



<https://doi.org/10.20396/rbest.v3i00.15851>

DOSSIÊ: INDÚSTRIA 4.0

Para além da “Indústria 4.0”: Plataformas “B2B” como via alternativa para a transformação digital da produção e do trabalho

*Florian Butollo**
*Lea Schneidemesser***

Resumo

O paradigma da “Indústria 4.0” está presente na estratégia de governos, associações patronais e centrais sindicais. Revisitando o estudo clássico de Piore e Sabel sobre especialização flexível, criticamos a unilateralidade e estreiteza inerentes ao discurso da Indústria 4.0, ao qual contrapomos análises empíricas sobre redes descentralizadas de fábricas. Ao contrário do relato estilizado predominante, a flexibilidade é facilitada por plataformas “B2B”, que conectam fabricantes e clientes – um modelo que se baseia mais na versatilidade das redes de produção descentralizada do que em avançada tecnologia industrial. Os efeitos sobre o trabalho são ambivalentes, pois envolvem tanto potencialidades para um paradigma de produção em pequena escala e intensiva em trabalho qualificado, como perigos decorrentes da pressão concorrencial por redução de custos. Em suma, nosso objetivo é oferecer evidências teóricas e empíricas para a compreensão de alterações da produção digitalizada e destacar o modelo das redes e plataformas “B2B” no debate sobre a transformação da manufatura e do trabalho industrial.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Especialização flexível; Digitalização; Cadeias globais de valor.

JEL: D20, J23, L20, L60, O30.

* Berlin Social Science Center (WZB), Germany.
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0749-240X>
E-mail: florian.butollo@wzb.eu

** Berlin Social Science Center (WZB), Germany.
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1052-8648>
E-mail: lea.schneidemesser@wzb.eu



Beyond “Industry 4.0”: “B2B” platforms as an alternative path towards the digital transformation of manufacturing and work

Abstract

The “Industry 4.0” paradigm is present in the strategy of governments, employers' associations and trade union federations. Revisiting Piore and Sabel's classic study on flexible specialisation, we criticise the one-sidedness and narrowness inherent in the discourse of Industry 4.0, to which we counter empirical analyses on decentralised factory networks. Contrary to the prevailing stylised account, flexibility is facilitated by “B2B” platforms that link manufacturers and customers – a model that relies more on the versatility of decentralised manufacturing networks than on sophisticated production technology. The effects on labour are ambivalent, as they involve both potential for a small-scale, skilled-labour-intensive manufacturing paradigm, and dangers arising from competitive pressure for cost reduction. In sum, our aim is to offer theoretical and empirical evidence for understanding changes in digitised manufacturing and to highlight the approach of “B2B” networks and platforms in the debate on the transformation of manufacturing and industrial work.

Keywords: Industry 4.0; Flexible specialisation; Digitalisation; Global value chains.

Más allá de la “Industria 4.0”: Las plataformas “B2B” como vía alternativa hacia la transformación digital de la fabricación y el trabajo

Resumen

El paradigma de la “Industria 4.0” está presente en la estrategia de los gobiernos, las asociaciones empresariales y las centrales sindicales. Revisando el clásico estudio de Piore y Sabel sobre la especialización flexible, criticamos la unilateralidad y estrechez de miras inherentes al discurso de la Industria 4.0, al que contraponemos los análisis empíricos sobre las redes descentralizadas de fábricas. En contra del relato estilizado predominante, la flexibilidad se ve facilitada por las plataformas “B2B” que conectan a fabricantes y clientes – un modelo que se basa más en la versatilidad de las redes de producción descentralizada que en la tecnología industrial avanzada. Los efectos sobre la mano de obra son ambivalentes, ya que implican tanto el potencial de un paradigma de fabricación a pequeña escala, intensiva en mano de obra cualificada, como los peligros derivados de la presión competitiva para la reducción de costes. En síntesis, nuestro objetivo es ofrecer pruebas teóricas y empíricas para entender los cambios en la fabricación digitalizada y destacar el modelo de las redes y plataformas “B2B” en el debate sobre la transformación de la manufactura y el trabajo industrial.

Palabras clave: Industria 4.0; Especialización flexible; Digitalización; Cadenas de valor mundiales.

Au-delà de l'“industrie 4.0”: Les plateformes “B2B” comme voie alternative à la transformation numérique de la fabrication et du travail

Résumé

Le paradigme de l'“industrie 4.0” est présent dans la stratégie des gouvernements, des associations d'employeurs et des centrales syndicales. En revisitant l'étude classique de Piore et Sabel sur la spécialisation flexible, nous critiquons l'unilatéralité et l'étroitesse inhérentes au discours de l'industrie 4.0, auquel nous opposons des analyses empiriques sur les réseaux décentralisés d'usines. Contrairement à l'image stylisée qui prévaut, la flexibilité est facilitée par les plateformes “B2B” qui mettent en relation les fabricants et les clients – un modèle qui repose davantage sur la polyvalence des réseaux de production décentralisé que sur une technologie industrielle avancée. Les effets sur le travail sont ambivalents, car ils impliquent à la fois un potentiel pour un paradigme de fabrication à petite échelle et à forte intensité de main-d'œuvre qualifiée, et des dangers découlant de la pression concurrentielle pour la réduction des coûts. En bref, notre objectif est d'offrir des éléments théoriques et empiriques pour comprendre les changements dans la fabrication numérisée et de mettre en évidence le modèle des réseaux et des plateformes “B2B” dans le débat sur la transformation de la manufacture et du travail industriel.

Mots clés: Industrie 4.0; Spécialisation flexible; Numérisation; Chaînes de valeur mondiales.

Introdução

As perspectivas de uma revolução tecnológica estão sempre presentes nos discursos acadêmicos e políticos sobre estratégia econômica e o futuro do trabalho, uma vez que um pacote de novos aplicativos digitais entrou no local de trabalho (Sturgeon, 2019). O termo “Indústria 4.0” sintetiza – discursivamente – a noção de um estágio distinto da produção industrial, uma nova revolução industrial que poderá gerar aumentos significativos de produtividade e crescimento econômico. Após sua apresentação inicial na “Hannover Messe”¹ em 2011, na Alemanha, este termo passou a ser citado frequentemente em falas de consultores empresariais e formuladores de políticas e em publicações de instituições como o Fórum Econômico Mundial (Schwab, 2017). No entanto, por mais cativante que possa ser, a Indústria 4.0 – entendida como um modelo avançado de produção fabril – precisa ser tratada com cautela na explicação científica das mudanças em curso, pois é inerentemente uma categoria de análise ligada à tecnologia e transmite uma noção muito unilateral da maneira como as tecnologias digitais afetam e interagem com a organização industrial. A Indústria 4.0, até agora, é mais uma *narrativa* do que uma realidade, uma projeção estilizada de como supostamente deve acontecer a transformação digital dos ramos industriais de acordo com as opiniões dos *stakeholders*.

