

Empreendedorismo, Startups e Inovação

APLICAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL COM BASE EM
EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

Resumo

Muito se fala, principalmente nos âmbitos universitário e industrial, sobre a chamada “Indústria 4.0”. Trata-se, na realidade, de um termo um tanto vago e complexo que tem sido utilizado para se referir aos vários processos e tecnologias que estão sendo empregados nas novas operações de manufatura. A Indústria 4.0 – ou Quarta Revolução Industrial – engloba algumas tecnologias cujo foco é a melhoria da eficiência e produtividade dos processos produtivos tais como, interconexão entre máquinas e produtos, automação da cadeia produtiva, descentralização dos processos decisórios, bem como integração de toda a cadeia industrial de valor agregado. Isso se traduz na implementação de tecnologias como sistemas ciber-físicos (CPS), *Big Data Analytics*, computação em nuvem, Internet das Coisas (IoT), Internet dos Serviços (IoS), manufatura aditiva, inteligência artificial, realidade aumentada, dentre outras. Desde então, alguns princípios como a Interoperabilidade, a Virtualização, a Descentralização, a Capacidade de Resposta, a Orientação de Serviço e a Modularidade (Hermann; Pentek; Otto, 2016) foram absorvidos pela Indústria 4.0 e, atualmente, são considerados os alicerces mais elementares desse processo. Isto posto, o presente artigo se propõe a identificar as principais características e estratégias utilizadas pelas potências pioneiras no desenvolvimento desses processos e tecnologias e, a partir disso, mapear as principais medidas que um plano de desenvolvimento brasileiro poderá adotar a fim de garantir a modernização da economia do país.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Quarta Revolução Industrial. Manufatura Avançada. Política Industrial. Desenvolvimento Econômico.

Abstract

Much is said, especially in the academy and industrial spheres, about the so-called “Industry 4.0”. That is a somewhat vague and complex term that has been used to refer to the various processes and technologies that are being used in new manufacturing operations. Industry 4.0 - or Fourth Industrial Revolution - encompasses some technologies whose focus is on improving the efficiency and productivity of production processes, such as interconnection between machines and products, automation of the production chain, decentralization of decision-making processes, as well as integration of the entire industrial value-added chain. This translates into the implementation of technologies such as cyber-physical systems (CPS), Big Data Analytics, cloud computing, Internet of Things (IoT), Internet of Services (IoS), additive manufacturing, artificial intelligence, augmented reality, among others. Since then, some principles such as Interoperability, Virtualization, Decentralization, Responsiveness, Service Orientation and Modularity (Hermann; Pentek; Otto, 2016) have been absorbed by Industry 4.0 and are currently considered the most fundamental elements of that process. That said, the present article proposes to identify the main characteristics and strategies used by the pioneering countries in the development of these processes and technologies and, from that, to map the main measures that a Brazilian development plan could adopt in order to guarantee the modernization of the country's economy.

Keywords: Industry 4.0. Fourth Industrial Revolution. Advanced Manufacturing. Industrial Policy. Economic Development.

INTRODUÇÃO

O início desse novo ciclo industrial que, atualmente, vem sendo desenvolvido por algumas das principais potências globais, remonta à Feira de Hannover de 2011. Nela, de acordo com Hermann, Pentek, Otto (2016, p. 2) “uma associação [cujo nome era Industrie 4.0] de representantes das empresas, da política e de universidades” propuseram a revitalização da indústria alemã com o intuito de assegurar a competitividade desta no então cenário econômico mundial.

As razões que levaram ao desenvolvimento dessa iniciativa compreendem, em última instância, o temor, compartilhado pelas autoridades alemãs, da perda de relevância da indústria europeia no atual cenário mundial. De fato, o impacto do setor industrial manufatureiro alemão na economia do país vem caindo há cerca de cinquenta anos. De acordo com Schroeder (2016), em 1970, a indústria manufatureira alemã contribuiu para com 36,7% do Valor Agregado Bruto da economia germânica, valor substancialmente mais expressivo se comparado aos 22,6% de 2015. Ademais, a própria força de trabalho empregada na indústria manufatureira vem diminuindo ao longo dos anos. Se, na década de 70, 35,8% dos trabalhadores alemães estavam empregados no setor, esse índice caiu pela metade em 2015, alcançando meros 17,5%.

Todavia, muito embora esses números mostrem o crescimento do setor de serviços no país, é importante levar em conta três fatores: o primeiro diz respeito ao fato de a Alemanha ter sido um dos únicos países a manter a participação da indústria manufatureira em seu Valor Agregado Bruto a níveis relativamente altos nos últimos vinte anos; o segundo trata da importância do próprio setor industrial manufatureiro para o crescimento do setor de serviços; e o terceiro remete à crucial importância do setor industrial manufatureiro para a economia apesar do crescimento do setor de serviços (Schroeder, 2016). Em suma, muito embora o crescimento do setor de serviços na Alemanha seja um fenômeno em curso desde os anos 1970, há, por parte das autoridades do país – muito por conta da importância que esse setor representa para as exportações – um consenso de que a indústria manufatureira precisa ser protegida de ameaças externas.

A ascensão econômica dos países asiáticos nos anos 1970 representou uma grave mudança no panorama econômico mundial. Atualmente, é inegável considerar a ideia de que, em um curto período, as economias de países do sudeste asiático possam vir a superar a indústria manufatureira europeia e – em certa medida – a americana. De fato, alguns indicadores mostram o deslocamento do centro dinâmico industrial manufatureiro do eixo Europa-América para a Ásia.

Segundo Oreiro e Feijó (2010) “o processo de desindustrialização” foi definido por Rowthorn e Ramaswamy (1999) como sendo uma redução persistente da participação do emprego industrial no emprego total de um país ou região. Com base nesse conceito, os assim chamados países desenvolvidos teriam passado por um forte processo de desindustrialização a partir da década de 1970; ao passo que a América Latina teria passado pelo mesmo processo na década de 1990. Mais recentemente Tregenna (2009) definiu o conceito de desindustrialização como sendo uma situação na qual tanto o emprego industrial como o valor adicionado da indústria se reduzem como proporção do emprego total e do PIB, respectivamente. Assim sendo, a simples expansão da produção industrial (em termos de *quantum*) não pode ser utilizada como prova da inexistência de desindustrialização.

