmos por meio dessa liderança de global value chains é reduzida”* (Fleury, 2017)²⁹.

Segundo Coutinho (2017),

a indústria do futuro não vai dar tempo para a indústria brasileira se restabelecer (...). Existirão muitas oportunidades que podem ser puras, isto é, sem riscos. Ou se aproveita e entra no jogo, ou não se aproveita e perde o bonde. Mas existem também os riscos disruptivos. A comunidade que estuda economia industrial não pode mais não olhar para o futuro e para prospectivas tecnológicas organizadas. É preciso conhecer o que os países estão fazendo, as modalidades novas de reforço de ecossistemas empresariais, o papel de institutos de pesquisa, o papel de externalidades, de sinergias a serem criadas para certas plataformas de conhecimentos que precisam avançar com a devida velocidade. Isso é algo que deveria ser incorporado ao exercício de pensar políticas industriais e tecnológicas”.

(27) Segundo estudo do IBA (2017), *“muitos investimentos serão necessários para que as empresas possam aproveitar a onda industrial 4.0. Isso se aplica não apenas ao setor de TI, mas também ao desenvolvimento e aquisição de novas máquinas e técnicas assistivas. Além disso, muitos prestadores de serviços (principalmente externos) serão necessários para auxiliar nas reorganizações. Além disso, os governos devem rapidamente providenciar uma ampla cobertura da Internet de banda larga em vários países.”*

(28) *“Além disso, a construção de investimentos é vital. (...), isso se refere principalmente à internet rápida, sem a qual não é possível comunicação eficiente entre humanos ou entre humanos e máquinas. No decorrer da digitalização, as empresas mudarão seu foco e investirão mais em outras áreas. (...). Portanto, os investimentos em dispositivos técnicos e o uso direcionado de AI são necessários em todos os ramos* (IBA, 2017).

(29) Muitas dificuldades para o caso brasileiro podem também ser identificadas nas necessidades de investimentos, não somente em setores de tecnologia avançada, mas também na modernização de atividades do setor primário, muitas das quais o país apresenta atualmente vantagens competitivas. Segundo pesquisa do IBA (2017), *“em seus investimentos, as empresas se concentrarão cada vez mais em tecnologia de sensores e serviços de TI de qualquer tipo nos próximos anos. Além dos novos equipamentos elétricos de qualquer tipo, esses chamados investimentos em equipamentos também incluem novas máquinas de produção e seu reparo, instalação e manutenção. Na área de processamento e indústrias extrativas, esses investimentos são de vital importância, pois, a longo prazo, os custos de material e pessoal podem ser reduzidos apenas com a ajuda desses investimentos. Sem essa redução de custos, essas empresas não poderão mais competir.”*

Pesquisa do IBA (2017) apresenta um cenário negativo para países da América do Sul e Central:

os países em desenvolvimento da América Central e do Sul também não aproveitarão a tendência da quarta revolução industrial. É de recear que estes países – como os países do Norte da África e a Indonésia – não estejam equipados para enfrentar a automatização e a digitalização.

Esse conjunto de novas tecnologias pode afetar negativamente também setores da economia brasileira que atualmente apresentam vantagens competitivas associadas a matérias-primas e trabalho barato, mas que poderão perder essas vantagens com robotização e com o conjunto dos impactos da Indústria 4.0: “Por muito tempo, os países do BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China) foram considerados o farol de esperança para a economia global. Devido a uma maior mineração de matérias-primas e à terceirização de vários ramos ocidentais da indústria para países de baixo custo de mão-de-obra, os investidores esperam rendimentos a longo prazo. No entanto, a demanda por matérias-primas é atualmente muito baixa, de modo que o Brasil e a Rússia estão se tornando menos atraentes. Com o desenvolvimento técnico de robôs de produção, muitas empresas que produzem em países de baixo custo irão realocar seu setor de produção para os países de onde vieram originalmente (IBA 2017).

Coutinho (2017), no entanto, ressalta que “*não devemos imaginar que a indústria brasileira, embora relativamente atrasada em relação a esse processo de sensorização e integração inteligente, vá para um cadafalso*”. Assim, algumas oportunidades para o caso brasileiro podem ser destacadas, como a biodiversidade existente no país, que conta com uma geologia favorável, com muitos metais raros, “*fazendo do Brasil um dos países protagonistas nessa área*” (Fleury, 2017).

Afonso Fleury também destaca que “*em cada um dos smartphones que usamos há aproximadamente 60 tipos de metais raros, e até hoje esse mercado não está organizado. A China é a líder do mercado, com 40%, mas talvez consigamos desenvolver alguma coisa neste setor (...) Existem dois países que assentaram seus modelos de desenvolvimento em indústrias criativas: o Canadá e a Inglaterra. Não nos tornaremos um centro de excelência em um curto período de tempo, mas podemos oferecer condições de entrada nessas novas lógicas que estão associadas às indústrias do futuro* (Fleury 2017).

Como destaca também a Organização Internacional do Trabalho, “*os elaboradores de políticas, os líderes empresariais e os próprios trabalhadores não devem esperar para agir: já hoje, há medidas que podem ser tomadas para se preparar, para que a economia global possa capturar as oportunidades oferecidas pela automação, para que sejam evitadas as desvantagens*” (ILO 2015).

Enfim, muitas questões são colocadas em relação aos impactos diferenciados nacionalmente, como em relação à migração internacional, à possibilidade de um desemprego em massa em alguns países, às novas formas de organização das empresas e do trabalho (autônomo, domiciliar, por internet, com as oportunidades abertas para novos negócios, novos monopólios, para MPES, para países em desenvolvimento)³⁰ assim como novas formas de organização sindical e a necessidade de novas políticas de educação e formação profissional, com as necessidades de requalificação/reciclagem da força de trabalho.

Por outro lado, é importante ressaltar que essas profundas mudanças produtivas e tecnológicas têm elevado e transformado o conteúdo de exigências de educação, formação, qualificação profissional, que

(30) Como aponta pesquisa do IBA (2017), “*o que já é claro e certo é que os novos desenvolvimentos técnicos terão um impacto fundamental no mercado de trabalho global nos próximos anos, não apenas em empregos industriais, mas no núcleo de tarefas humanas no setor de serviços que são considerados “intocáveis”*. As estruturas econômicas, as relações de trabalho, os perfis de trabalho e o tempo de trabalho bem estabelecido e os modelos de remuneração sofrerão grandes mudanças. Além das empresas, funcionários e sociedades, sistemas educacionais e legisladores também estão enfrentando a tarefa de enfrentar os novos desafios resultantes da tecnologia em constante avanço”.

exigem uma grande atenção com os sistemas formais de ensino, treinamento, especialização, pesquisa e desenvolvimento.³¹ Já é fato bem destacado que essa nova onda tecnológica vem ampliando a demanda por trabalho altamente qualificado, que deverá ser ampliada progressivamente, à medida que avança seus impactos.

Aspecto preocupante é o fato de que o mais elevado impacto da tecnologia em termos de substituição do trabalho não somente rotineiro mas também cognitivo – por computadores, robôs, máquinas inteligentes – tem sido projetado para os trabalhadores de níveis médios de formação, capacitação ou de habilidades, como atividades de apoio administrativo, na coleta e análise dados, em trabalhos rotineiros e/ou de médios requisitos cognitivos, em atividades físicas previsíveis. Isso aponta para uma crescente demanda por reciclagem e elevação de padrões médios de formação/capacitação para padrões mais elevados, com importantes impactos sobre os sistemas educacionais, de formação, qualificação e reciclagem profissional. Essas pressões poderão ser reforçadas por parte expressiva dos trabalhadores de baixa formação/qualificação/habilidade que, mesmo sofrendo menores impactos dessa onda tecnológica, poderão ser pressionados pelo desemprego mais elevado, por baixos salários e por uma concorrência que demande maior produtividade dentre aqueles que constituiriam uma grande oferta de trabalho de baixa qualificação. Em outros casos, essas demandas poderão ser efetivadas por trabalhadores sem vínculos de emprego, em atividades independentes ou como pequenos empreendedores (IBA, 2017)³². E segundo Luciano Coutinho, “um dos consensos sobre a rede de internet é que cerca de metade das novas soluções, técnicas de *hardware* e *software* ou de equipamentos associados à internet das coisas, como sensores, será desenvolvida por *startups*” (Coutinho, 2017).

Entre as mais importantes habilidades, são destacadas o maior desenvolvimento da flexibilidade, da agilidade, da capacidade de liderança e de comunicação com as pessoas, da resiliência, concentrando em tarefas associadas a requisitos “intrinsecamente humanos” que as máquinas ainda não poderão desenvolver, mesmo quando essas transformações já se apresentarem em estágios mais avançados, como o “*pensamento lógico, resolução de problemas, capacidades sociais e emocionais, fornecendo expertise, treinando e desenvolvendo criatividade*” (IBA, 2017)³³. As pessoas criativas e com talentos em ciências, matemática, computação, comunicação são apontadas como as mais qualificadas para o novo mercado de trabalho³⁴. Estudo do IBA (2017) destaca que “*um dos requisitos mais importantes, no entanto, será a criatividade. Como se pode ver nos exemplos de Tesla, Uber ou Airbnb, as inovações são criadas não apenas por participantes do mercado estabelecidos, mas também por startups visionários que se tornam um nome para si com ideias disruptivas*” (IBA, 2017).