Neste artigo, destacamos uma dimensão alternativa da transformação digital da produção e do trabalho, que raramente tem sido objeto das discussões sobre o assunto até agora: o “modelo rede de fábricas” (*factory network approach*), centrado nas funções da distribuição. Fazemos um contraste com a narrativa da Indústria 4.0 para questionar seu determinismo e unilateralidade. Como mostraremos, as características do modelo da rede de fábricas são marcadamente diferentes em termos de tecnologia industrial, organização da produção e gestão do trabalho, pois é um modelo de produção que não se baseia nas avançadas tecnologias das “fábricas inteligentes” para maximizar a produtividade e a flexibilidade. Em vez disso, mobiliza a diversidade de uma ampla rede de pequenas e médias empresas que adotam principalmente tecnologias convencionais de produção, uma rede conectada por meio de plataformas digitais que combinam produtores e fornecedores. Ao contrastar os fundamentos do “modelo Indústria 4.0” (tal como é apresentado nas principais publicações de seus pioneiros) com dados empíricos recolhidos em pesquisa de campo sobre novas redes de fábricas integradas digitalmente na Alemanha e na China, enfatizamos que a transformação digital dos ramos industriais – e do trabalho neles realizado – possui um caráter contingente ou eventual, e varia conforme circunstâncias setoriais e contextos específicos.

¹ Uma das maiores feiras de negócios do mundo, focada no desenvolvimento da indústria, realizada anualmente em Hannover. A edição de 2011 foi dedicada à automação industrial.

Mas o reconhecimento da abordagem da manufatura digitalizada centrada na distribuição não é relevante apenas em termos de uma crítica ao discurso oficial da Indústria 4.0. Também há importantes implicações práticas para empresas e trabalhadores, e é por isso que oferecemos aqui uma análise empírica detalhada das condições para a modernização industrial e da previsão de maior exigência de habilidades e competências dos trabalhadores e de elevação dos salários. Diferentemente do modelo Indústria 4.0, que enfatiza fortemente o papel das tecnologias mais avançadas, as estratégias orientadas para a distribuição não requerem necessariamente que os participantes individuais da rede atualizem o padrão tecnológico, já que a flexibilidade em relação à demanda dos clientes não depende de uma única empresa, mas da própria rede. Como tal, o enfoque centrado na distribuição constitui um objetivo mais prático e realizável, particularmente para pequenas e médias empresas (PME) nos países em desenvolvimento, do que a estratégia que imita as “fábricas inteligentes” (*smart factories*) de empresas multinacionais européias ou americanas e exige grandes investimentos em engenharia complexa.

Entretanto, as implicações para o desenvolvimento social da estratégia centrada na distribuição são ambivalentes, pois prioriza a produção em pequena escala e de baixo custo em uma matriz digitalmente atualizada, enquanto as principais beneficiárias desta estratégia tendem a ser as plataformas “B2B” (*business-to-business*). Além disso, nossos estudos de caso demonstram que o modelo da rede de fábricas não envolve necessariamente uma melhoria das habilidades dos trabalhadores, razão pela qual pode não levar a uma melhoria nas condições de trabalho.

Com o propósito de examinar em detalhes o modelo baseado na rede de fábricas com produção digitalizada, o artigo está dividido em mais cinco seções. Primeiro (seção 1) examinaremos a unilateralidade e o determinismo inerentes ao paradigma da Indústria 4.0, destacando as ideias centrais do livro clássico sobre as variedades da organização industrial de Piore e Sabel: *The second industrial divide*. Esta contribuição nos lembra que além do paradigma da produção em massa, que historicamente tem atraído mais atenção nos meios acadêmico e político, existe o paradigma alternativo da “especialização flexível” – conglomerados de empresas especializadas de pequeno e médio porte que interagem para fornecer produtos de alta qualidade de forma flexível. Recorremos aos ensinamentos de Piore e Sabel dos anos 1980 para enquadrar nossa análise, que destaca uma escolha semelhante de opções em termos da digitalização da produção, descrita mais adiante. Na sequência (seção 2), fazemos uma breve caracterização do modelo de “fábrica inteligente”, que constitui o núcleo da narrativa da Indústria 4.0, com base em manuais que apresentam as principais diretrizes. O objetivo deste exercício não é fazer uma revisão abrangente da literatura, nem resumir as descobertas empíricas sobre o assunto, mas destacar as bases discursivas deste paradigma,

às quais justapomos então o “modelo rede de fábricas”.² As análises nas seções 3 e 4 resumem os resultados originais de dois projetos de pesquisa, que examinaram as plataformas B2B e seus parceiros de produção na China e na Alemanha (20 entrevistas realizadas entre 2018 e 2020). São descritas as principais características das redes de produção que são integradas por plataformas digitais, focando em particular nas implicações para os fabricantes em termos de modernização produtiva e organização do trabalho. Na conclusão, resumimos as principais diferenças entre o modelo de “fábrica inteligente” e o de “rede de fábricas” e suas implicações para o desenvolvimento econômico e social.

1. “A segunda divisão industrial” revisitada

O livro de Piore e Sabel, *The second industrial divide*, publicado em 1984, suscitou um debate considerável nos campos da Economia Política e da Sociologia do Trabalho, pois desafiou o conhecimento estabelecido sobre o curso do desenvolvimento industrial. Como tal, o livro constitui um ponto de partida útil porque desafiou precisamente a unilateralidade e a estreiteza das noções então dominantes de transformação industrial, que experimentaram algum tipo de renascimento sob o rótulo de “Indústria 4.0”. Ao mesmo tempo em que argumentava teoricamente sobre a diversidade da trajetória da mudança industrial, o livro foi também uma intervenção no discurso político, propondo um desvio do “paradigma da produção em massa” e argumentando a favor de políticas industriais e métodos regulatórios que pudessem acomodar melhor as abordagens de “especialização flexível”, que consideravam superiores e mais aptas para atender às exigências da demanda diversificada dos clientes.

O pressuposto básico dos autores é que o paradigma da produção em massa não era uma consequência natural do desenvolvimento econômico e que havia soluções alternativas. Eles salientaram que o paradigma da produção em massa – assim como as abordagens subsequentes da especialização flexível – surgiu como uma combinação de decisões conscientes, peculiaridades institucionais e descobertas acidentais (Piore & Sabel, 2000, p. 15):

[T]here is no “natural path” to economic success. [...] the triumph of a technological breakthrough over competing adaptations depends on its timing and the resources available to its champions – rather than on its intrinsic superiority. In this view, competition guarantees only that the weak must follow

² Esta abordagem parece justificada, pois a narrativa da Indústria 4.0 inspirou as estratégias de governos, associações patronais, consultores, sindicatos e grandes empresas. Assim, tornou-se uma orientação prática dos agentes que moldam a transformação digital das indústrias, pelo menos na Alemanha. A questão de até que ponto este discurso corresponde à experiência real das empresas está além da discussão deste artigo, no qual estamos interessados em descobrir as trajetórias divergentes da produção digitalizada. Ricas discussões sobre o assunto podem ser encontradas, por exemplo, em Hirsch-Kreinsen (2019) e em Pfeiffer e Huchler (2018).

the lead of the strong, not that the strong have found the uniquely correct solution to common problems. Progress, we will show, is best described [...] as a branching tree – yet the limbs of this tree thrive or wither according to the outcomes of social struggles, not some natural law of growth.³

O mérito desta ênfase na experimentação e em certo grau de arbitrariedade na evolução dos paradigmas industriais reside em sua perspectiva pragmática sobre a inovação, que tem maior aderência à forma corrente de implementação das tecnologias da Indústria 4.0 do que à noção estilizada de uma etapa distinta da produção industrial. Isto é evidenciado por várias análises empíricas que destacam o caráter contingente e incremental dos processos atuais de mudança tecnológica (Butollo et al., 2019; Hirsch-Kreinsen, 2019; Kuhlmann, 2020, January 16). É ressaltado o caráter inesperado e ainda desconhecido desses processos. Assim, uma perspectiva que enfatiza o papel da experimentação no desenvolvimento econômico desafia a teleologia do modelo Indústria 4.0, que assume precisamente a progressão espontânea para uma etapa distinta e identificável (ver a próxima seção).