De acordo com Arbix *et al.* (2017), a participação chinesa no PIB mundial passou de apenas 3% em 1978 para mais de 20% em 2015. Em outras palavras, isso pode ser traduzido em um crescimento médio anual de cerca de 10% nos últimos trinta

e cinco anos. Geralmente, se tratando da China, uma das primeiras características a ela categorizada são as justificativas de mão de obra barata e pouco qualificada, bem como a manufatura de produtos de baixo valor agregado. No entanto, tal análise não passa de uma visão extremamente superficial das reais capacidades atuais da economia chinesa. O potencial industrial do país vem, ano após ano, se mostrando capaz de sobrepujar as indústrias manufatureiras de outras nações.

Com um Estado autoritário e presença forte na economia, a China conseguiu manter um gigantesco fluxo de investimento público que emulou seu crescimento ao longo de décadas e contribuiu para manter o dinamismo de sua economia (Arbix *et al.*, 2017, p. 39).

Esses fatores, somados ao desenvolvimento tecnológico e à enorme disponibilidade de mão de obra chinesa, fizeram com que fosse impossível aos países europeus competirem com os excepcionais lotes de manufaturados provenientes da China. Ademais, ainda há de se considerar outros países do sudeste asiático, como a Índia, o Vietnã e Camboja, por exemplo, que têm seguido alguns dos caminhos que os chineses trilharam ainda nas décadas de 70 e 80: baixo custo da mão de obra aliada à manufatura em escala de bens de consumo semiduráveis.

Nesse sentido, há de se reconhecer que uma das principais colaborações da iniciativa *Indústria 4.0*, apresentada na Feira de Hannover, foi situar, de maneira relativamente precisa, a real capacidade do tecido industrial alemão, reconhecendo suas limitações, bem como suas potencialidades. A partir de então, foi possível, a partir da análise do real potencial da indústria manufatureira alemã, listar uma série de fatores e características em que a indústria nacional era especialmente forte, podendo sobrepujar, naquelas determinadas áreas, a gigantesca indústria chinesa. Logo, justamente por conta disso, foram estabelecidos os pilares/alicerces da Indústria 4.0: Interoperabilidade, Virtualização, Descentralização, Capacidade de Resposta, Orientação de Serviço e Modularidade. De maneira geral, esses princípios objetivam desenvolver as características necessárias à indústria alemã, substancialmente mais ágil e relativamente mais eficiente que a indústria manufatureira chinesa, buscando, por exemplo, substituir a máxima de “produção em massa” pela “produção de lotes unitários”, visando alterar uma lógica manufatureira em que, atualmente, a China é imbatível.

Sendo assim, tratando de toda essa complexa questão de uma maneira essencialmente resumida, a formulação dos ideais da Indústria 4.0 se deu em um meio bastante peculiar e hostil às indústrias europeias. A Alemanha, país que anteviu essa situação, tem ciência de suas limitações, assim como entende o que há de ser desenvolvido e aplicado para contornar essa adversidade e manter a relevância de sua indústria no cenário internacional. A Indústria 4.0 é, portanto, um fenômeno previsto, planejado, não dependendo do mero acaso. Trata-se de uma reação de indústrias manufatureiras tradicionais que, ao longo do tempo, se habituaram a estar no topo e, não obstante as recorrentes ameaças à sua supremacia, não pretendem sair dele.

1 EXPERIÊNCIAS PIONEIRAS

1.1 O CASO DA ALEMANHA

É inegável que a história da Indústria 4.0 se confunde com a trajetória recente da indústria manufatureira alemã. Conforme o explícito na sessão anterior, os próprios

alicerces da Indústria 4.0 foram desenvolvidos na Alemanha – tratando-se, em última instância, de uma série de mecanismos de defesa responsáveis pela manutenção da competitividade do tecido industrial alemão. Nesse sentido, a criação da *Plattform INDUSTRIE 4.0* – uma iniciativa de algumas empresas privadas alemãs –, de acordo com Arbix *et al.* (2017), possui três características principais: primeiramente, a busca do desenvolvimento de novas tecnologias de manufatura avançada, como é o caso dos sistemas cyber-físicos, da internet das coisas e da manufatura aditiva, por exemplo; secundamente, no foco do desenvolvimento de soluções para o médio e longo prazo; e, por último, a participação ativa de todos os âmbitos da sociedade alemã.

Toda a lógica da Indústria 4.0 está voltada para a defesa da relevância da indústria alemã no cenário internacional. Assim, uma associação composta por algumas empresas alemãs, em 2011, desenvolveu um planejamento para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias relacionadas ao processo de manufatura avançada no tecido industrial alemão. Em outras palavras, como discorrem Da Silva *et al.* (2018, p. 7) “o projeto INDUSTRIE 4.0 possui como objetivo facilitar a criação de novos modelos de negócio e otimizar a logística e produção industrial”. Há, de fato, a iniciativa de se substituir os processos de manufatura tradicional, aplicados durante boa parte do século XX, por um processo de manufatura avançada a partir, justamente, da aplicação de novas tecnologias e processos. Ou seja, o que se busca é, efetivamente, a evolução do processo manufatureiro alemão, dando enfoque, a partir da análise massiva de dados, da intensa comunicação entre as máquinas da cadeia produtiva, da descentralização do processo decisório e da minimização do tempo de latência (em caso de alteração da demanda e/ou eventuais falhas no processo produtivo), na produção de lotes unitários, por exemplo.

É notável que, se tratando de uma iniciativa propriamente alemã, o país possua o plano mais estruturado para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias e processos relacionados à manufatura avançada dentre as principais nações empenhadas na real efetivação da Indústria 4.0. Isto, como dito, só foi possível em função de três razões principais: estabilidade política; ampla participação de todos os estratos da sociedade alemã; e elaboração e desenvolvimento de um plano de médio-longo prazo. Juntos, esses aspectos fizeram com que a Alemanha apresentasse um terreno extremamente fértil para o florescimento dessas novas técnicas manufatureiras.

Em primeiro lugar, há de se reconhecer os esforços que os grupos políticos alemães têm realizado com o intuito de não prejudicar o andamento do programa. De fato, é bastante claro que um programa não imediatista – isto é, que não apresenta resultados expressivos no curto prazo, como é o caso da Indústria 4.0 – é suscetível às instabilidades oriundas do processo democrático. Em outras palavras, há de se levar em conta que, em função das discordâncias entre os vários grupos políticos, os objetivos e ênfases de um país podem vir a ser alterados – devido aos diferentes focos e interesses. Por conta disso, políticas antes apoiadas pela iniciativa pública podem, por vezes, com a ascensão de outros partidos políticos, serem deixadas de lado. Felizmente, no caso da Alemanha, tal empecilho fora contornado a partir de um acordo firmado entre os principais atores do cenário político interno do país. Como diz Furtado (2017, p. 23), “[...] os três partidos principais (CDU, CSU, SPD) assinaram um compromisso para levarem adiante o projeto independentemente de possíveis mudanças governamentais”. Isso, além de demonstrar a importância do diálogo entre os diferentes grupos para esse tipo de pauta, também evidencia o real grau de

comprometimento das instâncias políticas alemãs para com o planejamento da Indústria 4.0.