(31) Algumas pesquisas apontam também para a maior importância de requisitos de qualificações não formais: Segundo estudo do IBA (2017), “*estes incluem, por exemplo, a capacidade de agir de forma independente, criar redes, organizar-se e suas equipes com foco em alvos e pensar de forma abstrata*”.

(32) Segundo estudo da McKinsey (2017), “*um aumento no trabalho por conta própria é típico para a nova geração de funcionários*.” Segundo estudo da Organização Internacional do Trabalho (OIT) “*há uma crescente probabilidade de que várias formas permanentes de emprego por conta própria se convertam em soluções alternativas*” (ILO, 2015).

(33) “*Finalmente, a automação criará uma oportunidade para que aqueles que trabalham usem as habilidades humanas inatas que as máquinas têm mais difíceis de replicar (...). Por enquanto, o mundo do trabalho ainda espera que homens e mulheres empreguem tarefas rotineiras que não ampliem essas capacidades inatas o máximo que puderem*” (IBA, 2017).

(34) “*Os funcionários devem ser capazes de formar uma unidade com máquinas e algoritmos de suporte e para navegar na internet confortavelmente e mover-se com segurança nas redes sociais. Para fazer isso, é necessário saber como funcionam as estruturas básicas. O funcionário também deve, no entanto, poder examinar máquinas e software de forma crítica. Há uma demanda crescente por funcionários que também podem trabalhar em áreas estratégicas e complexas*” (IBA, 2017).

Como a Indústria 4.0 poderá atingir diversos segmentos e ramos de atividade, e numa forma inesperada e/ou num período mais rápido do que se esperava, deve-se preocupar com a educação, formação, qualificação. Isso deve fazer parte de um conjunto de políticas frente as enormes transformações da Indústria 4.0, no sentido de orientar seus resultados:

Por exemplo, “ciência cognitiva industrial” e “biônica da automação” são sugeridas como cursos de graduação inovadores que lidam principalmente com a pesquisa e a otimização da interação entre sistemas de robô e funcionários. Além da área de robótica, serão necessários cursos de extensão na área de big data. A demanda dos empregadores por artistas de dados e cientistas de dados ou desenvolvedores de big data está aumentando rapidamente. Os principais temas para o campo profissional da ciência de dados incluem a pesquisa de dados de todos os tipos e suas estruturas. A educação uniforme nesta área ainda não está disponível. Os governos são responsáveis não apenas por tornar a educação possível, mas também por focar os interesses dos jovens em empregos técnicos e de TI em idade precoce. Isso aumentará o número de graduados no longo prazo (IBA, 2017).

Essa preocupação tem sido demonstrada em várias pesquisas, que ressaltam a importância de se repensar os sistemas de educação, treinamento, especialização, no sentido aumentar a capacitação e oferecer aos trabalhadores as novas habilidades e exigências colocadas por essa nova onda de profundas transformações produtivas, tecnológicas e organizacionais (ILO, 2015; IBA, 2017; McKinsey, 2017).

Nesse sentido, é necessário que os sistemas e instituições educacionais, assim como outras instituições³⁵, passem a contemplar e melhorar conteúdos associados às novas demandas, nas áreas de ciências físicas e biológicas, matemática, engenharia, tecnologias, comunicações, com ênfase nos novos e mais importantes requerimentos (criatividade, capacidade de reflexão crítica e de inovação, comunicação etc), ou seja, com investimentos na promoção das novas competências necessárias à força de trabalho para que esse aspecto não se some às inúmeras dificuldades que muitas nações precisarão enfrentar com sucesso para não ficar ainda mais distantes dos padrões produtivos e tecnológicos daquelas mais desenvolvidas e que estão adiante nesses processos de profundas mudanças produtivas, tecnológicas, organizacionais, com níveis muito mais elevados de competitividade e de inserção nas cadeias globais de valor, aspectos decisivos no alcance e manutenção de padrões de vida, cultura e sociabilidade mais elevados³⁶.

2 Impactos da automação, da manufatura avançada ou indústria 4.0 sobre o trabalho

No início da década de 2010, o trabalho desenvolvido pelos pesquisadores do MIT Erik Brynjolfsson e Andrew McAfee, deu visibilidade à ideia de que o desenvolvimento tecnológico, particularmente, na área da eletrônica digital, no software, na robótica e na chamada Inteligência Artificial, se constituíam numa potencial ameaça ao crescimento do emprego e dos salários (Brynjolfsson; McAfee,

(35) Por exemplo, na Itália, a Federação Italiana de Trabalhadores Metalúrgicos promove a formação profissional como direito dos trabalhadores, e que deveriam ser incluídos no acordo coletivo nacional desse setor, abrindo um caminho mais setorial para a adaptação e/ou reciclagem dos trabalhadores de formas compatíveis com os novos requisitos das empresas ou do setor nesse contexto de profundas mudanças (Certeza, 2018).

(36) “Para ser capaz de atender aos padrões acima mencionados para a Indústria 4.0, os futuros funcionários devem aprender novas qualificações-chave, mas o sistema educacional também deve ser adaptado a essas novas condições de estrutura. Houve acordo no World Economic Forum 2016, por exemplo, que tanto as escolas quanto as universidades “não deveriam ensinar ao mundo como ele era, mas como será”. Novas estratégias de qualificação para países individuais são, portanto, necessárias. Eles devem incentivar o interesse dos alunos em matérias como matemática, tecnologia da informação, ciência e tecnologia quando ainda estão na escola, e professores com competência digital devem ensinar os alunos a pensar criticamente ao usar novas mídias e ajudá-los a alcançar uma compreensão fundamental de novos dispositivos digitais e de informação” (IBA, 2017).

2012). Adicionalmente à difusão deste texto, nesse mesmo período concretizam-se várias iniciativas de modernização industrial, impulsionadas por governos na esfera da União Europeia, particular destaque para a Indústria 4.0 do governo alemão. (Saldivar et al., 2015).

No ano de 2013, aparece um relatório da Oxford Marin School, sob responsabilidade de Carl-Benedikt Frey e Michael Osborne, que calcularam que 47% dos empregos existentes nos Estados Unidos são suscetíveis à automação (Frey e Osborne, 2013), aonde se apresentam uma série de previsões sobre a evolução de ocupações derivadas da automação de atividades nos Estados Unidos. Suas estimativas mostram que quase 43% das ocupações nesse país estão ameaçadas devido ao impacto da chamada computorização das ocupações, particularmente na área do Aprendizado das Máquinas (*Machine Learning*) ou seja, os avanços no software de previsão e controle de processos. Outras contribuições recentes têm estimado cifras diferentes, mais estudos como World Economic Forum (2013) e World Trade Organization (2017) convergem na ideia de que as novas tecnologias representam uma grave ameaça às ocupações atuais, que impactarão negativamente atividades com menores salários e menor escolaridade.

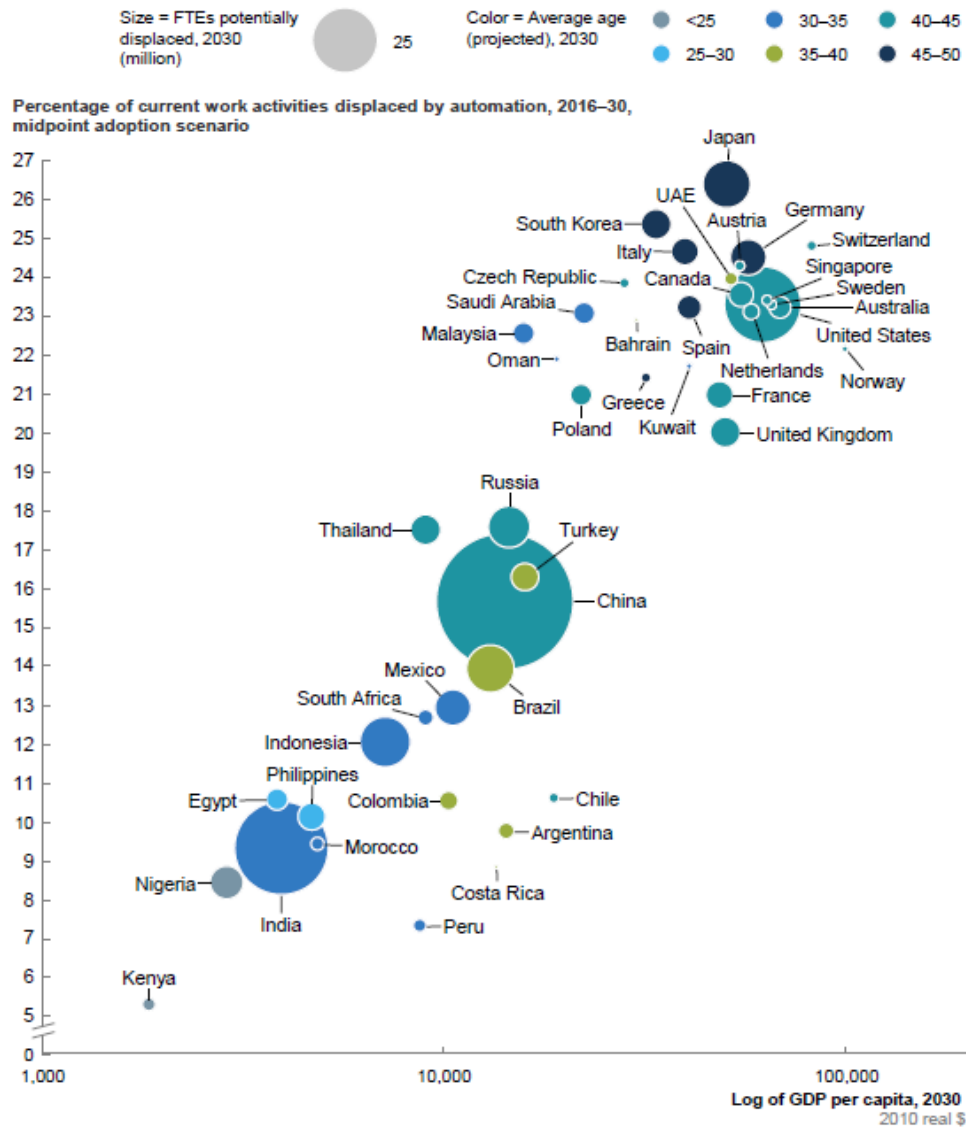
Por outro lado, existem estudos que tendem a minimizar o impacto destes avanços tecnológicos, já que, de acordo com a história da tecnologia, as ocupações perdidas num setor ou atividade são compensadas pela criação de novos empregos ou ocupações (Stewart; Debapratim; Cole, 2014).