O modelo de uma “fábrica inteligente” que responde instantaneamente às demandas dos clientes pode servir ao seu propósito de popularizar e sustentar a reivindicação de uma quarta revolução industrial, mas repousa na premissa falsa de que é possível delinear claramente a forma dos sistemas sociotécnicos do futuro e que eles evoluem de modo natural com base em propriedades da própria tecnologia – uma noção que tem sido acertadamente criticada por sociólogos da tecnologia (MacKenzie & Wajcman, 1999). Ao contrário dessas suposições, é plausível que o amplo conjunto de tecnologias que as empresas industriais têm à sua disposição conduza a abordagens mais diversas do que as sugeridas pelo modelo estilizado de “fábrica inteligente”, entre elas algumas muito diferentes do paradigma alemão de “produção diversificada de qualidade” (Sorge & Streeck, 1988), que constitui o pano de fundo do discurso da Indústria 4.0.

Mas não é apenas a ênfase no experimentalismo como tal que torna *The second industrial divide* uma referência interessante para a discussão de abordagens relativas à transformação digital contemporânea da indústria. O tema principal – a tensão entre a produção em massa (padronizada) e a produção customizada em rede – aponta para a tese central de nossa contribuição. O postulado do paradigma Indústria 4.0 com sua ênfase em “fábricas inteligentes” é que, por meio de modelos avançados de fabricação, a produção

³ “Não existe um ‘caminho natural’ para o sucesso econômico. [...] o triunfo de um avanço tecnológico sobre as adaptações concorrentes depende de seu *timing* e dos recursos disponíveis para seus líderes – mais do que de sua superioridade intrínseca. Nesta visão, a competição garante apenas que os fracos devem seguir a liderança dos fortes, não que os fortes tenham encontrado a solução única e correta para problemas comuns. O progresso, como mostraremos, é melhor descrito [...] como uma árvore ramificada – no entanto, os ramos desta árvore prosperam ou murcham de acordo com os resultados das lutas sociais, não de acordo com alguma lei natural de crescimento.”

industrial em massa pode aumentar a flexibilidade da atividade industrial a fim de atender a demanda customizada sem perdas de produtividade. Embora as novas tecnologias digitais possam de fato atenuar a recorrente contradição entre alta produtividade e flexibilidade, pelo menos até certo ponto, a flexibilidade de uma rede de pequenos produtores constitui uma abordagem alternativa e possivelmente superior para esta finalidade. Argumentaremos que a especialização flexível de Piore e Sabel (2000, p. 17), fundamentada em redes de produção industrial tecnologicamente avançada e altamente flexível, assemelha-se na atualidade ao desenvolvimento de uma abordagem orientada para a distribuição aplicada à transformação digital da produção. Contudo, em vez de seguir a Piore e Sabel na premissa de que este modelo de produção em pequena escala organizado em rede é intrinsecamente superior em termos das capacidades inovadoras desenvolvidas pelas empresas e da preponderância de trabalho qualificado, consideramos a abordagem orientada para a distribuição como altamente ambígua. A flexibilidade na resposta para o mercado é facilitada mais em razão da rede como tal do que por causa dos fabricantes, os quais podem experimentar benefícios econômicos de um novo e profissionalizado canal de vendas, mas sem efeitos significativos de aprimoramento em relação a seus produtos, funções e processos.

2. O “*smart factory model*” e sua crença na engenharia avançada e no trabalho qualificado

7

Esta seção contém um resumo do paradigma Indústria 4.0 tal como é apresentado em manuais (a maioria em língua alemã) pelos introdutores e multiplicadores do conceito. As fontes foram selecionadas de acordo com a origem – ministérios governamentais envolvidos, associações empresariais e instituições de pesquisa – e com o impacto no discurso público; ou seja, foram selecionadas as primeiras manifestações de grande visibilidade sobre o tema, que são amplamente conhecidas por propalarem os fundamentos da Indústria 4.0.

O termo “Indústria 4.0” foi cunhado em 2011 pelas associações patronais dos ramos de engenharia mecânica, eletrônica e tecnologia da informação (TI), com apoio do Ministério da Economia alemão. Pretende apresentar uma perspectiva estratégica para o desenvolvimento da indústria alemã no contexto do aumento das pressões competitivas. Wolfgang Wahlster, um dos principais pesquisadores de inteligência artificial (IA) e um dos arquitetos do conceito Indústria 4.0, argumenta que é necessário promover uma estratégia para produzir produtos digitalmente aprimorados de qualidade superior e em pequenos lotes a um custo acessível (citado em Spath, 2013, p. 121). Ele também argumenta que a Indústria 4.0 pode se tornar um produto de exportação muito solicitado e que isso ajuda a manter a vantagem do setor de engenharia mecânica em relação a seus concorrentes globais.

O núcleo do conceito é a idéia de uma nova revolução industrial alicerçada na tecnologia. A quarta revolução industrial repousa sobre “sistemas ciberfísicos”, a conexão e o ajuste dinâmico em tempo real de produtos, equipamentos e agentes humanos. Nesta leitura tecnocêntrica da história econômica, a Indústria 4.0 é a próxima etapa de uma trajetória marcada por três revoluções anteriores (baseadas no motor a vapor no século 19, na linha de montagem no início do século 20 e na aplicação da microeletrônica na década de 1970) (Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF], 2015, p. 10). Altas expectativas são mantidas em relação aos efeitos da Indústria 4.0 sobre a produtividade e o crescimento do PIB (Bauer et al., 2014). Interpretações sociológicas críticas têm apontado que tal discurso constitui uma “promessa tecnológica” com a intenção de realinhar as forças sociais em função de um objetivo compartilhado. É tanto um discurso quanto uma realidade sociotécnica (Hirsch-Kreinsen, 2016b; Pfeiffer, 2017), mas é necessário separar a versão estilizada do modelo da realidade cotidiana experimentada por empresas com tecnologias específicas. Em nível empresarial, as tecnologias Indústria 4.0 são implementadas, em sua maioria, com decisões que dependem de ações anteriores ou experiências feitas no passado (*path dependence*), com adaptações incrementais aos modelos de produção dominantes que anteriormente tinham moldado as trajetórias das empresas (Butollo et al., 2019; Hirsch-Kreinsen, 2019).

A idéia central da narrativa do Indústria 4.0 se baseia na produção industrial em massa. Visa a conciliação da fabricação de elevados volumes (oferecendo altos níveis de produtividade) com a customização de produtos necessários para atender às exigências de uma demanda de consumo cada vez mais diversificada (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, p. 21):

In the future under Industrie 4.0, it will be possible to incorporate individual customer- and product specific features into the design, configuration, ordering, planning, production, operation and recycling phases. It will even be possible to incorporate last-minute requests for changes immediately before or even during manufacturing and potentially also during operation. This will make it possible to manufacture one-off items and very small quantities of goods profitably.⁴

Dessa forma, espera-se que tais empresas inovadoras obtenham vantagens competitivas sobre os fabricantes de produtos padronizados e possam reagir com flexibilidade diante de volatilidade dos mercados, mudanças de curto prazo nos requisitos de produção, flutuação nos preços de matérias-primas e energia, e interrupções na cadeia de fornecimento (BMBF, 2015, p. 6). Além disso, espera-se que a transparência dos dados ligados à Indústria

⁴ “No futuro, com a indústria 4.0, será possível incorporar características específicas de cada cliente e produto nas fases de projeto, configuração, pedido, planejamento, produção, operação e reciclagem. Será possível até mesmo incorporar mudanças de última hora em encomendas, antes de iniciar ou mesmo durante a produção e potencialmente também na fase seguinte. Isto tornará possível fabricar itens pontuais e quantidades muito pequenas de mercadorias de forma lucrativa.”