Segundamente, é preciso levar em conta uma das características mais interessantes e peculiares acerca da Indústria 4.0 alemã: a intensa participação de todos os âmbitos da sociedade com o intuito de assegurar sua real efetivação, bem como garantir com que as mudanças desencadeadas sejam, em última instância, benéficas para todos os estratos sociais do país. Se, por um lado, toda a iniciativa da Indústria 4.0 tenha se originado a partir dos esforços do setor acadêmico e privado, não tardou para que outros setores, tal como o setor público e os sindicatos, por exemplo, também se interessassem e optassem por integrar tal projeto.

De fato, como bem salienta Schroeder (2016), todos os atores envolvidos no planejamento e detalhamento da Indústria 4.0 alemã têm plena consciência de sua importância, bem como de que, uma vez aplicadas, tais tecnologias poderão alterar substancialmente o atual cenário da indústria manufatureira internacional. Sendo assim, coube a esses agentes se adiantarem a tais mudanças com o intuito de suprir certas deficiências estruturais para a implementação dessas novas tecnologias e processos, simular os impactos, a razoabilidade e os benefícios de sua aplicação, além de preparar os indivíduos da sociedade para essa nova realidade. Isso, na prática, se traduziu em ações como a efetivação da expansão e atualização de gargalos infraestruturais, como a malha de fibras óticas e banda-larga pelo governo alemão; a instalação dos chamados *Testumgebungen* (ou *testbeds*), ambientes de testes presentes em universidades e centros de pesquisa, responsáveis pela simulação dos resultados da aplicação das novas tecnologias da Indústria 4.0; e a adaptação das instituições de ensino (desde escolas e universidades, até politécnicos), visando alinhar a formação dos indivíduos com as mudanças que partem da implementação desses novos processos, a fim de conciliar, também, a classe trabalhadora com as novas relações de trabalho.

Logo, a partir desses pontos chave, não é difícil de se entender que todos esses grupos possuem, de uma maneira ou de outra, seus próprios interesses na Indústria 4.0. Afinal, as transformações na indústria manufatureira prometem desencadear sérias mudanças nas conjunturas doméstica e internacional, tornando certas práticas obsoletas e valorizando outras tantas. Portanto, como bem resume Arbix *et al.* (2017, p. 36), “a participação ativa desses atores tem como resultado um alto grau de coesão e de efetividade na formulação, na adequação dos instrumentos e na execução da política industrial”.

Por fim, é indispensável reconhecer a relevância da participação do setor público como um dos agentes coordenadores da Indústria 4.0 na Alemanha – juntamente com empresas do setor privado, sindicatos e outras associações. É inegável que, muito embora a Alemanha conte com modernas e bem estabelecidas multinacionais dispostas a investirem em novas tecnologias e processos inovadores – tal como a Siemens AG, a Volkswagen e a Krupp AG, por exemplo –, o sucesso parcial da *Plattform INDUSTRIE 4.0* se deu muito por conta da capacidade de o governo alemão dinamizar as interações entre os demais integrantes da iniciativa. Em outras palavras, segundo Arbix *et al.* (2017, p. 36),

A presença do governo na plataforma se dá mais como facilitador do diálogo e articulador dos atores públicos envolvidos no sistema de inovação alemão do que como gestor, uma vez que as atividades da plataforma são sempre feitas ao estilo *bottom-up*.

De fato, a participação do governo na mobilização dos atores públicos para um projeto de médio-longo prazo, como é o caso da Indústria 4.0, é essencial para o seu êxito. Na prática, de acordo com Schroeder (2016), o desempenho do Governo Federal se dá por meio da atuação de seus vários ministérios em áreas específicas. Nesse sentido, houve uma divisão de objetivos e tarefas entre ministérios, fazendo com que cada um se envolvesse ativamente em áreas relativas às suas funções, visando com que os recursos do Governo Federal fossem alocados da maneira mais eficiente possível. Isto posto, o Ministério de Educação e Pesquisa, por exemplo, responsável direto pela criação da Academia Nacional de Ciência e Engenharia (*Acatech*) – instituição essa que, por sua vez, tem participado ativamente dos processos relacionados à Indústria 4.0 – se voltou para o suporte às instituições de pesquisa e desenvolvimento. Outro bom exemplo se trata do Ministério do Transporte e Infraestrutura Digital, indicado para solucionar os já citados “gargalos infraestruturais” – deficiências e/ou insuficiências da infraestrutura alemã que, por vezes, poderiam vir a representar empecilhos para a implantação de tecnologias da Indústria 4.0 no país –, como é o caso da malha de fibras óticas e banda larga.

1.2 O CASO DOS ESTADOS UNIDOS

De maneira semelhante ao que ocorre na Alemanha, a indústria manufatureira estadunidense vem perdendo espaço no cenário internacional. No entanto, muito embora a acelerada ascensão das economias do sudeste asiático represente uma ameaça para o tecido industrial norte-americano – assim como para grande parte das economias europeias –, há de se levar em conta que todo esse processo conta com um agravante bastante peculiar. Como bem descreve Lucena, Roselino, Diegues (2020, p. 122), “[...] houve considerável perda de tecido industrial nas últimas décadas, e esse processo relaciona-se à fragilização de atividades de P&D ligadas à manufatura” – o que, em termos práticos, segundo o *Bureau of Economic Analytics* (BEA), se traduziu na queda da participação da manufatura americana de 25% para 12% do PIB estadunidense entre os anos de 1960 e 2010. Nesse sentido, um dos motivos pelos quais a indústria manufatureira estadunidense se encontra ameaçada tem relação com o processo de *offshoring* empreendido pelas várias multinacionais originárias do país. Tal fato, por sua vez, desencadeou, naturalmente, uma desaceleração das atividades de pesquisa e desenvolvimento realizadas em território americano – levando em conta que boa parte das empresas que optaram por se internacionalizar passaram a investir mais nos processos de P&D em território estrangeiro. Desse modo, como descreve Daudt, Willcox (2016), isso pode ser considerado como sendo o resultado direto da transferência tanto de tarefas mais simples – de baixo valor agregado –, como de atividades mais complexas e relevantes do processo produtivo, o que desencadeou, de fato, uma perda de conhecimento acerca de tais processos, bem como uma precarização das atividades demandantes de mão de obra especializada nos Estados Unidos.