Em recente pesquisa sobre automação e seus impactos sobre o trabalho, a consultoria McKinsey examinou o trabalho que pode ser automatizado até 2030 e os empregos que podem ser criados no mesmo período. Admitindo dificuldades em prever o futuro, a pesquisa oferece alguns *insights* sobre a transição que podemos assistir na próxima década em termos dos empregos perdidos, dos empregos criados e da dinâmica da força de trabalho em face do desenvolvimento da manufatura avançada (McKinsey; Company, 2017).

Entre as principais tendências, aponta que tecnologias de automação, incluindo inteligência artificial e robótica, afetarão 60% das ocupações no mundo, considerando que pelo menos 30% do trabalho constituinte de atividades poderá ser automatizado até 2030. O impacto é maior em trabalhos técnicos e de média qualificação, onde cerca de metade de todas as atividades poderão ser automatizadas. A pesquisa considera que mesmo havendo trabalho suficiente para garantir o pleno emprego até 2030, grandes transições estão à frente, ultrapassando uma escala de mudanças históricas de transições anteriores que atingiram a agricultura e a manufatura. Os cenários construídos sugerem que, em 2030, 75 a 375 milhões de trabalhadores (3 a 14% da força de trabalho global) precisarão mudar de categorias ocupacionais. Além disso, todos os trabalhadores precisarão se adaptar, pois suas ocupações evoluem lado a lado com máquinas cada vez mais capazes. Algumas dessas adaptações exigirão maior nível educacional, ou gastar mais tempo em atividades que exigem habilidades emocionais, criatividade, capacidades cognitivas de alto nível e outras habilidades relativamente difíceis de automatizar. O estudo aponta ainda que a continuidade da polarização da renda nos Estados Unidos e em outras economias avançadas poderá fazer a demanda por ocupações de alto salário crescer, enquanto a maioria das ocupações de salários médios tenderá a diminuir. Nesses termos, num cenário de crescimento da produtividade e da automação, a elevação do desemprego promoverá pressão descendente sobre os salários. Isso poderá ocorrer de forma diferente na China e em economias emergentes, onde ocupações de salário médio nos serviços e na construção, provavelmente terão crescimento líquido, impulsionando a classe média emergente.

Figura 1

Impacto da automação em vários países segundo nível de renda, demografia e estrutura industrial



Fonte: World Bank; Oxford Economics; McKinsey Global Institute Analysis.

Considerando um universo heterogêneo de 46 países, conforme a figura 1, o estudo considera que a proporção de “trabalho deslocado” pode variar em função de aspectos técnicos, econômicos e sociais específicos dos países e de suas estruturas produtivas. A proporção varia amplamente em todos os países, com as economias avançadas sendo mais afetadas pela automação do que as economias em desenvolvimento, refletindo, segundo o estudo, particularmente, taxas salariais maiores, que funcionam como incentivo para a automação.

A McKinsey pondera que mesmo com a automação, a demanda por trabalho poderia aumentar com o crescimento das economias, parcialmente alimentado pelo crescimento da produtividade e pelo progresso tecnológico. Renda crescente e consumo, especialmente nos países em desenvolvimento, poderiam aumentar os cuidados de saúde para sociedades com transformações demográficas robustas que indicam o envelhecimento da população. Investimentos em infraestrutura, construção e energia em economias

atrasadas, por exemplo, poderia criar demanda por trabalho que poderia ajudar a compensar o deslocamento de trabalhadores.

A *PricewaterhouseCoopers* (PWC) em seu estudo *Will robots really steal our jobs?* também trata do impacto potencial da automação sobre o emprego no longo prazo (PWC, 2018). A PWC indica que o avanço da Inteligência artificial (IA), robótica e outras formas de “automação inteligente” podem produzir forte interrupção nos mercados de trabalho. Para explorar isso analisa um conjunto de dados compilados pela OCDE que examina detalhadamente as tarefas envolvidas nos trabalhos de mais de 200.000 trabalhadores em 29 países (27 da OCDE, além de Cingapura e Rússia) estimando a proporção de empregos existentes que podem ser de alto risco de automação até 2030 para cada um desses 29 países, em diferentes setores da indústria, diferentes ocupações dentro de indústrias e para trabalhadores de diferentes sexos, idades e níveis de escolaridade.

Também identifica como o processo de automação poderá avançar até 2030 em ondas sucessivas, a saber:

1. **Onda de algoritmo:** focada na automação de tarefas computacionais simples e na análise de dados estruturados em áreas como finanças, informação e comunicações. Em fase adiantada de implementação.

2. **Onda de aumento:** focada na automação de tarefas repetitivas, como preenchimento de formulários, comunicação e troca de informações através de suporte tecnológico dinâmico e análise estatística de dados não estruturados em ambientes semicontrolados, como drones aéreos e robôs em armazéns. Tal onda também está em andamento, mas é provável que chegue a plena maturidade na década de 2020.

3. **Onda de autonomia:** focada na automação do trabalho físico e na destreza manual e na resolução de problemas em situações dinâmicas do mundo real que exigem ações responsivas, como na fabricação e transporte (por exemplo, veículos sem motoristas). São tecnologias em desenvolvimento, que devem chegar à plena maturidade em escala econômica apenas na década de 2030.

O estudo apresenta estimativas baseadas principalmente na viabilidade técnica da automação. Assim, na prática, a extensão real da automação pode ser maior ou menor, devido a uma variedade de restrições econômicas, legais, regulatórias e organizacionais presentes nas diferentes realidades nacionais. Considera-se que se algo pode ser automatizado em teoria, isso não significa que seja economicamente ou politicamente viável na prática.

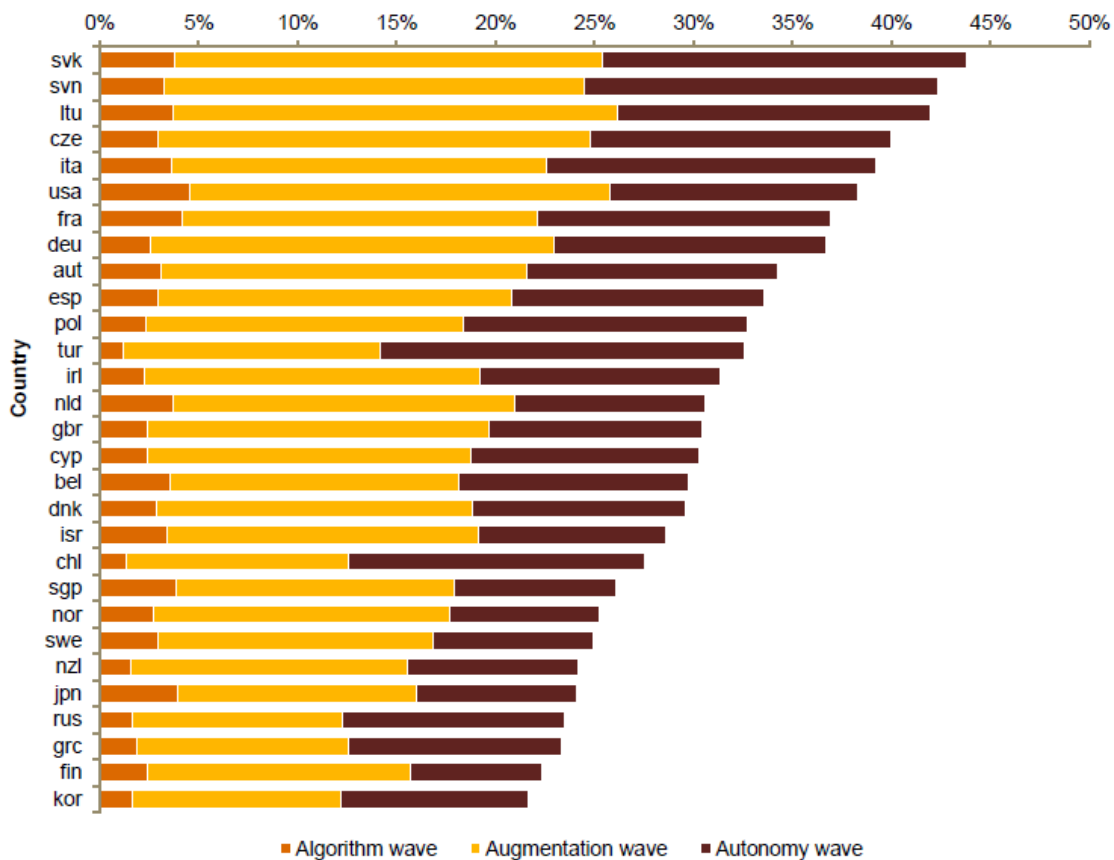
No conjunto, a PWC indica que em meados da década de 2030, até 30% dos empregos poderiam ser automatizados nos 29 países selecionados. Todavia, aponta que a proporção estimada de empregos existentes com alto risco de automação no início da década de 2030 varia significativamente entre os países de acordo com as características de suas economias, mercado de trabalho e da força de trabalho. Essas estimativas variam entre 20 e 25% em algumas economias do leste asiático e nórdico, com níveis educacionais médios relativamente altos, para mais de 40% em economias da Europa Oriental, onde a produção industrial ainda é relativamente intensiva em mão de obra. Países como o Reino Unido e os EUA, com economias dominadas por serviços, mas também com forte presença de trabalhadores menos

qualificados em tarefas rotineiras, podem ter forte automação no longo prazo em níveis intermediários da estrutura de emprego.