4.0 melhora a qualidade da produção e a confiabilidade da entrega (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013).

Tais objetivos devem ser alcançados por meio de “fábricas inteligentes” que se baseiam nos pontos fortes da engenharia industrial alemã e na introdução de inovações tecnológicas, em especial software industrial avançado, máquinas autônomas “inteligentes”, robôs de serviço, sistemas de assistência digital e veículos de transporte autônomos (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMW], n.d.). Assim, a orientação estratégica para “fábricas inteligentes” implica em uma abordagem intensiva em capital e em engenharia para a flexibilização em fábricas altamente automatizadas (IG Metall, 2016, p. 5).

Além dos investimentos em equipamentos (e do dilema relativo ao retorno desses investimentos), a padronização das linguagens de programação e as interfaces de comunicação constituem atualmente um importante gargalo. São requeridos esforços institucionais para estabelecer tais padrões, assim como uma considerável capacidade de gerenciamento de dados dentro das empresas industriais, incluindo habilidades interfuncionais de trabalhadores qualificados que podem preencher a lacuna entre o conhecimento teórico em ciência da computação e o conhecimento prático específico para esse campo (Krzywdzinski & Butollo, 2021).

Alguns esquemas da Indústria 4.0 trazem a possibilidade de tecer uma rede que aumenta a flexibilidade da produção além dos limites da “fábrica inteligente”, enfatizando uma conexão dinâmica de recursos, produtos intermediários, logística, dispositivos e máquinas de processamento. Entretanto, tais abordagens permanecem pouco exploradas na prática e no discurso sobre a digitalização da produção. A visão da “fábrica inteligente” como uma unidade de produção em massa altamente automatizada e tecnologicamente sofisticada permanece dominante.

Assim como o modelo de “fábrica inteligente” reflete a tradição de engenharia avançada da indústria alemã, as projeções sobre o futuro do trabalho enfatizam o importante papel dos trabalhadores qualificados, que historicamente constituíram a espinha dorsal da trajetória do sindicalismo no país. Não se espera que a Indústria 4.0 leve à substituição do trabalho, mas sim a uma transformação de seu caráter. Em linha com a crescente sofisticação da base tecnológica dos sistemas de produção, a maioria das projeções prevê uma maior valorização (ou pelo menos nenhuma desqualificação) das habilidades, pois há uma demanda crescente por trabalhadores qualificados que trabalham com autonomia e são apoiados pela tecnologia na execução de tarefas extenuantes. Nesse sentido, o ministro alemão da Educação e Pesquisa retratou assim o papel dos trabalhadores na Indústria 4.0 (BMBF, 2015, p. 29, tradução nossa):

The employees working in manufacturing also experience the use of cyber-physical systems in their working environments as a great help. Production robots, machines and entire plants are equipped with them. In 2025, people will be working in intelligent production environments in which they interact directly with machines and exchange information through multimodal assistance systems.⁵

Tais perspectivas otimistas precisam ser examinadas. Elas representam noções simplificadas demais, uma vez que a direção da transformação do trabalho é derivada diretamente das características das tecnologias usadas. Estudos sociológicos, ao contrário, apontam para a contingência das condições de trabalho, as quais dependem da configuração de “sistemas sociotécnicos”, ou seja, das formas de combinação de tecnologias, organizações e trabalho humano. Além do cenário de valorização do trabalho, há também a possibilidade de uma desqualificação em razão da perda de competências causada pela introdução de sistemas automatizados de tomada de decisão, ou a tendência de polarização de competências e de salários (Hirsch-Kreinsen, 2016a).

Portanto, a pesquisa futura precisa gerar dados empíricos sobre as formas concretas pelas quais as tecnologias da Indústria 4.0 moldam os modelos de produção das empresas nos diversos setores, mas também precisa examinar uma questão: Até que ponto a atualização tecnológica das empresas realmente implica em uma modernização do trabalho? No entanto, apesar destas considerações, é seguro dizer que o modelo da “fábrica inteligente” está firmemente fundamentado na suposição de capacidades adicionais que precisam ser adquiridas pelos fabricantes, o que por sua vez implica em novas e adicionais exigências de habilidades para os trabalhadores. A abordagem da Indústria 4.0 focada em engenharia pesada e a ênfase em mão de obra qualificada como pedra angular da produção avançada estão intimamente entrelaçadas (Spath, 2013).

10

3. O “*factory network model*”: ganhos de flexibilidade por meio da própria rede

O que chamamos de “modelo rede de fábricas” ou “abordagem centrada na distribuição para uma transformação digital da manufatura” (*distribution-centred approach towards a digital transformation of manufacturing*) é uma concepção muito diferente da produção digitalizada contida na narrativa dominante da Indústria 4.0. Nesta seção fornecemos uma caracterização de seus fundamentos com base em 20 entrevistas qualitativas com fornecedores da plataforma e seus parceiros de produção na China e na Alemanha, as

⁵ “Os funcionários que trabalham na produção também experimentam o uso de sistemas ciberfísicos em seus ambientes de trabalho como uma grande ajuda. Linhas de produção robotizada e plantas inteiras são equipadas com tais sistemas. Em 2025, as pessoas estarão trabalhando em ambientes fabris inteligentes nos quais vão interagir diretamente com as máquinas e trocar informações por meio de sistemas de assistência multimodais.”

quais foram realizadas em 2018 e em 2020. Para ambos os países, os casos estudados foram selecionados a partir da identificação do setor industrial que demonstra priorizar a abordagem centrada na distribuição de modo mais proeminente. Na China, foram realizadas entrevistas e visitas agendadas em sete fábricas de vestuário (confecção de roupas) que cooperam com a plataforma “Tao-Factory” da Alibaba. Os dados referentes aos casos alemães abrangem entrevistas com três plataformas B2B na indústria de peças e componentes e com cinco fabricantes de componentes na Alemanha, Europa e Ásia que cooperam com essas plataformas. Estes estudos de caso foram complementados com entrevistas com especialistas e extensa pesquisa documental.

O modelo da rede de fábricas é uma nova forma de organizar redes de produção flexível por intermédio de plataformas digitais que funcionam como um meio de conexão (*matchmaker*) entre fornecedores e fabricantes. Na China, a Alibaba – megaempresa de comércio eletrônico – tem sido particularmente ágil em explorar tais possibilidades. Assim, ela vincula sua função principal original (um diretório online para fornecedores industriais de produtos e componentes) com suas capacidades de gerenciamento de dados derivados de seu negócio de comércio eletrônico B2C (*business-to-consumer*). A plataforma Tao-Factory é apresentada explicitamente como uma produção em rede que se concentra no fornecimento de pequenos lotes de produtos principalmente a distribuidores de mercadorias que operam no próprio site de compras online (Taobao) da Alibaba. Ming Zeng, um dos principais estrategistas da Alibaba, ilustra esta ligação entre a demanda do comércio eletrônico e a produção flexível fazendo referência à estratégia comercial de Linchao Zhang, celebridade da internet proprietária de uma loja online (Zeng, 2018, pp. 12-13):

Zhang has almost turned her apparel retailing business into an on-demand business – but at mass-production price points. An order placed on Taobao [...] sets the entire value chain in motion. Buyers know that they are reserving clothing that will be made to order and that they will have to wait seven to nine days for manufacturing and shipping. LIN’s partner factories have already begun working on the first batch of preorders.⁶

Assim, por um caminho muito diferente, a Alibaba está concretizando o que o conceito de Indústria 4.0 atribui às fábricas tecnologicamente avançadas: o fornecimento rápido de pequenos lotes de produtos a um mercado dinâmico altamente diversificado sem grandes perdas de eficiência de produção.