Desse modo, é incontestável que tal revés tenha inferido em dramáticas consequências para a economia norte-americana. Primeiramente, como discorre Daudt, Willcox (2016), o resultado mais óbvio se deu na balança comercial estadunidense: se, no decorrer da década de 90, as exportações do país tenham atingido patamares históricos – devido, principalmente, ao boom das exportações de eletrônicos –, em 2011 a balança comercial de bens manufaturados chegou a um déficit de 100 bilhões de dólares. Segundamente, as próprias relações de trabalho foram negativamente afetadas, uma vez que o processo de internacionalização, como já citado, contribuiu para uma maior geração de empregos no exterior. Nesse sentido,

de acordo com Baily e Bosworth (2014), se, na década de 60, cerca de 25% da mão de obra americana estava empregada na indústria manufatureira, em 2010 essa taxa caiu cerca de 15 pontos percentuais, inferindo que menos de 10% da mão de obra atual trabalha no setor manufatureiro. Ademais, de acordo com Lucena, Roselino, Diegues (2020, p. 122-123), outra possível explicação para a redução do número de empregos no presente setor está relacionada ao fato de a produtividade deste não ter acompanhado o aumento de sua demanda, uma vez que “[...] o aumento da produtividade teria crescido em um cenário com baixa elasticidade preço demanda, o que levou ao fechamento de vagas no setor manufatureiro”.

Tendo em vista esse cenário, o governo norte-americano não tardou a tomar medidas e desenvolver políticas visando reabilitar a capacidade de P&D do país, bem como aumentar sua participação nos segmentos mais importantes relacionados à manufatura de alta tecnologia. Em outras palavras, como contam Dautd e Willcox (2016, p. 18), o objetivo geral americano “[...] é desenvolver novas tecnologias habilitadoras e, a partir disso, se reposicionar como potência global”. Nesse sentido, em 2012 o governo estadunidense, a exemplo do que fez a Alemanha, teceu planos responsáveis por captar recursos – tanto públicos como privados – a fim de, primeiramente, gerar uma infraestrutura necessária para o desenvolvimento de tecnologias de manufatura avançada (novos materiais, manufatura aditiva etc). Na prática, isso ocorreu com o lançamento do programa *National Network of Manufacturing Innovation* (NNMI) – atualmente conhecido como *Manufacturing USA* – pelo então Governo Obama. Em suma, como discorreram Lucena, Roselino, Diegues (2020), esse programa objetivava criar diversos institutos (financiados tanto por entidades públicas como privadas) com o intuito de desenvolver e testar a viabilidade de tecnologias e processos relacionados à manufatura avançada para que, ao final, empresas americanas viessem a implementar tais inovações em suas respectivas cadeias produtivas.

Inspirados na alemã *Fraunhofer-Gesellschaft*, o programa americano conta com a criação de uma rede composta por diversos *Innovative Manufacturing Institutes* (IMI) que, como contam Dautd e Willcox (2016, p. 20), possuem o objetivo comum

De desenvolver tecnologias de manufatura avançada, realizar atividades de pesquisa que empresas privadas por si só não fariam e desenvolvimentos que empresas privadas por si só não conseguiriam, bem como contribuir para a criação de mão de obra capacitada.

Não obstante tais objetivos comuns, cada instituto ainda foca no desenvolvimento de tecnologias de um setor específico, podendo direcionar seus esforços de pesquisa para áreas voltadas aos semicondutores, sistemas cyber-físicos, materiais compósitos ou manufatura aditiva – como foi o caso do *National Network for Manufacturing Innovation* (NNMI), um “instituto protótipo” voltado para tecnologias relacionadas à manufatura aditiva. Ademais, é importante de se ressaltar que tais institutos operam a partir de parcerias firmadas entre entidades públicas e privadas. Nesse sentido, de acordo com Arbix *et al.* (2017), o financiamento do *Digital Manufacturing and Design Innovation Institute* (DMDII), de Chicago, por exemplo, se deu a partir de US\$70 milhões provenientes de um recurso a fundo perdido do governo federal, somado a um fomento privado realizado por um consórcio formado por empresas, universidades, organizações públicas que não o governo federal, e demais instituições com capacidade de investimento. Ao final, os autores ainda ressaltaram a incrível capacidade de investimento desses consórcios privados nesse sistema de compartilhamento financeiro: além dos US\$70 milhões provenientes do governo

federal, a contrapartida privada, no caso do DMDII, atingiu a marca de US\$350 milhões. Ademais, de maneira semelhante ao que ocorre na Alemanha, os IMIs são administrados por diferentes ministérios, sendo os ministérios da Defesa, Energia e Comércio os principais responsáveis pela coordenação do programa estadunidense.

Ademais, é importante se apontar para o fato de que os planos desenvolvimentistas da Alemanha e dos Estados Unidos, muito embora inegavelmente semelhantes em certos pontos, não podem ser tratados como sinônimos. Naturalmente, o foco geral de ambos os programas – tanto da *Industrie 4.0* como da *Advanced Manufacturing* – estão voltados para a modernização e consequente proteção do tecido industrial de seus respectivos países. No entanto, seus focos e objetivos específicos não são, de maneira alguma, compartilhados. Em primeiro lugar, os modos de gestão utilizados são divergentes: enquanto o Estado alemão configurou seu plano a partir do sistema *bottom up* – em que o governo atua como um mediador entre os demais atores envolvidos no plano –, os Estados Unidos organizaram seu planejamento a partir do sistema *top down* – em que o Estado atua de forma mais direta e centralizadora. Em suma, pode-se afirmar que, ao mesmo tempo em que tais programas almejam alcançar um fim semelhante, os meios utilizados para se atingir esses objetivos são, efetivamente, distintos. Segundo Arbix *et al.* (2016, p. 31)

No conceito alemão, o foco recai sobre a integração da produção fabril. Na visão americana, a abordagem é mais ampla, considerando, entre outros aspectos, a busca por maior integração universidade-empresa para o desenvolvimento de tecnologias emergentes em áreas como materiais avançados.

Por fim, de acordo com Schroeder (2016), a diferença entre ambos os programas ocorre na medida em que o *Industrie 4.0* possui máximas voltadas para a evolução do processo manufatureiro, uma vez que seu enfoque é a otimização de ferramentas, tecnologias e processos de produção. O *Advanced Manufacturing*, por outro lado, enfatiza a possibilidade de uma revolução (propriamente dita) do processo manufatureiro na medida em que seus planos envolvem o investimento em tecnologias potencialmente disruptivas – que, em última análise, seriam responsáveis por alterar a estrutura básica dos processos industriais até então utilizados.