Outra dimensão da questão se refere à evolução das taxas de automação em potencial nos países em relação às peculiaridades de cada uma das três ondas de automação. A PwC estima que ocorra durante a primeira onda um deslocamento relativamente baixo dos empregos existentes, de cerca de 3% no início dos anos 2020. Mas o deslocamento de empregos poderá aumentar em ondas posteriores, na medida em que essas tecnologias amadureçam e sejam implementadas em toda a economia de forma cada vez mais autônoma.

Figura 2

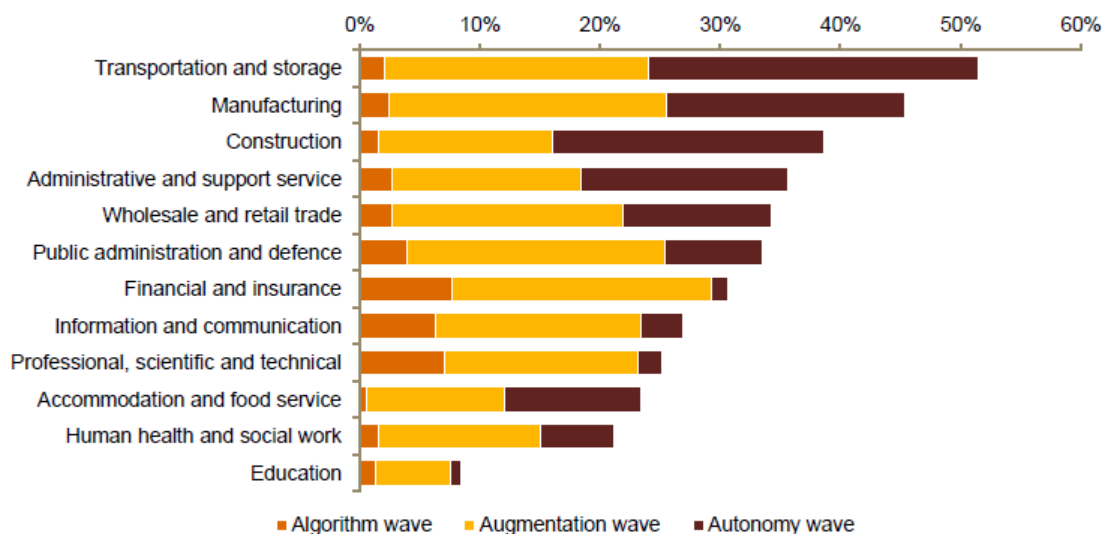
Potenciais taxas de automação de trabalho por país em todas as ondas (% de trabalhos potenciais com alto risco de automação)



Fonte: PIAAC Data, PwC Analysis.

Os trabalhos existentes em alguns países com taxas de automação de longo prazo relativamente baixas, como o Japão, podem, no entanto, ter taxas de automação relativamente altas no curto prazo, dado que as tecnologias algorítmicas (focada na automação de tarefas computacionais simples e na análise de dados estruturados em áreas como finanças, informação e comunicações) já são mais amplamente usadas. Por outro lado, para um país como a Turquia, esses efeitos de curto prazo tendem a ser menores, mas as duas ondas posteriores de automação tendem a ter forte impacto no deslocamento de trabalhadores manuais, como motoristas e trabalhadores da construção civil.

Figura 3
Potenciais taxas de automação de trabalho por setor entre ondas
(% de trabalhos existentes com risco potencial de automação)

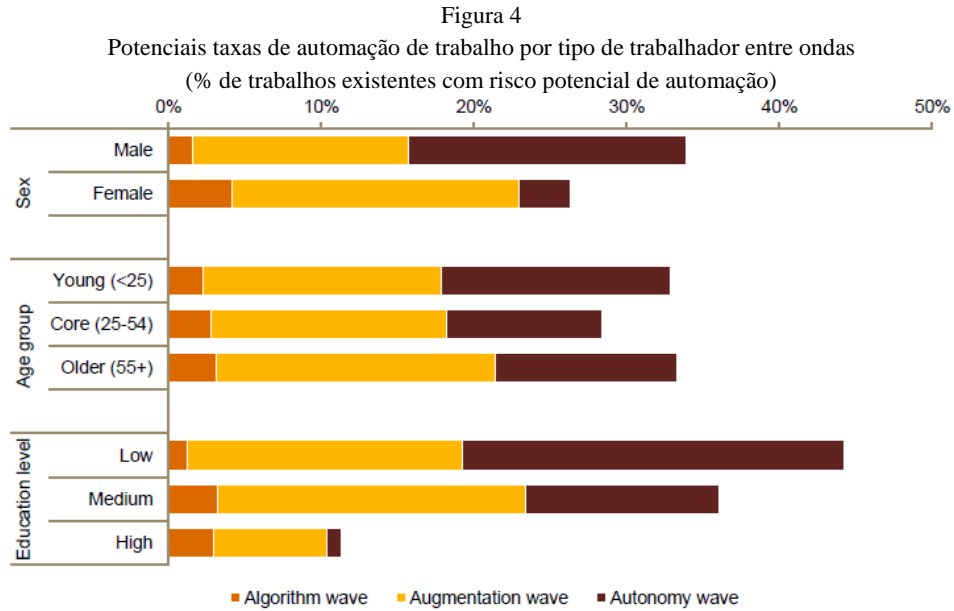


Fonte: PIAAC Data, PwC Analysis.

Abordando a questão por setores da economia, a PwC aponta que o transporte deve se destacar como um setor com alto potencial de automação no longo prazo, à medida que os veículos sem motoristas evoluam em grande escala na terceira onda de automação autônoma (que deve chegar a maturidade na década de 2030). No curto prazo, setores como serviços financeiros poderiam ser mais expostos à medida que os algoritmos superam os humanos em uma gama cada vez maior de tarefas que envolvem a análise de dados puros. Merece destaque ainda que o estudo considera baixo o potencial de automação em setores como educação, saúde e serviços sociais. Tais setores com o menor potencial de automação serão mais atingidos na segunda onda de automação, particularmente pela automação de tarefas repetitivas, como preenchimento de formulários, comunicação e troca de informações através de suporte tecnológico dinâmico e análise estatística de dados não estruturados em ambientes semicontrolados.

Na primeira onda, o potencial de automação parece ser mais homogêneo em termos do nível educacional, segundo a PwC. Todavia, o avanço progressivo para a segunda e terceira onda amplia o potencial de automação para tarefas exercidas por trabalhadores com baixa e principalmente nível médio de educação.

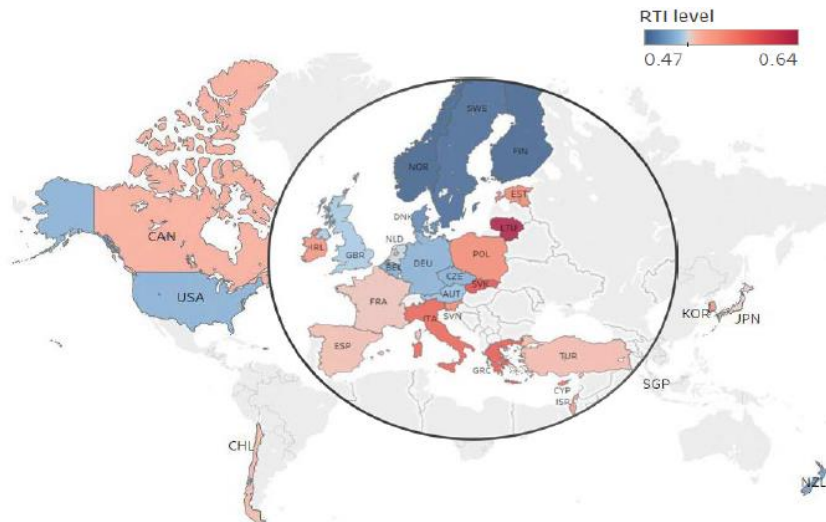
O potencial de automação segundo a idade dos trabalhadores ocupados parece relativamente homogêneo, sendo que os jovens e mais velhos tendem a ser ligeiramente mais atingidos. Os mais velhos (acima de 55 anos) serão mais atingidos no curto e médio prazo, na primeira e segunda onda; os mais jovens (menores de 25 anos) serão mais atingidos no longo prazo, na terceira onda, focada na automação do trabalho físico e na destreza manual e na resolução de problemas em situações dinâmicas do mundo real que exigem ações responsivas. Segundo a PwC, a automação deverá afetar no longo prazo um pouco mais os homens, particularmente pelo avanço de veículos autônomos e outras máquinas que substituirão muitas tarefas manuais, onde a presença de homens empregados é maior. Durante as primeiras e segundas ondas, no entanto, as atividades atualmente desenvolvidas pelas mulheres poderão ter maior risco de automação, devido à sua maior representação em funções administrativas e outras funções meios.