⁶ “Zhang praticamente converteu seu negócio de revenda de artigos de vestuário em um negócio sob demanda – mas com preços de produção em massa. Um pedido feito no Taobao [...] coloca toda a cadeia de valor em movimento. Compradores sabem que eles estão reservando roupas que serão fabricadas sob encomenda e que eles terão de esperar entre sete e nove dias para a fabricação e o envio. As fábricas parceiras da LIN já começaram a trabalhar no primeiro lote de pré-encomendas.”

Esta abordagem não é exclusiva da China. Start-ups como Xometry (EUA), LaserHub (Alemanha) e 3D Hubs (Holanda) também estabeleceram plataformas B2B como canais de conexão entre clientes industriais e produtores de pequena escala. Ao contrário da rede da Alibaba, que gravita em torno das indústrias de vestuário e de artigos de consumo, essas plataformas conectam fornecedores da indústria de fabricação de componentes, a qual se caracteriza historicamente pela produção em pequena escala. As plataformas B2B em expansão dinâmica estão cada vez mais substituindo ou complementando os laços estabelecidos entre fornecedores e compradores industriais. Esses laços tinham sido baseados em relações informais, uma vez que ciclos de *feedback* sobre projetos técnicos eram comuns para garantir que os produtos fornecidos correspondessem às exigências dos compradores. Entretanto, tais adequações e suas vantagens inerentes de interação interpessoal tornam-se obsoletos com as plataformas B2B, pois estas facilitam a transferência de dados relacionados à produção, ou seja, permitem o *upload* de projetos técnicos e (em alguns casos) fornecem verificações automatizadas da qualidade dos projetos, bem como projeções de custos. Ao reduzir a necessidade de interação pessoal direta com fornecedores, as plataformas podem conectar compradores industriais com grande número de fabricantes qualificados, ao mesmo tempo em que proporcionam transparência nos preços. Embora a proximidade geográfica ainda possa conferir algumas vantagens, pois os custos e atrasos no transporte podem ser reduzidos, as plataformas B2B facilitam a fragmentação geográfica das relações comprador-fornecedor, uma vez que os prazos e preços dependem principalmente dos custos de produção, das capacidades e da disponibilidade dos fornecedores.

Em todos os casos mencionados, os fornecedores precisam apresentar informações detalhadas sobre os processos de produção (exigidas para se qualificarem) e suas capacidades são avaliadas durante sua cooperação com a plataforma em dimensões como qualidade do produto, velocidade de produção, confiabilidade e preço. Os resultados da avaliação afetam a probabilidade de recebimento de pedidos no futuro. Algumas das plataformas que já reuniam dados relevantes sobre custos de produção, e indicadores relacionados às diversas técnicas de processamento introduziram ferramentas de precificação instantânea que calculam um preço definido para certos produtos, operacionalizando as propriedades do desenho técnico, os materiais desejados, as técnicas de processamento, o tempo de espera e o tamanho do lote, e analisando esses dados com os parâmetros de comparação (*benchmarks*) gerados automaticamente a partir de seu vasto banco de dados. Desta forma, a plataforma praticamente dita os preços com base no custo de pedidos similares feitos ao fabricante no passado e reduz sua capacidade de barganha no negócio.

Com o registro e análise de tais dados, as plataformas podem expandir seu papel central como infraestrutura da “rede de fábricas”. A Alibaba estabeleceu metas ambiciosas a

esse respeito com a chamada “nova iniciativa de produção” (*new manufacturing initiative*), que começou como um piloto com 20 fábricas de vestuário em Hangzhou. O projeto está pesquisando métodos para otimizar os processos de produção e automatizar a comunicação das fábricas com os clientes. Câmeras equipadas com software de reconhecimento visual foram instaladas nas oficinas das fábricas com o objetivo de rastrear em tempo real o status de um pedido e comunicá-lo automaticamente à gerência da fábrica e aos clientes com base no registro e análise dos movimentos dos trabalhadores (Schneidmesser, 2019). Mesmo que tais expectativas talvez não sejam atendidas – e desconsiderando as óbvias questões de proteção de dados que esses esforços implicam –, o projeto piloto da Alibaba é uma ilustração radical de uma série de esforços para observar, analisar e avaliar o desempenho dos fornecedores usando meios digitais.

Os cenários futuros descritos pelas plataformas de produção de componentes apontam para uma direção semelhante. Para eles, a “internet das coisas”, no lado da oferta, desempenha um papel fundamental para uma maior integração entre os fabricantes e a plataforma. A conexão dos equipamentos dos parceiros fabricantes diretamente à plataforma proporcionaria a esta uma visão em tempo real do status de um pedido e permitiria que os atrasos no processo de produção fossem comunicados diretamente aos clientes, criando assim muito mais transparência na relação com o operador da plataforma. Desta forma, a riqueza de dados relacionados à produção e o alcance de sua rede de fornecedores tornam-se essenciais para o modelo de negócios das plataformas e são as principais variáveis para sua potencialidade econômica.

As abordagens das plataformas B2B variam em termos de seus principais campos de atividade, seus modelos de negócios específicos e a profundidade com que registram, analisam e utilizam dados relacionados à produção. Entretanto, três características representam os elementos centrais destes modelos de negócios emergentes. Primeiro, a vantagem das plataformas B2B é sua capacidade de combinar fornecedores com compradores industriais, o que depende do número e das capacidades de suas redes produtivas, reduzindo os custos de transação neste processo. Em segundo lugar, em consequência, as plataformas B2B têm interesse em desenvolver e aperfeiçoar suas redes, impondo requisitos para a participação dos fornecedores, classificando suas capacidades e hierarquizando seu desempenho. Em terceiro lugar, a eficiência da função de conexão e intermediação (*matchmaking*) das plataformas se baseia nas informações disponíveis sobre seus parceiros de produção. Portanto, as plataformas tendem a aprofundar seus conhecimentos sobre as atividades de seus fornecedores e a desenvolver ferramentas digitais para facilitar a interação entre clientes e fornecedores.

4. Flexibilidade, *upgrading* e trabalho na fábrica conectada em rede

Como na descrição da especialização flexível feita por Piore e Sabel, a flexibilidade de um grande número de pequenos produtores com capacidade de responder às flutuações do mercado é o elemento central do modelo da rede de fábricas mediada por plataforma – uma via alternativa centrada na distribuição. Entretanto, enquanto na discussão de Piore e Sabel a flexibilidade da rede está fundamentada principalmente nos métodos de produção artesanal (no nível dos fabricantes), este não é necessariamente o caso nas redes de fábricas baseadas em plataformas. A capacidade de resposta da rede de pequenos fabricantes – cada um especializado na produção de determinados componentes ou tipos de produtos – está incorporada principalmente na própria estrutura da rede, em seus métodos sofisticados de *matchmaking* assistido digitalmente e no tamanho absoluto da rede. Entre as redes globais de parceiros das plataformas de produção de componentes (que variam entre 200 e 6.000 fornecedores para as plataformas entrevistadas nesta pesquisa e entre as 27.000 fábricas da plataforma Tao-Factory), os clientes provavelmente encontrarão – auxiliados por plataformas do tipo *matchmakers* – uma fábrica adequada para qualquer coisa que precisem produzir.