1.3 O CASO DA CHINA

Mão de obra barata, produtos de baixo valor agregado e baixa capacitação profissional já não são os adjetivos adequados para se referir ao tecido industrial-manufatureiro chinês. De fato, desde a ascensão de Deng Xiaoping, em 1978, e a abertura comercial chinesa, muitas transformações ocorreram no país nestes últimos quarenta anos. Atualmente, a China é considerada um player indispensável para a realização de cálculos relacionados às políticas internacionais das mais diversas nações, e isso se deve, em boa parte, devido à sua relevância econômica-industrial. Não obstante isso, a China ainda reconhece seus pontos fracos e entende a necessidade de investimentos e canalização de recursos a fim de sanar tais ineficiências. A partir disso, ainda na primeira metade da década de 2010, após observar os esforços alemães e estadunidenses de desenvolvimento de tecnologias referentes à indústria de manufatura avançada, o Conselho de Estado Chinês formulou uma série de diretrizes que, ao final, culminaram na elaboração do chamado *Made in China 2025*.

Em linhas gerais, de acordo com Wübbeke *et al.* (2016), a estratégia chinesa visa transformar o país em uma “superpotência manufatureira” a partir do desenvolvimento de tecnologias de manufatura avançada voltada para a indústria automotiva, aeroespacial, robótica, marítima, médica, ferroviária etc. – ou seja, o cerne do plano chinês envolve o investimento em indústrias responsáveis por um alto grau de contribuição nas taxas de crescimento econômico do país. Ainda segundo os autores, o Made in China 2025 preocupa-se, essencialmente, em acelerar um processo de substituição de importações: o objetivo do plano é substituir gradualmente tecnologias estrangeiras por tecnologias domésticas a fim tornar o país autossuficiente no que se refere às tecnologias da manufatura avançada, bem como preparar o terreno para que as empresas chinesas de tecnologia, conseqüentemente, penetrem no mercado internacional.

Nesse sentido, ainda segundo os autores, um objetivo específico do MiC 2025 envolve aumentar a participação no mercado doméstico de fornecedores chineses de componentes eletrônicos básicos em cerca de 70%. Ademais, muito embora o MiC 2025 tenha sido inspirado em outras iniciativas anteriores, uma característica bastante peculiar da estratégia chinesa envolve a aquisição de grupos e/ou empresas de alta tecnologia por investidores chineses – como foi o caso da alemã Kuka, por exemplo. Nesse sentido, é possível se afirmar que tal prática objetiva, em última instância, acelerar o processo de *catching-up* tecnológico, bem como pular certas etapas do desenvolvimento de tecnologias-chave para o MiC 2025.

Sendo assim, o MiC 2025, a princípio, foca na elaboração e desenvolvimento de uma economia mais moderna, inovadora e eficiente. Todo o processo é uma iniciativa estatal, o que, naturalmente, configura-se como sendo gerida por um sistema *top-down*. Desse modo, o Estado Chinês atua como o principal coordenador e investidor do plano, uma vez que é ele quem impõe as prioridades, políticas desenvolvimentistas e estratégias a serem abordadas pelos demais atores participantes do programa (governos provinciais e locais, empresas de capital público, fundos de investimento etc.). Em outras palavras, de acordo com Wübbeke (2016, p. 17), o MiC 2025 é liderado pelo Grupo para a Construção de uma Superpotência Manufatureira, comandado pelo então Vice Premiê Wang Qishan, responsável pela formulação e coordenação dos planejamentos macro-estratégicos. O Ministério da Indústria e das Tecnologias de Informação – um dos mais relevantes ministérios da China –, por sua vez, atua na administração e implementação das políticas industriais formuladas pelas instâncias superiores.

É bem verdade que, se tratando de um plano que visa, ao final, introduzir novas tecnologias em todos os principais setores da cadeia produtiva chinesa, o Made in China 2025 é uma estratégia bastante ambiciosa. De acordo com Arbix *et al.* (2017, p. 41), tal programa “trata-se, na verdade, da primeira fase de um grande tripé estratégico (a ser complementado pelos planos MiC 2035 e o MiC 2049), cuja pretensão explícita é a consolidação da China como a grande potência industrial do século XXI”. Ainda segundo os autores, o principal desafio da China é fazer com que seu tecido industrial seja mais eficiente, inovador e integrado. Sendo assim, os pesquisadores em questão formularam cinco diretrizes que, ao menos, devem estar entre as principais metas dos programas desenvolvimentistas chineses entre o presente momento e 2049: fazer com que a inovação contribua para com um maior desenvolvimento industrial; elevar a qualidade dos produtos chineses; agregar a sustentabilidade ao crescimento econômico; elevar a eficiência do tecido industrial chinês; e elevar a qualificação dos recursos humanos.

No que se refere ao financiamento de tal programa, é de se esperar que, assim como praticamente todo o gerenciamento do MiC 2025, o Estado Chinês assumira um papel tão ou mais importante nesse quesito. Logo, como discorrem Lucena, Roselino, Diegues (2020, p. 129), “os financiamentos do plano *Made in China 2025* são oriundos de instituições estatais, bancos de fomento, fundos voltados à tecnologia, fundos para *startups* e fundos públicos”. Em termos objetivos, com o intuito de modernizar o tecido industrial chinês, o recém estabelecido Fundo de Manufatura Avançada (*Advanced Manufacturing Fund*), por exemplo, acumula, sozinho, cerca de 2,7 bilhões de Euros. Por outro lado, o Fundo Nacional de Circuitos Integrados (*National Integrated Circuit Fund*) recebeu, ao longo do tempo, um valor equivalente a 19 bilhões de Euros. Ademais, segundo Arbix *et al.* (2017), o Conselho de Estado Chinês, apenas em 2016, investiu oficialmente cerca de 645,9 milhões de Euros na modernização, melhoria e otimização da infraestrutura do país. Além disso, é importante ressaltar que esses fundos federais ainda são suplementados por fundos provinciais, geralmente direcionados para a superação de limitações específicas de cada região. Ao final, pode-se dizer que os valores citados facilitam a compreensão da real dimensão abrangida pelo MiC 2025 – para fins de comparação, até dezembro de 2016, a Alemanha havia investido cerca de 200 milhões de Euros em pesquisas relativas ao programa *Industrie 4.0*.