Fonte: PIAAC Data, PwC Analysis.

Voltado exatamente para essa problemática do futuro do trabalho, um grupo de pesquisadores locado no Fundo Monetário Internacional, abordou a questão numa perspectiva de gênero. O trabalho publicado pelo FMI produz um resultado interessante: a mecanização afeta proporcionalmente mais mulheres do que homens. O estudo indica que em 28 países da OCDE, mais Chipre e Singapura, que os empregos das mulheres estão em maior perigo se comparado ao emprego masculino e o argumento é claro: as mulheres tendem a ter mais ocupações rotineiras, independentemente do setor e do trabalho (Kochhar; Brussevich; Dabla-Norris; Kamunge; Christine; Khalid and Gaspar, 2018).

Figura 5
Níveis de Intensidade de Tarefa Rotineira (RTI) para mulheres em países selecionados



Fonte: PIAAC Survey; and IMF staff calculations

Nota: O índice de intensidade de tarefa (RTI) de rotina é calculado no nível feminino usando informações sobre rotina, resumo e manual da tarefa. As médias dos países são calculadas usando pesos de amostragem específicos do país. O nível do índice varia de 0,45 a 0,61.

E são precisamente essas tarefas que são mais ameaçadas pelas novas tecnologias. Ou seja, a diferença de gênero não é explicada tanto porque mais postos de trabalho vão desaparecer nas fábricas, na agricultura ou no comércio, mas em todos esses setores o pessoal que cuida de tarefas menos especializadas e mais rotineiras é maior.

A pesquisa aponta que nos próximos anos o varejo será um setor exposto a um alto risco de mecanização e dentro deste setor, as mulheres tendem a realizar menos “tarefas abstratas e de gerenciamento”. Essas posições de maior decisão são ocupadas em maior proporção pelos homens. São posições que são mais protegidas da automação do que, por exemplo, aquelas de uma caixa de supermercado.

O trabalho do FMI estima que nos 30 países selecionados existam cerca de 26 milhões de mulheres cujos empregos serão ameaçados pela tecnologia ao longo das próximas duas décadas. Esse universo é formado por aqueles empregos com mais de 70% de probabilidade de serem automatizados. Para além desses dados, chega-se a conclusão de que em todo o mundo serão 180 milhões de empregos femininos ameaçados, seguindo os mesmos critérios. Isso significa que a tendência é que a eliminação de empregos femininos seja quase 20% superior à eliminação de empregos masculinos, considerando o número de homens e mulheres ocupados hoje. Acrescenta-se que o risco é maior para as mulheres mais velhas (com 40 anos ou mais), menos instruídas, que trabalham em posições de baixa qualificação, em pontos de venda, escritórios ou serviços, atividades tipicamente femininas (Kochhar; Brussevich; Dabla-Norris; Kamunge; Christine; Khalid and Gaspar, 2018).

Interessante que no plano dos conflitos distributivos, a consultoria *Bain & Company*, em recente publicação, aponta que a demografia, a automação e a desigualdade, em conjunto, têm o potencial de remodelar dramaticamente nosso mundo nos anos 2020, provocando uma ruptura econômica muito maior do que se experimentou nos últimos 60 anos (Bain & Company, 2018). O trabalho indica que o impacto do envelhecimento das populações, a adoção de novas tecnologias de automação e a crescente desigualdade provavelmente se combinam para dar origem a novos riscos e oportunidades de negócios. Nos EUA, por exemplo, espera-se uma nova onda de investimentos em automação que pode chegar aos US\$ 8 trilhões, podendo eliminar até o final da década de 2020 entre 20% a 25% dos empregos atuais no país, atingindo os trabalhadores de renda média a baixa. A automação irá remodelar a economia nacional, produzindo forte turbulência no mercado de trabalho, alterando profundamente o padrão de organização em muitos setores.

O mercado de trabalho para a classe média norte americana, aponta o estudo, tende a erodir com as radicais transformações demográficas e tecnológicas, num quadro de ampliação das desigualdades. A análise contínua dos lares americanos mostra que o núcleo da classe média está agora localizado entre os 50 e 80 percentis de renda familiar – que denominam de “consumidores ambiciosos”. A consultoria afirma que a eliminação de empregos e a desigualdade crescente tende encolher a classe média, favorecendo a mudança de um modelo doméstico de três níveis (superior, médio e inferior) para uma estrutura basicamente de dois níveis (superior e inferior) – sendo que o afluente representaria aproximadamente os 20% mais altos, e os restantes 80% ganhariam um nível de renda real médio mais baixo do que a classe média atual. Evidentemente, a erosão do grupo de consumidores pode ser menor em mercados onde a distribuição de renda é mais equilibrada.

Preocupada com as estratégias empresarias diante deste quadro, a *Bain & Company* recomenda que as empresas de bens de consumo e serviços cuidem de sua posição em toda a área socioeconômica, principalmente em economias nacionais com uma distribuição de renda pior. Concentrar-se no segmento afluente, diz a consultoria, é uma opção estratégica ampla, já que esse grupo ganhará mais terreno com a automação. Todavia, este grupo também poderá enfrentar uma tributação cada vez mais pesada, especialmente a partir do final dos anos 2020 e nos anos 2030, assim como o comprometimento de sua

renda poderá aumentar ao longo do tempo para itens com preços mais elevados. Neste cenário, o resultado é que a concorrência no nível afluyente da sociedade se tornará mais intensa.

Por outro lado, empresas que adaptem seus modelos de negócios ao nível de renda mais baixo da população poderão encontrar novas oportunidades e um espaço competitivo menos lotado, desde que eles possam usar automação e segmentação para reduzir suas estruturas de custos. Tão importante quanto a automação será para as empresas que se direcionarem para os 80% não-afluentes, a deflação direta dos preços. Os clientes que lutam para comprar mercadorias voltadas para os ricos podem ser cada vez mais receptivos a alternativas mais baratas. Para as empresas americanas, modelos de custo desenvolvidos em mercados emergentes, como a China e a Índia, fornecerão lições importantes para as empresas que competem pela ampla camada de não afluentes. Os países emergentes com ambições internacionais também podem encontrar oportunidades crescentes de vender produtos e serviços para este nível social nos países desenvolvidos. Como a automação prejudica as estratégias de crescimento lideradas pelas exportações com base nos custos do trabalho, economias mais atrasadas poderão usar também essa estratégia de redução de custos pela automação para acessar mercados de economias avançadas.

Por fim, o estudo sugere que a combinação de renda crescente e desigualdade de riqueza pode levantar questões sobre como os recursos são divididos entre aposentados do *baby boom* e os milhares de trabalhadores em idade ativa. A pensão pública e os sistemas de saúde podem chegar ao ponto de ruptura na próxima década. Populações envelhecidas tendem a sobrecarregar os sistemas sociais como nunca. Com a crescente desigualdade de renda e riqueza, o encolhimento da base de trabalhadores de classe média para tributar e apoiar o crescente número de aposentados dependentes de transferências, os recursos serão insuficientes para financiar totalmente as necessidades de todos os aposentados não-afluentes. A sustentação da renda dos não afluentes dependerá crescentemente das transferências para apoiar um grupo ou outro (ativos e inativos), portanto impondo desafios à capacidade de gasto dos governos e dos seus desdobramentos sobre o mercado de consumo para as empresas.

Uma dimensão importante do avanço das novas tecnologias, da Inteligência Artificial, da automação e da manufatura avançada é a transformação nas relações entre emprego e educação. Em publicação especial recente, *The Economist* colocou em tela de juízo tal dimensão, mostrando que as mudanças tecnológicas exigirão conexões mais fortes e mais contínuas entre educação e emprego. Nos países ricos, o vínculo entre aprender e ganhar tendeu a seguir uma regra simples: obter o máximo de educação formal possível no início da vida e colher as recompensas correspondentes pelo resto de sua carreira. A literatura sugere que cada ano adicional de escolaridade formal está associado a um aumento de 8-13% nos ganhos por hora (*The Economist* 2017).

Muitos acreditam que a mudança tecnológica apenas reforça a necessidade de mais educação formal. De fato, os trabalhos compostos de tarefas de rotina que são de fácil automatização estão em declínio. Por outro lado, o número de empregos que exigem maior habilidade cognitiva vem crescendo e deverá crescer nos próximos anos. O mercado de trabalho estaria se transformando e aqueles com diplomas universitários ocuparão os empregos mais bem remunerados.

Certamente esse fenômeno é concreto. Todavia, a realidade parece ser mais complexa, sugere a publicação. Os retornos da educação, mesmo para os altamente qualificados, tornaram-se menos precisos. Entre 1982 e 2001, os salários médios obtidos pelos trabalhadores americanos com diploma de bacharel aumentaram em 31%, enquanto aqueles salários dos formandos do ensino médio não mudaram, de acordo com o *Federal Reserve* de Nova York. Mas nos 12 anos seguintes, os salários dos formados em faculdades caíram mais do que os de seus pares menos instruídos. Enquanto isso, os custos de matrícula nas universidades aumentaram de forma significativa. Assim, a decisão de ir para a faculdade ainda faz sentido para a maioria, mas a ideia de uma relação mecanicista entre educação e salários levou um golpe.