É variável o quanto isso requer de capacidades avançadas dos parceiros de fabricação, exigência que pode resultar em valorização industrial (*industrial upgrading*) e em mudanças no processo de trabalho. No caso da indústria produtora de componentes, o uso de plataformas afeta a relação entre as empresas, deixando praticamente intocada a essência dos modelos de produção nos parceiros fabricantes. De acordo com os dados coletados nas entrevistas, a participação em redes mediadas por plataformas não requer capacidades aprimoradas dos fornecedores em termos de atualização de produtos ou processos. Isso é sublinhado pelo fato de que a participação da maioria dos parceiros fabricantes nas redes de plataformas B2B não é exclusiva. Muitos simplesmente usam a demanda mediada por plataformas para fazer uso das capacidades excedentes enquanto continuam a se envolver diretamente com clientes regulares. O principal efeito sobre os produtores é, portanto, uma extensão de sua rede de vendas, um processo descrito como “aperfeiçoamento de canais” (*channel upgrading*) na literatura sobre modernização industrial (Frederick & Gereffi, 2011). Através desses links adicionais, os fornecedores podem facilmente se qualificar para contratos com clientes que estão além de seu alcance, geralmente circunscrito geograficamente e informalmente mediado. Como todas as plataformas B2B pesquisadas experimentaram um crescimento acentuado, os fornecedores se beneficiaram economicamente da demanda adicional. No entanto, eles tendem cada vez mais a perder a capacidade de negociar as condições desses contratos devido à transparência de preços nas plataformas. Alguns parceiros fabricantes relataram durante as entrevistas uma concorrência mais forte e lucros menores para pedidos que recebem por meio de plataformas. Isto pode resultar em uma

tendência de queda, quando a competição por contratos de fornecimento se torna mais intensa à medida que o modelo de plataforma se torna mais difundido.

O caso da plataforma Tao-Factory da Alibaba oferece um exemplo contrastante, no qual a flexibilidade também depende diretamente das capacidades dos fabricantes. As exigências de flexibilidade são estendidas ao chão de fábrica e resultam em necessidades dos produtores para ajustar seus modelos de produção e processos de trabalho. As fábricas de vestuário de nossa amostra recorreram a um modelo de produção artesanal, semelhante ao que foi descrito por Piore e Sabel (2000, p. 17) como característica central da especialização flexível da produção. O pequeno tamanho dos pedidos do comércio eletrônico – 50 a 100 peças por lote – torna inviável a organização da produção em linhas de montagem maiores, com trabalhadores semiqualeificados executando tarefas repetitivas. A frequente mudança de estilos também reduz as possibilidades de os trabalhadores se familiarizarem com o processo, assimilarem as rotinas e depois desenvolverem a velocidade necessária, como era o caso com encomendas de muitas milhares de peças do mesmo estilo. Em vez disso, as pequenas encomendas do comércio eletrônico são produzidas, de ponta a ponta, por trabalhadores amplamente qualificados que completaram um aprendizado de três anos ou têm muitos anos de experiência de trabalho. Durante nossas entrevistas, a gerência da fábrica explicou que somente trabalhadores altamente qualificados conseguiram alternar de forma flexível entre diferentes estilos e materiais, mantendo a velocidade de produção necessária.

Na plataforma da Tao-Factory, a flexibilidade e a capacidade de resposta à demanda do mercado não são alcançadas por meio de um processo produtivo intensivo em tecnologia, mas sim através da conexão *online* da vasta base de produção em pequena escala da China. Esta abordagem pode se basear em métodos tradicionais de produção. A modernização do processo através da aquisição de tecnologia avançada não é alcançada; em vez disso, ocorre uma reorganização do processo de trabalho, que requer principalmente habilidades amplas por parte dos costureiros. A dependência de uma organização artesanal da produção – e não de equipamentos de produção modernos – pode criar possibilidades de melhoria social. O fornecimento de trabalhadores experientes é fundamental para as empresas de vestuário que atendem à plataforma da Tao-Factory e tais trabalhadores são escassos. Na época de nossas pesquisas empíricas, isto se traduziu em salários acima da média (até o dobro do salário médio da indústria local para empregados urbanos).

O aperfeiçoamento de canais também tem efeitos benéficos para os fabricantes. Ao transferir seus negócios *online* para a plataforma da Alibaba, os fabricantes podem estabelecer relações diretas com os clientes, cortar alguns intermediários nas vastas e caóticas redes de subcontratação da China, e assim evitar ser um mero apêndice em um mercado varejista de comércio eletrônico em expansão. A melhoria das capacidades dos fabricantes

para programar seus lotes e um fluxo de produção mais estável é um resultado que também se traduz em empregos mais estáveis daqueles trabalhadores qualificados, que os empresários estão ansiosos para vincular permanentemente às suas empresas.

Contudo, a elevação salarial e o avanço na estabilidade do emprego ocorrem sem alterar algumas outras características-chave de um regime trabalhista que se caracteriza por um alto nível de informalidade e condições precárias de trabalho (Lüthje, Luo, & Zhang, 2013). Os trabalhadores de algumas das empresas da nossa amostra não assinaram contratos de trabalho, havia preponderância de horários de trabalho excessivos e nenhuma participação em regimes de previdência social. A Alibaba não incorporou estas questões, nem questões trabalhistas em geral, apesar de seus sofisticados mecanismos de governança de plataforma. Sua plataforma Tao-factory representa, portanto, uma mistura peculiar do antigo e do novo: um modo tecnologicamente avançado de governança da plataforma que não se baseia em técnicas de produção tecnologicamente avançadas no lado da oferta, mas sim em formas tradicionais de produção artesanal de vestuário e em relações de trabalho que, embora ofereçam altos rendimentos aos trabalhadores, se assemelham aos baixos padrões da enorme base de fornecedores de vestuário (e de subcontratados) na China. Resta saber se os efeitos benéficos para os fornecedores e seus trabalhadores durarão ou se são um resultado momentâneo de um mercado em expansão, no qual a maioria dos fabricantes da plataforma Tao-factory experimenta um aumento de pedidos, gerando um fluxo de trabalho mais estável e condições econômicas para atrair trabalhadores qualificados, pagando salários acima da média. À medida que a plataforma da Tao-factory amadurece, o resultado também poderia ser um cenário oposto: uma deterioração das condições impulsionada pela concorrência exacerbada em um ambiente superlotado de fornecedores.

Conclusão: variedades de manufatura digitalizada

A junção da narrativa da Indústria 4.0 com os dados empíricos de estudos de caso sobre a manufatura digitalizada com abordagem focada na distribuição revelam diferenças notáveis. Ambas as abordagens aplicam tecnologias digitais com o objetivo de aumentar a qualidade e a flexibilidade da produção sem comprometer a eficiência do processo produtivo.

Mas enquanto a abordagem “fábrica inteligente” está centrada em equipamentos de produção no nível de controle do processo produtivo e do chão de fábrica (atualização de processos), as plataformas B2B aproveitam as tecnologias avançadas de coordenação para melhorar o *matchmaking* entre clientes e fornecedores para reduzir os custos de transação.