2 A INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL

2.1 OBSERVAÇÕES ACERCA DAS EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

Muito embora as experiências alemã, estadunidense e chinesa possuam, naturalmente, suas próprias diferenças e peculiaridades – seja em seus objetivos, estratégias, formas de financiamento etc –, é evidente que todas elas seguem certo padrão. Primeiramente, todos os planejamentos relativos à Manufatura Avançada partem de um plano de ação bastante claro e delimitado, em que seus objetivos são previamente estabelecidos.

Nesse sentido, a Indústria 4.0 alemã, por exemplo, desde o princípio, visa assegurar a relevância de seu tecido industrial no cenário externo. A partir disso, as entidades do país se reuniram e especificaram as estratégias e as abordagens a serem utilizadas a fim de garantir com que tal objetivo fosse, de fato, alcançado. Sendo assim, a partir dos esforços de todos os panoramas da sociedade alemã, do investimento (público e privado) em especialização da mão de obra, processos produtivos, automação, digitalização e integração, da criação de institutos especializados e do desenvolvimento de ambientes de teste (*testbeds*), a Alemanha vem se despontando nesses novos modelos.

Os Estados Unidos, por outro lado, se comprometeram a desenvolver um plano mais abrangente se comparado ao alemão, em que tópicos como o desenvolvimento de novos materiais e investimento em áreas como química, bioquímica, energia e nanotecnologia ocupam uma posição indubitavelmente relevante na estratégia adotada pelo país.

A China, no entanto, a partir de seu programa MiC 2025, vem tentando remodelar/modernizar seu tecido industrial a fim de adquirir a capacidade de projetar, desenvolver e produzir bens tecnológicos de maior valor agregado – com o intuito de, em um futuro próximo, assegurar o título “superpotência manufatureira”.

2.2 O CASO DO BRASIL

É de se esperar que o Brasil se espelhe em tais experiências pioneiras para formular sua própria política industrial de Manufatura Avançada. De certa forma, a maneira como o país reagirá às mudanças dos processos produtivos ditará como a indústria nacional se portará nos próximos anos. Em outras palavras, segundo Arbix *et. al* (2017, p. 43)

O Brasil, em que pesem todas as suas dificuldades e carências, deve se preparar para não ficar marginalizado do processo de consolidação da nova indústria digital, a exemplo do que ocorreu com a explosão da microeletrônica, a computação e as tecnologias de informação e comunicação. Quanto mais tardia for sua reação, maior a distância em relação às empresas mais dinâmicas e maiores serão os obstáculos a serem vencidos para reposicionar a indústria brasileira.

Muito embora algumas empresas e setores tenham buscado investir em tecnologias relativas e/ou semelhantes às aquelas presentes na indústria 4.0 – como, de acordo com Nazaré *et al.* (2018), é o caso da Romi, Birmind Automação, Automatsmart Tech e Autaza –, é impossível de se esperar que somente algumas poucas indústrias sejam capazes de revolucionar todo o tecido industrial nacional. Na verdade, no que tange à manufatura avançada, tais empresas estão longe de representar a real situação em que o país se encontra. Em termos objetivos, de acordo com Vermulm *et al.* (2018), um estudo de 2017 encomendado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) e realizado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Universidade de Campinas (Unicamp), apenas 1,6% de um universo de 759 empresas se encontravam no estágio mais avançado em termos de implementação de tecnologias digitais. Ainda segundo tal estudo, cerca de 77,8% desses estabelecimentos não possuíam “produção integrada” – ou seja, não utilizavam tecnologias de informação e comunicação em seus processos produtivos. Isso, por si só, já demonstra o quão defasado/ultrapassado é o tecido industrial de boa parte do país. A partir disso, a participação do governo federal, seja por meio de investimentos, seja por meio da coordenação, seja por meio da formulação de um plano estratégico, é imprescindível para que tecnologias da indústria de manufatura avançada floresçam no Brasil de maneira ampla, efetiva e relevante.

De fato, a primeira tarefa a ser realizada é formulação de uma estrutura de governança, bem como a delimitação dos objetivos e a organização de um plano nacional voltado para o desenvolvimento de tecnologias da Indústria 4.0. De acordo com Vermulm *et al.* (2018, p. 30) “[...] somente um plano nacional estratégico será capaz de organizar políticas públicas e articular ações com as do setor empresarial”. Logo, muito embora alguns organismos tenham se dedicado a pesquisar e tecer recomendações de planos para o desenvolvimento dessas tecnologias – como é o caso da Confederação Nacional da Indústria (CNI), da Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (Abimaq), da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e de vários outros órgãos e/ou instituições –, a única maneira de articular uma estratégia desenvolvimentista é a partir de um Plano Nacional concreto que busque, em última instância, coordenar tanto as instituições públicas como o setor privado.

Nesse quesito, segundo Vermulm *et al.* (2018, p. 22), um problema a ser contornado é a fragilidade das instituições nacionais, uma vez que tal fator poderia fazer com que certas decisões não fossem efetivamente implementadas, além de prejudicar o processo de articulação entre o governo e o empresariado. Logo, com o

intuito de garantir uma ampla cooperação entre as diferentes esferas do país (tanto pública como privada/industrial), além de garantir com que essa estratégia usufruísse da legitimidade necessária para que planos e decisões saiam, de fato, do papel, segundo Vermulm *et al.* (2018, p. 24), a partir de uma recomendação de um estudo realizado pela ABDI, o ideal seria definir um Plano Nacional para a Manufatura Avançada de longo prazo (cerca de 10 anos) encabeçado pela Presidência da República “[...] para que sejam evitadas ações e definições de política contraditórias e para que o meio empresarial não questione a autoridade e a legitimidade de seus interlocutores”. No que se refere aos seus objetivos específicos, no entanto, tal Plano Nacional deveria, em tese, estar voltado tanto para ações de inovação como para a difusão de novas tecnologias manufatureiras, além de incentivar que esse processo de difusão ocorresse de maneira gradativa, tendo em vista as limitações da maioria das empresas brasileiras.

Um segundo ponto que deve ser reforçado é o montante a ser investido, tanto pelo setor público quanto pela contraparte privada. De acordo com as experiências internacionais mais bem sucedidas, a fim de se desenvolver e propagar novas tecnologias, bem como fundar e organizar instituições especializadas, é extremamente necessário que tanto o setor público como o setor privado se empenhem em injetar uma quantidade expressiva de capital no desenvolvimento dessas novas técnicas e equipamentos. Infelizmente, tanto o setor público como o setor privado nacional, historicamente, não são reconhecidos por investirem grandes montantes em pesquisa e desenvolvimento. De acordo com De Nedri (2018, p. 23)

O Brasil investe, somando gastos públicos e empresariais, 1,27% do seu Produto Interno Bruto em P&D. Isso é bem menos do que a média dos países da OCDE, onde esse investimento representa 2,38% do PIB.