Interessante notar que pesquisa recente realizada pelo Pew Research Center mostrou que apenas 16% dos americanos acham que um curso de quatro anos prepara os alunos muito bem para um emprego bem remunerado na economia moderna (Pew Reserch Center 2016). É possível que parte dessa percepção seja um efeito das consequências econômicas da crise financeira ou ainda simplesmente uma questão de suprimento: quanto mais pessoas possuam diplomas universitários, o prêmio associado à escolaridade declina. Mas a tecnologia também parece estar complicando o quadro.

Paul Beaudry, David Green e Benjamin Sand, em “The great reversal in the demand for skill and cognitive tasks”, publicado em 2013, questionam suposições otimistas sobre a demanda por trabalhos não-rotineiros. Argumentam que frente às mudanças no mercado de trabalho na virada do século, em particular por volta do ano 2000, a demanda por habilidade (ou, mais especificamente, por tarefas cognitivas frequentemente associadas à alta habilidade educacional) sofreu uma reversão (Beaudry; Green and Sand, 2013).

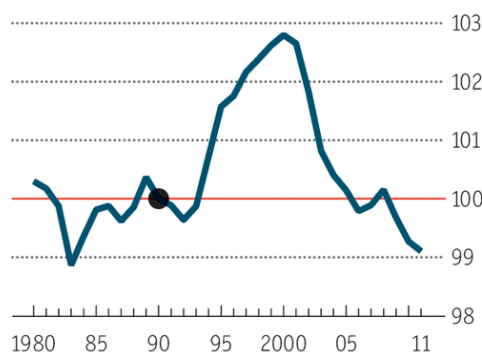
Após um forte e contínuo aumento na demanda por habilidades nas décadas que antecederam o ano 2000, assistimos um declínio dessa demanda nos anos seguintes. Os economistas canadenses demonstram que em resposta a essa inversão de demanda, os trabalhadores altamente qualificados desceram a escada ocupacional e começaram a realizar trabalhos tradicionalmente realizados por trabalhadores menos qualificados.

Esse processo de desqualificação, por sua vez, resultou em trabalhadores altamente qualificados empurrando trabalhadores pouco qualificados ainda mais para baixo na escada ocupacional e, até certo ponto, fora da força de trabalho. Frente a esse novo padrão, sugerem que estamos diante de uma mudança técnica, onde ainda se tem um estoque de pretéritas tarefas cognitivas, mas não um fluxo de novas tarefas. Concretamente, oferecem uma nova interpretação da atual situação de emprego nos EUA.

Nas duas décadas anteriores a 2000, a demanda por habilidades cognitivas aumentou à medida que a infraestrutura básica da era da TI (computadores, servidores, estações de base e cabos de fibra ótica) estava sendo construída. Com tal tecnologia estabelecida, essa demanda diminuiu. Assim, desde 2000, a parcela de empregos representada por empregos altamente qualificados nos Estados Unidos vem caindo.

Como resultado, os trabalhadores com formação universitária estão assumindo empregos que são cognitivamente menos exigentes, deslocando trabalhadores menos instruídos.

Figura 6
Estados Unidos
Intensidade cognitiva média das tarefas realizadas por graduados universitários empregados (1990=100)



Fonte: Beaudry e Sand (2013).

A interpretação dos economistas canadenses indica que as novas tecnologias avançadas já estão atingindo o conjunto dos empregos nos Estados Unidos e não apenas aqueles mais imediatamente sujeitos

a padronização rotineira e a automação direta. Trabalhadores habilidosos e não qualificados estão sendo atingidos de formas distintas. Por um lado, sugerem que aqueles com melhor educação ainda são mais propensos a encontrar trabalho, mas agora com grande chance de que esse trabalho não seja compatível com sua elevada escolaridade formal. Por outro lado, submetidos à competição com os mais qualificados, aqueles que nunca chegaram à faculdade estão expostos a não inserção e à exclusão da força de trabalho. De forma mais radical, esse pessimismo pode ser visto também nas projeções de Carl-Benedikt Frey e Michael Osborne, da Universidade de Oxford que, em 2013, calcularam que 47% dos empregos existentes nos Estados Unidos são suscetíveis à automação (Frey; Osborne, 2013)³⁷.

Todavia, mesmo considerando que o processo de destruição do emprego não seja tão linear, deve-se considerar os fatos em andamento que evidenciam certas tendências bastante evidentes. Em artigo de 2017, Pascual Restrepo e Daron Acemoglu, discutem como as novas tecnologias e a automação tornarão a mão de obra redundante num movimento de destruição e criação de tarefas. Concretamente, entre 1996 e 2015, a parcela da força de trabalho americana em empregos de escritório de rotina caiu de 25,5% para 21%, eliminando 7 milhões de empregos. Entre 2007 e 2015, as vagas para trabalho de rotina não qualificado sofreram uma queda de 55% em relação a outros empregos. Evidentemente, consideram que a crise financeira de 2007-2008 intensificou o processo, mas sugerem que estamos diante de um movimento mais profundo de transformação (Restrepo; Acemoglu, 2017).

Não há dúvida que as dificuldades serão crescentes para todos os tipos de trabalhadores. Um diploma universitário ainda é um pré-requisito para muitos empregos, mas deixou de ser um passaporte de acesso para um bom emprego. No caso norte-americano, tratamos de um mercado de trabalho com um número crescente de trabalhadores autônomos. Com baixos salários, a participação de trabalhadores temporários, empreiteiros e autônomos na força de trabalho aumentou de 10,1% em 2005 para 15,8% em 2015 (BLS).

Num esforço recente de reflexão sobre o impacto das novas tecnologias sobre o trabalho, o *African Development Bank Group*, o *Asian Development Bank*, o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e o *European Bank for Reconstruction and Development* organizaram um interessante estudo sobre o tema procurando apreender as especificidades das chamadas economias emergentes. Argumentam que de fato há um número crescente de estudos e iniciativas que estão sendo realizados para analisar o que essas mudanças significam em nosso trabalho, em nossa renda, no futuro de nossos filhos, em nossas empresas e em nossos governos. Todavia, ponderam que na maior parte dos casos, essas análises são conduzidas principalmente a partir da ótica das economias avançadas e muito menos na perspectiva das economias em desenvolvimento. No entanto, diferenças relativas à difusão tecnológica, de estruturas econômicas e demográficas, níveis de educação e padrões migratórios têm um impacto significativo no caminho que essas mudanças podem afetar os países em desenvolvimento e emergentes (BID, 2018).

O estudo destaca que as diferenças marcantes registradas nas estruturas econômicas geram contrastes igualmente acentuados na forma como os países são afetados pelo progresso tecnológico em termos de emprego. Por exemplo, os avanços na agricultura podem ser particularmente importantes na Ásia e na África, uma vez que essa atividade responde por uma porcentagem maior de emprego lá. Na África, 51% dos trabalhadores estão ocupados na agricultura, enquanto na Ásia a proporção é de 32%. Nas outras regiões, a porcentagem de emprego na agricultura é muito menor: apenas 16% na América Latina e Caribe

(37) Um bom exemplo para expressar as dificuldades das projeções dos efeitos da automação sobre o emprego é o trabalho de James Bessen, economista da Universidade de Boston, aponta que para a heterogeneidade dos efeitos da automação em profissões específicas indicando que, por exemplo, desde 1980 o emprego tem crescido mais rápido em ocupações que usam computadores em comparação àquelas que não usam. Isso ocorre porque a automação tende a afetar as tarefas dentro de uma ocupação e não eliminar as tarefas na sua totalidade. A automação parcial pode realmente aumentar a demanda reduzindo os custos, diminuindo a demanda por trabalhadores em certos setores mas expandindo em outros. O exemplo que Bessen oferece é que apesar da introdução do scanner de código de barras nos supermercados e no caixa eletrônico dos bancos, o número de caixas e caixas de banco cresceu nos Estados Unidos. Ver Bessen (2016).

e 10% nas economias em desenvolvimento que são membros do Banco Europeu de Reconstrução e Desenvolvimento (EBRD)³⁸.

Os avanços na manufatura, como robótica e impressão 3D, são de maior importância nas regiões do EBRD, onde o percentual de emprego na indústria manufatureira é alto: 30%. Por fim, o que acontece no setor de serviços será particularmente decisivo para a região do EBRD e na América Latina e no Caribe, onde representa cerca de 60% do emprego total, algo não muito distante dos 70% registrado no mundo desenvolvido.

O trabalho das instituições aponta que embora estimativas iniciais indicassem um maior potencial para automação em países emergentes, os cálculos mais recentes mostram diferenças menores e nenhum padrão claro por nível de renda dos países. Afirmam que o potencial de automação parecia maior nas economias emergentes, dada sua especialização em ocupações com tarefas repetitivas, baixa qualificação e remuneração reduzida, o que significa que, com as tecnologias atuais, esse processo seria, por hipótese, mais fácil. Cálculos recentes do Banco Mundial, entretanto, mostraram o maior potencial de automação na Ásia e na África: 73% e 71%, respectivamente (World Bank, 2016).