Quadro 1. Diferenças centrais entre o “modelo fábrica inteligente” e o “modelo rede de fábricas”.

	Fábrica inteligente	Rede de fábricas B2B
Objetivo	Versatilidade de fabricantes individuais	Versatilidade da fabricação descentralizada
Vetor tecnológico	Tecnologias de produção	Tecnologias de coordenação
Tipo de <i>upgrading</i> dominante nos fabricantes	Modernização de processos	Aperfeiçoamento de canais
Exigência de qualificação profissional	Alta (polarização e possíveis <i>trade offs</i>)	Alta ou baixa (dependendo do tipo de produto e da tecnologia de produção)

Esta última abordagem não requer muito envolvimento dos fornecedores da rede para melhorar suas tecnologias de produção,⁷ mas os ajuda a expandir seu mercado potencial por meio do “aperfeiçoamento de canais” – um desenvolvimento que pode aumentar expressivamente seu sucesso econômico em termos de volumes e utilização de equipamentos. Fornecedores na Tao-Factory da Alibaba e nas plataformas B2B da indústria de componentes relatam fluxos de produção mais regulares e a possibilidade de oferecer capacidade produtiva adicional por intermédio de plataformas B2B (que em outra situação teria ficado ociosa). No entanto, este retrato da relação entre plataforma e cliente dentro de redes B2B em expansão pode ocultar os efeitos a longo prazo de tais desenvolvimentos, que podem envolver casos de desqualificação ou concorrência feroz, assim como relações de domínio e controle entre plataformas e empresas compradoras. Ao final, a transparência de preços nas plataformas combinada com o alcance potencialmente global de suas redes pode resultar em concorrência feroz, à medida em que o mercado se torne mais competitivo. Atualmente, o próprio sucesso dos modelos de negócios das plataformas significa que os fornecedores experimentam alta demanda e pouca concorrência. Porém, isto provavelmente mudará caso as plataformas online se tornem o canal de vendas padrão de certos ramos industriais. Sob tais circunstâncias, as

⁷ Isso não impede que os produtores parceiros em redes de fábricas se envolvam na modernização de processos. A impressão 3D de componentes, por exemplo, é um processo no qual elementos de tecnologia avançada de produção são combinados com uma estrutura industrial que consiste em grande parte de pequenos fabricantes. No entanto, essa estrutura não está em conformidade com o paradigma dominante da Indústria 4.0, que é orientada para a produção em massa. Além disso, os custos de investimento em conectividade (propiciando equipamentos e soluções de software compatíveis) constituem uma restrição que desestimula os pequenos fabricantes a adotarem uma abordagem de fábrica inteligente.

plataformas B2B poderiam se tornar as principais beneficiadas, considerando as tarifas que cobram e o poder de negociação que deriva da aquisição de dados (Lüthje, 2019).

Em termos das implicações para os trabalhadores desses dois modelos de produção digitalizada, os resultados sublinham a contingência da relação entre tecnologia e progresso social. O modelo estilizado da Indústria 4.0 está em total acordo com as tradições corporativas do “modelo alemão”, com sua ênfase em habilidades e treinamento abrangente dos trabalhadores. Embora pareça razoável supor que os sistemas de produção mais complexos também apresentam maiores exigências de habilidades no chão de fábrica, mesmo assim a narrativa da “fábrica inteligente” negligencia em grande parte possíveis efeitos negativos em termos de desqualificação, intensificação do trabalho e perda de autonomia. Como em casos anteriores de mudanças tecnológicas, seus efeitos no trabalho dependerão decisivamente da configuração dos sistemas sociotécnicos, ou seja, da intervenção de representantes dos trabalhadores nos processos de implementação da tecnologia (Hirsch-Kreinsen, 2016a).

Nossos estudos de casos sobre o modelo de rede de fábricas B2B mostram efeitos divergentes em termos de “progresso social”, que dependem fortemente do modo como a produção de pequenos lotes modifica os processos de trabalho. Em ambos os casos, as redes B2B conectam ramos industriais constituídos por um grande número de pequenos produtores (que já existiam antes de serem conectados por plataformas). A flexibilidade do sistema de produção não é tanto uma questão de organização dos processos e rotinas de trabalho, mas da amplitude e da diversidade da própria rede. Além disso, nos dois ramos de negócios a adaptação à demanda personalizada desempenha historicamente um papel significativo, seja na forma de fabricação de componentes em pequena escala que geralmente acontecia nas proximidades geográficas de compradores importantes, seja em pequenas oficinas de vestuário na China que persistiam ao lado de grandes fabricantes industriais (Chu, 2018). No caso da indústria de componentes, a demanda suplementar que é mediada por plataformas B2B não afeta as rotinas de trabalho, uma vez que o processo de produção é amplamente automatizado e o processo de trabalho praticamente não difere entre a produção de grandes ou pequenos lotes. No entanto, os fatos são diferentes na indústria do vestuário, na qual a produção de pequenos lotes requer trabalhadores habilidosos e experientes, assim como o desmembramento da divisão industrial do trabalho, uma vez que os trabalhadores individuais controlam a produção de produtos inteiros – um ressurgimento da produção artesanal. As condições de trabalho nos pequenos fornecedores da Tao-Factory têm como marcas hereditárias a informalidade e a exploração dos trabalhadores (que caracterizam os esquemas chineses de subcontratação dos quais se originam), mas em meio a circunstâncias favoráveis, como a expansão econômica da plataforma da Tao-Factory, a predominância de fluxos de produção mais regulares e a escassez generalizada de mão de obra, a via centrada na

distribuição pode implicar em perspectivas duradouras de melhoria social. Contudo, como discutido anteriormente no que se refere à modernização econômica dos fornecedores, as perspectivas de trabalho dependem de outras circunstâncias: se esses sistemas sofrerão de “aglomeração” (*overcrowding*) e se aumentará a concorrência de preços à medida que as redes de produção B2B amadurecerem.

Em resumo, nossas descobertas reforçam a perspectiva geral de Piore e Sabel sobre as variedades e a amplitude das trajetórias industriais. Os estudos de casos demonstram que a transformação digital da produção e do trabalho não corresponde à vertente de modernização do processo descrita no modelo estilizado da Indústria 4.0, mas pode prosperar em outras variedades. A “especialização flexível” das redes de fábricas centradas na distribuição, com pioneirismo na indústria do vestuário chinês e no ramo internacional de fabricação de componentes, constitui uma alternativa possível e, de fato, a utilização da flexibilidade da rede pode, em alguns casos, constituir uma opção mais adequada do que a abordagem da engenharia avançada (e cara), associada à Indústria 4.0. Entretanto, somos cautelosos em interpretar o modelo da rede da fábrica como uma via superior de transformação industrial e de valorização do trabalho. Nesse sentido, nossa análise difere da de Piore e Sabel, para quem as instâncias de especialização flexível observadas na época constituíam uma alternativa que impunha uma nova norma social, pois implicavam uma significativa inovação e uma trajetória social que se baseava em habilidades dos trabalhadores e em sua participação nos resultados econômicos. Ao contrário, nossas pesquisas enfatizam que a abordagem da produção digitalizada centrada na distribuição não necessariamente vem acompanhada de melhores condições para os trabalhadores. Há uma correlação positiva nos casos de fábricas de vestuário de nossa amostra, nas quais a flexibilidade da produção repousa na qualificação mais elevada dos trabalhadores, mas este não é o caso na indústria de componentes.