Isso, por si só, pode prejudicar enormemente a maturação de um Plano Nacional voltado para o desenvolvimento de tecnologias da Indústria 4.0.

De acordo com Pereira, De Oliveira Simonetto (2018), em um documento da ABDI, é recomendado o investimento na criação de uma rede de *testbeds* em território nacional. Em suma, tal estudo indica que esses ambientes de testes auxiliariam empresas e instituições a verificarem a eficiência – a partir de simulações – de novos processos e equipamentos e, posteriormente, implementassem tais novidades às suas cadeias produtivas. Isso, como nos mostram os exemplos alemão e estadunidense, já exigiria vultosos recursos direcionados para a área de pesquisa e desenvolvimento. Todavia, não obstante os esforços para se construir uma rede própria de *testbeds*, ainda seria necessário, de acordo com De Moura Souza, De Castro Vieira (2020), que o governo priorizasse investimentos na capacitação profissional – uma vez que uma das exigências da Indústria 4.0 é a oferta de profissionais com competências técnicas específicas.

Desse modo, os autores recomendam aumentar substancialmente a alocação de recursos voltados para modernização da infraestrutura de cursos técnicos e a melhoria da qualidade da educação superior, graduação, pós-graduação, mestrado e doutorado. Certos autores apontam ainda para a importância do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) nesse processo. Por fim, a principal tarefa do setor empresarial envolveria investir na eficiência dos processos produtivos com o objetivo fundamental de aumentar sua produtividade. Para fins de esclarecimento, segundo a Falvo, Cunha (2018), entre os anos 2000 e 2016, a taxa de crescimento da produtividade do trabalho na indústria brasileira foi de apenas 8,8%. Em contrapartida, no mesmo período, a produtividade do trabalho cresceu 18,6%, 27,7% e 118,4% no

México, Argentina e Coréia do Sul, respectivamente. Ademais, essa falta de investimento por parte do setor privado nacional ainda contribuiu para com o decréscimo nos níveis de inovação apresentados pelo país entre os anos de 2011 e 2018. Segundo De Moura Souza, De Castro Vieira (2020), por exemplo, em 2018, o Brasil amargou o 64º lugar – entre 126 países – no Índice Global de Inovação.

Outro ponto fundamental para o sucesso de um Plano Nacional voltado para ao desenvolvimento de tecnologias da Indústria 4.0 é o alinhamento entre o Brasil e os demais países envolvidos em tais processos. Nesse sentido, a firmação de parcerias com países pioneiros facilitaria tanto o desenvolvimento como a boa utilização das novas tecnologias implementadas na rede manufatureira nacional. Em primeiro lugar, como discorre Arbix *et al.* (2016), a cooperação internacional poderia vir a agilizar a formação da mão de obra especializada necessária tanto para o desenvolvimento quanto para a operação dessas novas tecnologias. Em síntese, os autores acreditam que tais parcerias poderiam vir a revitalizar os institutos tecnológicos e as escolas de engenharia de tal forma que isso auxiliaria a difusão da Manufatura Avançada no Brasil. Em segundo lugar, de acordo com Pereira, De Oliveira Simonetto (2018), um estudo da ABDI identificou a firmação de um acordo bilateral com a Alemanha como sendo uma das cinco principais medidas que o país deveria tomar para sintonizar sua indústria com os processos de Manufatura Avançada.

Segundo esse estudo, caberia ao governo brasileiro buscar auxílio de empresas alemãs com filiais no Brasil, além de firmar parcerias de investimento com o próprio governo alemão para alavancar o processo de absorção de conhecimento, bem como viabilizar a criação de institutos e simuladores (*testbeds*) com base na experiência alemã. Em terceiro lugar, segundo Vermulm *et al.* (2018), ainda há de se atentar para a possibilidade de aquisição de ativos no exterior – assim como fez a China – com o intuito de acelerar o processo de *catching-up* tecnológico enfrentado pelo Brasil. No entanto, segundo tais autores, seria necessária a intervenção do governo federal – seja por meio de incentivos fiscais, disponibilidade de verba para investimentos, diminuição de tarifas alfandegárias etc – para que o país possa, de fato, acompanhar esse processo de internacionalização tendo em vista que o Brasil se situa em uma posição desprivilegiada em relação aos demais países empenhados em aplicar os processos da Indústria 4.0 em seus respectivos tecidos industriais.

Por fim, é indispensável que, para aplicar as mudanças desejáveis no tecido manufatureiro nacional e, com isso, aumentar a competitividade da indústria brasileira, será necessário, além de planejamento e engajamento de todos os setores da sociedade, um robusto e sólido aporte de recursos financeiros. Em outras palavras, a criação de *testbeds*, a qualificação de mão de obra, o desenvolvimento de novos processos e tecnologias, a firmação de parcerias internacionais, dentre outras medidas, necessitarão de uma massiva quantidade de investimentos oriundos tanto do setor público como do setor privado. No entanto, neste ponto, é impossível negar o protagonismo do setor público, uma vez que, como aponta De Negri (2018), a maioria das empresas brasileiras não possuem grande capacidade de investimento em P&D – o que é, inclusive, refletido na baixa taxa de crescimento da produtividade do país.

Conforme escreve Vermulm *et al.* (2018, p. 21-22), a iniciativa Agenda Brasileira Para a Indústria 4.0, elaborada em março de 2018 pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços em conjunto com a ABDI, apontou para algumas medidas a serem tomadas no que tange ao financiamento de um Plano Nacional. Dentre elas, podemos citar: “a redução do spread BNDES de 1,7% ao ano