Novas estimativas indicam diferenças muito menores entre regiões e nenhum padrão baseado em renda. Por exemplo, de acordo com McKinsey, as economias desenvolvidas e a África têm o mesmo potencial de automação. Deve-se ressaltar que, embora alguns números iniciais apontassem para que a automação possa destruir mais de metade dos postos de trabalho existentes, novos cálculos baseados em tarefas indicam que apenas 8% dos empregos nos países do EBRD e 9% nas economias desenvolvidas podem automatizar mais de 70% de suas tarefas (McKinsey; Company, 2017).

Tratando de especificidades regionais, trabalho feito no âmbito da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) em 2017, “Políticas industriales y tecnológicas en América Latina”, traz uma importante reflexão sobre os impactos das transformações tecnológicas contemporâneas na região (Cimoli et al, 2017). Em sua terceira parte, o documento destaca que diferente daquilo observado nos países desenvolvidos, ainda é incipiente o fenômeno da Indústria 4.0 na América Latina, onde os mais importantes países da região ainda não alcançaram as capacidades mínimas em cinco tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, a saber: conectividade, infraestrutura de armazenamento de dados, computação em nuvem, análise de big data e Internet das coisas (Cimoli; Gligo; Rovira, 2017).

As atividades digitais mais frequentes dos usuários latino-americanos são relacionadas à Internet do consumo, ou seja, o uso de redes sociais, jogos, vídeos, comunicações e comércio eletrônico. Nos setores produtivos, o uso de tecnologias digitais é focada principalmente em ferramentas de comunicação e gestão e, em menor escala, nas ferramentas de automação e controle de processos produtivos (Katz, 2015). Esta baixa adoção de tecnologias digitais em atividades produtivas por parte das empresas explica que a contribuição econômica da Internet de produção não é significativa. A indústria 4.0 nos países da região está em uma fase incipiente e o documento aponta para o risco de que a diferença seja acentuada nos próximos anos em comparação aos países desenvolvidos.

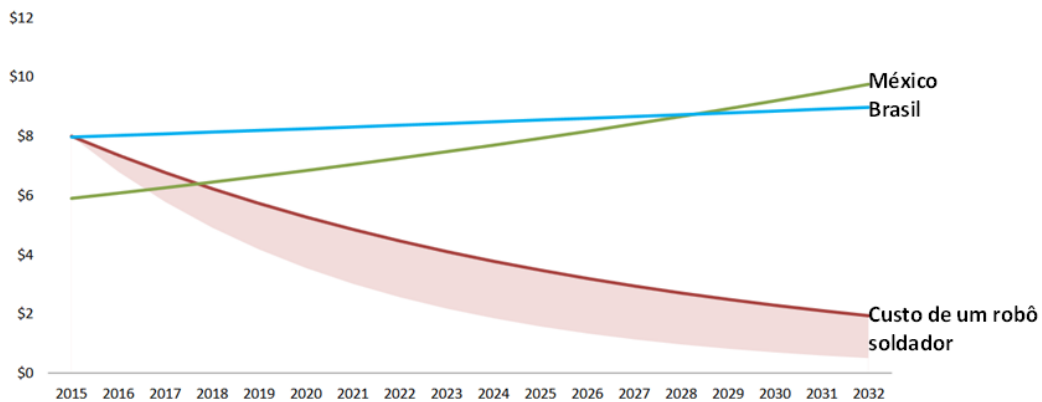
Com diferenças nacionais importantes, o estudo indica que o atraso tecnológico na América Latina, expresso em um baixo nível de digitalização dos setores industriais, limita, por hora, os impactos das mudanças estruturais relativas à Indústria 4.0 sobre o emprego na região. Neste quadro latino-americano, o trabalho de Cimoli, Gligo e Rovira, sugere que o impacto da Indústria 4.0 sobre o emprego na região ainda é incerto, mas há algumas estimativas preliminares.

O Fórum Econômico Mundial estimou que, como o produto da mudança tecnológica na região, poderia haver uma destruição líquida de empregos em 2030, de 3,38 milhões de postos de trabalho, com uma redução significativa nas atividades de fabricação e construção, na faixa de competências médias, e um

(38) O EBRD engloba a Europa Central, Oriental e do Sudeste, o Mediterrâneo Meridional e Oriental, a Ásia Central e a Mongólia.

aumento no setor de serviços com baixa ou alta qualificação (WEF, 2016). Os níveis de desigualdade poderiam ser agravados pela polarização do emprego, afetando uma classe média emergente estimada em cerca de 35% da população. Isso é explicado porque a ameaça de substituição de emprego ocorre na faixa média, onde a região possui a maior oferta relativa de recursos humanos, associada ao recente aumento das taxas de cobertura do ensino secundário (Cimoli; Gligo; Rovira, 2017).

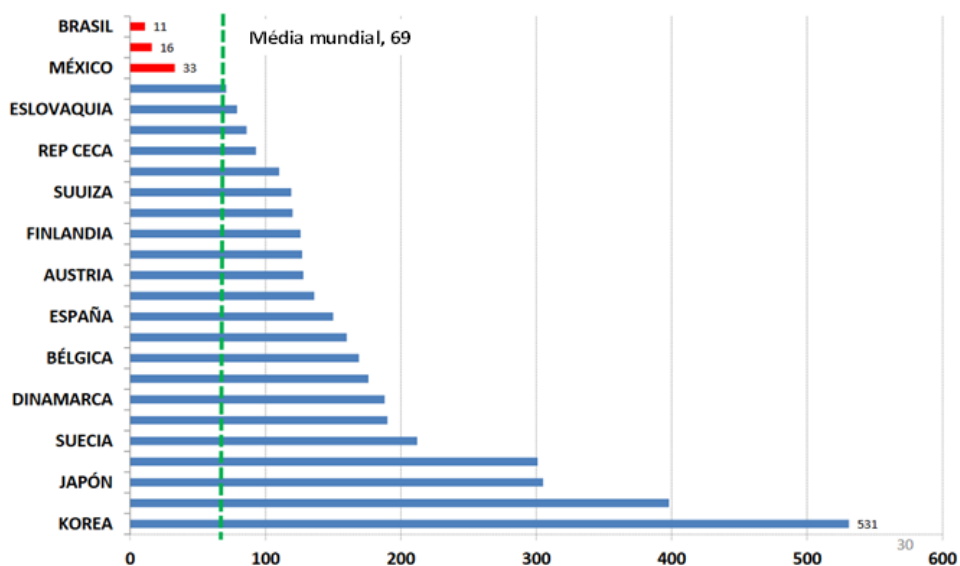
Figura 7
Evolução do custo médio de um robô soldador e da mão de obra manufatureira no México e no Brasil
(em dólares por hora)



Fonte: CEPAL.

Em setores tradicionais da estrutura produtiva latino americana, o potencial de substituição de trabalhadores é bastante significativo. Tomando duas das maiores economias da região, México e Brasil, a queda do custo de um robô soldador em comparação ao custo horário em dólar na manufatura nesses países, na próxima década, oferece um exemplo deste potencial. O limitado uso dos chamados “robôs multipropósito” nos países mais avançados da indústria manufatureira da região, como Brasil e México, também demonstram tal potencial.

Figura 8
Número de robôs multipropósito para cada 10.000 empregados na indústria manufatureira, 2015



Fonte: CEPAL.

Não somente na indústria manufatureira. A baixa adoção de tecnologias digitais em processos de atividades produtivas, que por hora tem afetado limitadamente o emprego industrial na região, parece ter grande espaço de avanço na próxima década no setor de serviços. A evolução do padrão de automação, inicialmente voltada para a execução de tarefas comuns, para tecnologias plurifuncionais, com a incorporação de robôs colaborativos – COBOTS – um dos pilares da Indústria 4.0. e da inteligência artificial, abre um campo de transformação enorme para a produção de bens, e fundamentalmente, na oferta de serviços.

Importante destacar que em consonância com as formulações presentes no estudo da CEPAL, o Banco Europeu de Reconstrução e Desenvolvimento (EBRD), ao tratar a realidade de países periféricos, na Europa central e oriental, além da Ásia e da Mongólia, sugere impactos diferenciados da automação sobre o emprego em estruturas econômicas muito distintas. Todavia, também indica, como o trabalho da CEPAL, que os avanços na manufatura, com a robótica e a impressão 3D, são de maior importância onde o percentual de emprego nesse setor é alto: 30%. Mais ainda, como afirmado anteriormente, no setor de serviços será particularmente decisivo para a região EBRD e na América Latina e no Caribe, onde representa cerca de 60% do emprego total, algo não muito distante dos 70% registrado no mundo desenvolvido.

Nesse sentido, o Brasil é uma experiência nacional que deve ser vista com bastante atenção na América Latina hoje e nos próximos anos. Trata-se da experiência mais bem sucedida de industrialização na região ao longo do século XX. Decorrente disso, uma estrutura social com participação importante das novas classes médias e uma estrutura de emprego que, se por um lado traz marcas profundas do atraso secular do país, por outro, expressa mudanças em direção à configuração de uma sociedade urbana, industrial e continental; ou seja, que até a sua integração ao processo de globalização contou com importante participação do emprego industrial na estrutura de emprego, com reflexos na montagem de um setor de serviços complexo e heterogêneo, articulados à estrutura produtiva e que passou a abrigar uma elevada porcentagem do emprego total.