Então, o que nos ensina esta discussão teórica sobre as trajetórias futuras da produção digitalizada? A “rede de fábricas” representa uma abordagem mais apropriada que substituirá a “fábrica inteligente”, apesar da sofisticação tecnológica desta última? De fato, frustrações recentes na implementação da Indústria 4.0 indicam que o desenvolvimento efetivo dos fabricantes pode não estar à altura das expectativas excessivamente otimistas transmitidas por representantes do governo e das empresas. Em particular, há um perigo inerente de exagerada complexidade tecnológica de processos (*overengineering of processes*), uma vez que as empresas fazem pesados investimentos em tecnologia sem colher retornos suficientes para justificar tais iniciativas. Ao mesmo tempo, até o momento, as plataformas B2B continuam sendo um fenômeno marginal. Até mesmo os 27.000 pequenos produtores que foram cadastrados para atender a plataforma Tao-Factory da Alibaba são pouco expressivos diante dos imensos volumes de produção industrial chinesa através de meios convencionais.

Além disso, a rede de fábricas pode se aplicar a alguns, não a todos os ramos industriais. Ela se ajusta bem à estrutura em pequena escala das confecções de vestuário chinesas e à fabricação de componentes sob demanda, mas continua a ser inadequada para a produção em grande escala de automóveis ou eletrônicos, para a qual a via da Indústria 4.0 pode oferecer melhores perspectivas.

A crise da Covid-19 certamente afetará a disseminação dos dois modelos. Ela reordena as relações econômicas e obriga as empresas a se adaptarem a um ambiente de mercado inseguro. Em muitas matrizes, ela aprofunda o compromisso com abordagens inovadoras e decisões estratégicas, embora as condições para realizar grandes investimentos estejam se tornando mais restritivas devido ao complicado ambiente macroeconômico. Para as abordagens de engenharia avançada do modelo de “fábrica inteligente” isso pode resultar em uma forte motivação para impulsionar a transformação digital dos ramos industriais, mas também em restrições financeiras para os investimentos necessários. Porém, as plataformas B2B poderiam se tornar o grande vencedor nessa constelação: em muitos casos, suas plataformas tiveram alta demanda precisamente por causa da ruptura econômica das cadeias regulares de abastecimento.

Referências

Bauer, W., Schlund, S., Marrenbach, D., & Ganschar, O. (2014). *Industrie 4.0: Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland*. Bitkom und Fraunhofer IAO. <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Industrie-40-Volkswirtschaftliches-Potenzial-fuer-Deutschland.html>

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2015). *Zukunftsbild "Industrie 4.0"*. <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/zukunftsbild-industrie-4-0.pdf>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (n.d.). *Digitale transformation in der Industrie*. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/industrie-40.html>

Butollo, F., Jürgens, U., & Krzywdzinski, M. (2019). From lean production to Industrie 4.0: More autonomy for employees? In U. Meyer, S. Schaupp, & D. Seibt (Eds.), *Digitalization in industry: Between domination and emancipation* (pp. 61–80). Springer International Publishing.

Chu, N. (2018). The paradoxes of creativity in Guangzhou: China’s wholesale market for fast fashion. *Culture, Theory and Critique*, 59(2), 178–192. <https://doi.org/10.1080/14735784.2018.1443020>

Frederick, S., & Gereffi, G. (2011). Upgrading and restructuring in the global apparel value chain: Why China and Asia are outperforming Mexico and Central America. *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, 4(1/2/3), 67–95. <https://doi.org/10.1504/IJTLID.2011.041900>

Hirsch-Kreinsen, H. (2016a). Digitization of industrial work: Development paths and prospects. *Journal for Labour Market Research*, 49(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12651-016-0200-6>

Hirsch-Kreinsen, H. (2016b). “Industry 4.0” as promising technology: Emergence, semantics and ambivalent character’. [Soziologisches Arbeitspapier Nr. 48], Technische Universität Dortmund. <https://doi.org/10.17877/DE290R-17346>

Hirsch-Kreinsen, H. (2019). Industry 4.0: A path-dependent innovation. [Soziologisches Arbeitspapier Nr. 56], Technische Universität Dortmund. <http://dx.doi.org/10.17877/DE290R-19871>

IG Metall (2016). Industrie 4.0 in der praxis. Die digitalisierung gestalten. https://www.arbeit2020.de/fileadmin/Arbeit2020/4.1_Broschueren/IGM_Industrie_4.0_in_der_Praxis.pdf

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. [Final report of the Industrie 4.0 Working Group], National Academy of Science and Engineering (Acatech); Forschungsunion Wirtschaft - Wissenschaft. <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>

Krzywdzinski, M., & Butollo, F. (2021). Between manufacturing expertise and artificial intelligence. The challenge of ambidexterity in the digital transformation of a traditional manufacturing enterprise. [Unpublished manuscript].

Kuhlmann, M. (2020, January 16). Digitalisierung & arbeit – eine zwischenbilanz aus arbeitssoziologischer sicht. [Presented at the tagung “Zukunft der arbeit: Gute arbeit und gutes arbeitsleben im digitalen zeitalter”], House of Labour, Frankfurt.

Lüthje, B. (2019). Platform capitalism “made in China”? Intelligent manufacturing, Taobao Villages, and the restructuring of work. *Science, Technology and Society*, 24(2), 199–217. <https://doi.org/10.1177/0971721819841985>

Lüthje, B., Luo, S., & Zhang, H. (2013). *Beyond the iron rice bowl: Regimes of production and industrial relations in China*. Campus Verlag.

MacKenzie, D. A., & Wajcman, J. (1999). *The social shaping of technology* (2nd ed.). Open University Press.

Pfeiffer, S. (2017). Industrie 4.0 in the making: Discourse patterns and the rise of digital despotism. In M. Krzywdzinski, K. Briken, S. Chillas, & A. Marks (Eds.), *The new digital workplace: How new technologies revolutionise work* (pp. 21–41). Palgrave Macmillan.

Pfeiffer, S., & Huchler, N. (2018). Industrie 4.0 konkret: Vom leitbild zur praxis? *WSI-Mitteilungen*, 71(3), 167–173. <https://doi.org/10.5771/0342-300X-2018-3-167>

Piore, M. J., & Sabel, C. F. (2000). *The second industrial divide: Possibilities for prosperity*. Basic Books. (original work published 1984).

Schneidemesser, L. (2019). Die new manufacturing initiative von Alibaba. Internal Report for the Future of Work Department, German Metal Workers Union – IG Metall. [Monitoring der Digitalisierung in China, No. 6], IG Metall, Frankfurt am Main.

Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Currency.

Sorge, A., & Streeck, W. (1988). Industrial relations and technical change: The case for an extended perspective. In R. Hyman, & W. Streeck (Eds.), *New technology and industrial relations* (pp. 19-44). Blackwell.

Spath, D. (Ed.) (2013). *Produktionsarbeit der zukunft: Industrie 4.0*. [Studie], Fraunhofer-Verlag. <https://www2.iao.fraunhofer.de/images/iao-news/produktionsarbeit-der-zukunft.pdf>

Sturgeon, T. J. (2019). Upgrading strategies for the digital economy. *Global Strategy Journal*, 11(1), 34–57. <https://doi.org/10.1002/gsj.1364>

Zeng, M. (2018). *Smart business: Alibaba, the future of strategy, and what it means for you*. Harvard Business Review Press.

Recebido em 29 de junho de 2021.

Aprovado em 30 de julho de 2021.