para 0,9% ao ano”; “concessão, pela Finep, de R\$ 3 bilhões de crédito em três anos com juros TJLP (Taxa de Juros de Longo Prazo) de menos 1,5% ao ano até TJLP mais 6,25% ao ano [...]”; “definição de R\$ 1,1 bilhão de recursos do Banco Amazônia S/A (Basa) para financiamento da Indústria 4.0 na região norte do Brasil”. Ademais, cabe ressaltar que tal iniciativa ainda sugere a redução nas alíquotas de importação, por exemplo, a fim de facilitar que empresas brasileiras adquirissem robôs, máquinas, insumos e demais equipamentos no mercado externo. No entanto, essas propostas de financiamento abordadas pela Agenda Brasileira Para a Indústria 4.0, de acordo com Vermulm (2018, p. 21), “[...] não se diferenciam das linhas tradicionais oferecidas pelas agências de fomento”. Dessa forma, em contraste a isso, segundo Pereira, De Oliveira Simonetto (2018, p. 7), o estudo realizado pela ABDI indica a criação de fomento específicas para iniciativas e projetos ligados à Indústria 4.0 – sem, no entanto, questionar o protagonismo do setor público. Nesse sentido, os autores sugerem “buscar alocação de recursos nas Fundações de Apoio à Pesquisa estaduais e federais, bem como a definição de linhas específicas para a construção de *testbeds* e programas específicos para atender lacunas de financiamento”.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, é bastante claro que o Brasil, em contraste com países como a Alemanha, Estados Unidos e China, possui capacidades muito mais modestas de desenvolvimento de tecnologias e processos relacionados à Manufatura Avançada. Ao contrário desses países, certas questões como a limitada capacidade de investimento em P&D, bem como a limitada capacidade de formação de mão de obra especializada podem, por si só, prejudicar o avanço da Indústria 4.0 no país. No entanto, ao mesmo tempo em que é necessário reconhecer tais gargalos, é de suma importância entender que, como discorre De Moura Souza, De Castro Vieira (2020, p. 5018) “[...] os países que não se adequarem [...], por consequência, não conseguirão se manter competitivos no mercado globalizado”. Portanto, a fim de se evitar que a indústria brasileira se torne ainda mais defasada ante a indústria global, será indispensável coordenar um Plano Nacional com base nas experiências dos países pioneiros com o intuito de aumentar a participação do setor manufatureiro no PIB e elevar substancialmente os níveis de competitividade da indústria brasileira.

REFERÊNCIAS

ARBIX, Glauco et al. O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: o que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. **Novos estudos CEBRAP**, v. 36, n. 3, p. 29-49, 2017. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/nec/a/KvxYTQ5LFS3KZ6NJ8cFTJMq/?format=html>. Acesso em: 23 set. 2022.

BAILY, Martin Neil; BOSWORTH, Barry P. US manufacturing: Understanding its past and its potential future. **Journal of Economic Perspectives**, v. 28, n. 1, p. 3-26, 2014. Disponível em: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.28.1.3>. Acesso em: 25 out. 2022.

FALVO, Josiane Fachini; CUNHA, Julieta Costa. Desempenho do Brasil no Índice Global de Inovação 2011-2018. **Sistema Indústria**, 2018. Disponível em:

<https://acervodigital.sistemaindustria.org.br/handle/uniepro/264>. Acesso em: 28 out. 2022.

DA SILVA, André Pereira et al. Aspectos e Políticas da Indústria 4.0 na Alemanha. **CIPEEX**, v. 2, p. 2088-2096, 2018. Disponível em: <http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/CIPEEX/article/view/2158>. Acesso em: 15 set. 2022.

DAUDT, Gabriel Marino; WILLCOX, Luiz Daniel. Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada. **BNDES Setorial**, n. 44, 2016. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9936>. Acesso em: 22 nov. 2022.

DE MOURA SOUZA, Elaine Maria; DE CASTRO VIEIRA, Jeferson. Desafios da indústria 4.0 no contexto brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 5001-5022, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/6526>. Acesso em: 30 set. 2022.

DE MOURA, Marina Palma et al. A quarta revolução industrial e os desafios para a indústria e para o desenvolvimento brasileiro. 2018. 79 f. **Repositório UFSC**, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/188622>. Acesso em: 29 set. 2020.

DE NEGRI, Fernanda. Novos caminhos para a inovação no Brasil. **Repositório do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8441>. Acesso em: 08 fev. 2023.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: 2016 49th **Hawaii international conference on system sciences (HICSS)**. IEEE, 2016. p. 3928-3937. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7427673>. Acesso em: 10 set. 2022.

OREIRO, José Luis; FEIJÓ, Carmem A. Desindustrialização: conceituação, causas, efeitos e o caso brasileiro. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 30, n. 2, p. 219-232, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rep/a/rLLpcPDRQVXPj5BskzHqLqx/?lang=pt>. Acesso em: 07 set. 2022.

LUCENA, Felipe Andrade; ROSELINO, José Eduardo; DIEGUES, Antonio Carlos. A indústria 4.0: uma análise comparativa entre as experiências da Alemanha, EUA, China, Coréia do Sul e Japão. **Geosul**, v. 35, n. 75, p. 113-138, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/1982-5153.2020v35n75p113>. Acesso em: 14 set. 2022.

NAZARÉ, Tiago Bittencourt et al. Os Desafios Da Indústria 4.0 No Brasil. **Revista Mythos**, v. 10, n. 2, p. 129-137, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.36674/mythos.v10i2.245>. Acesso em: 19 out. 2022.

PEREIRA, Adriano; DE OLIVEIRA SIMONETTO, Eugênio. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018. Disponível em: <http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/4938>. Acesso em: 17 set. 2022.

ROWTHORN, Robert; RAMASWANY, Ramana. Growth, Trade and Deindustrialization. **IMF Staff Papers**, Vol. 46, N.1. 1999. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.2307/3867633>. Acesso em: 07 set. 2022.

SCHROEDER, Wolfgang. Germany's Industry 4.0 strategy: Rhine capitalism in the age of digitalization. **Friedrich Ebert Stiftung**, London, 2016. Disponível em: https://www.uni-kassel.de/fb05/fileadmin/datas/fb05/FG_Politikwissenschaften/PSBRD/FES-London_Schroeder_Germanys_Industrie_4.0_Strategy.pdf. Acesso em: 22 out. 2022.

SILVA, Isaac Ambrosio da; BARBALHO, Sanderson César Macêdo. Modelos de maturidade: do CMM aos modelos para indústria 4.0. **Repositório Institucional da UNB**, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/37046>. Acesso em: 04 set. 2022.

TREGENNA, Fiona. Characterizing deindustrialization: an analysis of changes in manufacturing employment and output internationally. **Cambridge Journal of Economics**, Vol. 33, n. 3, p. 433-466, 2009. Disponível em: <https://academic.oup.com/cje/article/33/3/433/1690329?login=true>. Acesso em: 22 set. 2022.

VERMULM, Roberto et al. Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil. **IEDI**, 2018. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15486>. Acesso em: 20 set. 2021.

WÜBBEKE, Jost et al. Made in China 2025. **Mercator Institute for China Studies – Papers on China**, v. 2, p. 74, 2016. Disponível em: https://kritisches-netzwerk.de/sites/default/files/merics_made_in_china_2025_the_making_of_a_high-tech_superpower_and_consequences_for_industrial_countries_-_76_seiten_1.pdf. Acesso em: 25 set. 2022.