Assim, diante das incertezas quanto ao futuro das inovações, da automação e dos impactos diversos no tempo sobre o trabalho, em estruturas econômicas e sociais distintas entre os países, o Brasil pode ser um dos países periféricos mais propensos a sofrer impactos das novas tecnologias, aqui tratadas em termos de emprego. Como visto, empregos dos setores médios, com tarefas rotineiras e em atividades meio, são aqueles que tendem a ser mais atingidos pela automação avançada. A estrutura de emprego brasileira conta com forte presença desses empregos, diferentemente de outros países periféricos com estruturas produtivas mais atrasadas e menos diferenciadas. Outra frente atingida pela automação avançada é o transporte e a logística. Em um país continental como o Brasil, são setores densos na estrutura econômica e intensivos em emprego. Poderão ser atingidos sobremaneira pela automação avançada.

Referências bibliográficas

AFRICAN DEVELOPMENT BANK GROUP; ASIAN DEVELOPMENT BANK; BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO; EUROPEAN BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT. *El futuro del trabajo: perspectivas regionales*. Washington/DC, Apr. 2018.

AUTOR, David H. Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of Economic Perspectives*, v. 29, n. 3, p. 3-30, Summer 2015.

BAIN & COMPANY, Inc. *Labor 2030: the collision of demographics, automation and inequality: the business environment of the 2020s will be more volatile and economic swings more extreme*. New York, Feb. 2018.

BEAUDRY, Paul; GREEN, Davi A.; SAND, Benjamin M. *The great reversal in the demand for skill and cognitive tasks*. Mar. 2013. (NBER Working Paper, n. 18901).

BESSEN, James. The automation paradox: when computers start doing the work of people, the need for people often increases. Jan. 2016. Available at: <https://www.theatlantic.com/business/archive/2016/01/automation-paradox/424437/>.

BID et al. *EL futuro del trabajo* – perspectivas regionales. Washington DC, Apr. 2018

BLS – Bureau of Labor Statistics. Available at: <https://www.bls.gov/>.

BREDA, M. D. Ensayo sobre la cegueira: la indústria 4.0 en América Latina. *Revista Ciencia y Izquierda*, n. 22, jun. 2018.

BOVAIRD, V.; KUNDU, S.; MOIR, J.; SANMUGANANTHAN, S.; TURK, D. Automation is here to stay...but what about your workforce? Preparing your organization for the new worker ecosystem. Deloitte, 2017. Retrieved from: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Financial-Services/gx-fsi-automation-here-to-stay.pdf>.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFFEE, A. *Race against the machine: how the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy*. Digital Frontier Press, 2012.

CERTEZA, R. A. *The PALEA struggle against outsourcing and contractualization in the airline industry in the Philippines*. Global Labour University, Jul. 2018. (Working Papers, n. 52).

CIMOLI, Mario et al. (Org.). *Políticas industriales y tecnológicas em América Latina*. Santiago: CEPAL/ONU, 2017.

CIMOLI, Mario; GLIGO, Nicolo; ROVIRA, Sebastián. La política industrial 4.0 em la America Latina. In: CIMOLI et al. (Org.). *Políticas industriales y tecnológicas em América Latina*. Santiago: CEPAL/ONU, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). *Projeto Indústria 2027*. Etapa I. Mapa de Clusters Tecnológicos e Tecnologias Relevantes para a Competitividade de Sistemas Produtivos. Nota Técnica da Etapa I: Riscos e Oportunidades para o Brasil Diante de Inovações Disruptivas. Maio 2017.

COUTINHO, Luciano. O futuro da indústria. Transcrição de Palestra. II Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação (II ENEI). *Carta IEDI*, 2017.

FLEURY, A. O futuro da indústria. Transcrição de Palestra. II Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação (II ENEI). *Carta IEDI*, 2017

FREY, Carl-Benedikt; OSBORNE, Michael. *The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation?* Oxford, Sept. 2013.

INSTITUTO DE ESTUDOS DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Indústria 4.0: desafios e oportunidades para o Brasil. *Carta IEDI*, São Paulo, [n. 797](#), 21 jul. 2017a

INSTITUTO DE ESTUDOS DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Indústria 4.0: o futuro da indústria. *Carta IEDI*, São Paulo, [n. 803](#), 1 set. 2017b.

INSTITUTO DE ESTUDOS DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Indústria 4.0: a política industrial da Alemanha para o futuro. *Carta IEDI*, São Paulo, [n. 807](#), 29 set. 2017c.

- INSTITUTO DE ESTUDOS DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Indústria 4.0: O Plano Estratégico da Manufatura Avançada nos EUA. *Carta IEDI*, São Paulo, [n. 820](#), 11 dez. 2017d.
- INSTITUTO DE ESTUDOS DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Indústria 4.0: Políticas e estratégias nacionais face à nova revolução produtiva. *Carta IEDI*, São Paulo, [n. 823](#), 29 dez. 2017e.
- INSTITUTO DE ESTUDOS DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Indústria 4.0: A iniciativa made in China 2025. *Carta IEDI*, São Paulo, [n. 827](#), 26 jan. 2018a.
- INSTITUTO DE ESTUDOS DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. A Coreia do Sul e a Indústria do Futuro. *Carta IEDI*, São Paulo, [n. 831](#), 16 fev. 2018b.
- INSTITUTO DE ESTUDOS DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Indústria 4.0: o programa Make in India e outras iniciativas do governo indiano. *Carta IEDI*, São Paulo, [n. 849](#), 14 maio 2018c.
- INTERNATIONAL BAR ASSOCIATION (IBA 2017). GLOBAL EMPLOYMENT INSTITUTE. *Artificial intelligence and robotics and their impact on the workplace*. Apr. 2017.
- ILO – INTERNATIONAL LABOR ORGANIZATION. *O Futuro do Trabalho: Iniciativa do Centenário*. Conferência Internacional do Trabalho, 104ª Sessão. Relatório do Diretor Geral. Relatório 1. Genebra 2015.
- KATZ, R. *El ecosistema y la economía digital en América Latina*. CAR, CEPAL, cet.la y Fundación Telefónica, 2015.
- KOCHHAR, Kalpana; BRUSSEVICH, Mariya; DABLA-NORRIS, Era; KAMUNGE, Pooja KARNANE, Christine; KHALID, Salma and GASPAR, Vitor. *Gender, Technology, and the Future of Work*. IMF – Fiscal Affairs and Human Resources Departments, SDN/18/07, Oct. 2018.
- MANYIKA, J.; CHUI, M.; BUGHIN, J.; DOBBS, R.; BISSON, P.; MARRS. *Disruptive technologies: advances that will transform life, business, and the global economy*. McKinsey Global Institute, May 2013. 163. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>.
- MCKINSEY & COMPANY. *Jobs lost, jobs gained: workforce transitions in a time of automation*. Dec. 2017.
- MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. *A future that works: automation, employment and productivity*. Mckinsey & Company, Jan. 2017.
- MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. *Skill shift: automation and future of workforce*. May 2018. (Discussion Paper).
- MISHEL, L.; BIVENS, J. *The zombie robot argument lurches on*. There is no evidence that automation leads to joblessness or inequality. Washington, DC.: Economic Policy Institute, May 24, 2017.
- NSF – Nacional Science Foundation. Science and Engineering Indicators 2018 y UNESCO (2016). *Science Report: towards 2030*.
- NÜBLER, I. *New technologies: a jobless future or golden age of job creation?* ILO Research Department, 2016. p. 1-35. (Working Paper, 13).
- OCDE. *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard*. Washington: OECD Press, 2017.
- PEW RESEARCH CENTER. *The value of a college education*. Washington, Oct. 2016. Available at: <http://www.pewsocialtrends.org/2016/10/06/5-the-value-of-a-college-education/>.

PWC (PricewaterhouseCoopers). *Will robots really steal our jobs? An international analysis of the potential long term impact of automation*. Feb. 2018. Available at: www.pwc.co.uk/economics.

RESTREPO, Pascual; ACEMOGLU, Daron. *The race between man and machine: implications of technology for growth, factor shares and employment*. MIT/Boston University, Oct. 2017.

SALDIVAR, A. A. F.; LI, Y.; CHEN, W. N.; ZHAN, Z. H.; ZHANG, J.; CHEN, L. Y. *Industry 4.0 with cyber-physical integration: a design and manufacture perspective*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION AND COMPUTING: Automation, Computing and Manufacturing for New Economic Growth, ICAC, 21, Sept. 11, 2015.

STEWART, I., DEBAPRATIM, D.; COLE, A. Technology and people: The great job-creating machine. Deloitte, Dec., 1-10, 2014 Retrieved from: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/finance/deloitte-uk-technology-and-people.pdf> <https://www2.deloitte.com/uk/en/pages/finance/articles/technology-and-people.html>.

THE ECONOMIST. *Lifelong learning is becoming an economic imperative*. Special Report – Learning and earning, Jan. 12th 2017. Available at: <https://www.economist.com/special-report/2017/01/12/lifelong-learning-is-becoming-an-economic-imperative>

VERMEULEN, B.; KESSELHUT, J.; PYKA, A.; SAVIOTTI, P. P. The impact of automation on employment: Just the usual structural change? *Sustainability*, Switzerland, v. 10, n. 5, p. 1-27, 2018.

WEF – World Economic Forum. The future of jobs. Employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution. *World Economic Forum*, 2016.

WORLD BANK. *Digital Dividends*. World Development Report 2016. Washington, DC: World Bank, 2016.

WORLD ECONOMIC FORUM. *The future of jobs*. Executive summary, v. 5, 2013.

WORLD TRADE ORGANIZATION. *Impact of technology on labour market outcomes*. In World Trade Report 2017: Trade, Technology and Labour, p. 74-103. WTO, 2017.