

Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada

Gabriel Daudt
Luiz Daniel Willcox*

Resumo

Os termos “manufatura avançada” ou “indústria 4.0” têm sido muito mencionados pela literatura especializada e estão diretamente ligados ao futuro da manufatura. No bojo dessa discussão, entretanto, pouco se comenta que os países desenvolvidos reforçaram suas apostas na importância da indústria. Argumenta-se que as experiências em manufatura avançada perfazem um conjunto de políticas visando a primazia industrial e tecnológica em um cenário de forte concorrência. À semelhança dos estudos de experiências comparadas, colocam-se em perspectiva as incursões estadunidense e alemã. Com isso, busca-se destacar o desejo de criação de novos mercados e de construção de futuro, bem como ressaltar o caráter não espontâneo do avanço tecnológico. Cotejando as experiências, propõe-se uma breve reflexão sobre o que haveria de novidade nesse movimento. Por fim, assinalam-se sucintamente recomendações preliminares para o Brasil.

* Economistas do Departamento de Bens de Capital, Mobilidade e Defesa, da Área de Indústria de Base do BNDES. As opiniões aqui presentes não refletem, necessariamente, a opinião do BNDES. Os autores agradecem os comentários de Ana Costa, Bruno Plattek e Thiago Miguez, bem como do editor do *BNDES Setorial*, isentando-os de qualquer responsabilidade pelo conteúdo do artigo.

Introdução

Durante as últimas décadas, a atividade manufatureira passou a abarcar um conjunto de processos que envolvem em maior grau as tecnologias de informação. Nesse ambiente, haveria enorme potencial para que toda a sorte de informação gerada fosse utilizada na definição de novos processos produtivos e no aprimoramento dos existentes.

Recentemente, o tema vem sendo bastante abordado, tendo sido debatido, por exemplo, no Fórum Econômico Mundial de 2016, cujo mote foi a “quarta revolução industrial”. No Brasil, esse movimento tem como principal veículo difusor as grandes empresas multinacionais – com destaque para as alemãs, muito presentes no país.

Mundialmente, termos como “manufatura avançada” e “indústria 4.0” são muito empregados, mas nem sempre são feitas as devidas ponderações.¹ Apesar disso, há alta expectativa em torno de determinadas tecnologias potencialmente significativas e que poderiam transformar a indústria manufatureira.

Assim, seria útil dar um passo atrás e fazer uma reflexão crítica a respeito do tema manufatura avançada. Tal exercício de reflexão nos parece natural, já que esse tema encontra-se imbricado aos esforços nacionais de diversos países desenvolvidos para revitalização de suas indústrias e a busca pela liderança tecnológica mundial.

Chama-se a atenção para o fato de que as experiências em manufatura avançada constituem um conjunto de políticas visando a retomada da primazia industrial em um ambiente de acirrada concorrência global. A manufatura avançada pode ser vista como o arcabouço que traduz essa percepção e dá origem a políticas a partir das especificidades e dos problemas de cada país.

Para fins de organização, além desta introdução, este artigo apresenta mais quatro seções. Na segunda seção discute-se a abordagem mais difundida sobre a “quarta revolução industrial” e o futuro da atividade manufatureira para, em seguida, argumentar-se que ela aparenta ser parcial ou incompleta. Adiante, na terceira seção, afirma-se que a questão da manufatura avançada deve ser discutida sob uma perspectiva mais ampla de política industrial.

¹ Deutsche Bank (2014) e Lournal (2014), por exemplo, apontam a falta de clareza de definição e de consenso sobre esse tema – sobre o que se trata, sobre o objeto etc.

Na quarta seção, serão analisados os planos dos Estados Unidos da América (EUA) e da Alemanha para o fortalecimento de sua indústria manufatureira e o desenvolvimento de uma manufatura avançada. Por fim, na última seção, são cotejadas ambas as experiências e proposta uma breve reflexão sobre o que seria novidade nesse movimento recente. Além disso, essa última seção contém algumas indicações iniciais, caso o Brasil venha a ensaiar uma incursão no tema.

O futuro da manufatura e o bazar de tecnologias

Tradicionalmente, a literatura especializada enfatiza que o mundo está diante de uma nova revolução industrial, supostamente em curso e em ritmo mais rápido que as anteriores. Essa revolução se configuraria como uma nova era em que a grande protagonista é a internet contribuindo para a convergência de diversas tecnologias, agora sendo introduzida na indústria e adaptada às máquinas e equipamentos.

Os elementos fundamentais seriam a fusão do mundo virtual e real; a utilização de sistemas ciberfísicos (unidades de produção com representação virtual, permitindo maiores níveis de automação); e a flexibilidade da cadeia produtiva com informação disponível em tempo real para fornecedores e clientes.²

Uma implicação relevante seria que, à medida que a base digital é incorporada ao chão de fábrica, torna-se possível que a produção se dê de forma mais individualizada e flexível e também menos intensiva em trabalho (com utilização de novos materiais e de novos processos e com o uso mais disseminado de robôs). Assim, a manufatura deixa de ser de massa e torna-se mais customizada. Costuma-se, ainda, exaltar os benefícios quanto ao emprego e à produtividade, na medida em que as novas técnicas produtivas serão mais automatizadas e irão requerer trabalhadores mais qualificados.³

Essa interpretação insere-se na discussão mais ampla sobre o futuro da atividade manufatureira. Podem ser apontados como trabalhos repre-

² Ver Schwab (2016). Ademais, a revista britânica *The Economist* tornou-se referência ao produzir uma matéria especial sobre a nova revolução e algumas de suas implicações (THE ECONOMIST, 2012).

³ Essa visão prevalece, muito embora haja uma longa controvérsia na literatura econômica sobre a relação entre tecnologia e emprego. Recentemente, Frey e Osborne (2013) apontaram um alto potencial de geração de desemprego.

sentativos o relatório publicado em 2012 pela McKinsey (MGI, 2012), denominado *Manufacturing the future: the next era of global growth and innovation*, e o artigo de 2015 da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2015), intitulado *Enabling the next production revolution: issues paper*. Ambos procuram situar o processo de transformação da atividade manufatureira em um contexto de mudanças na economia global, destacando os condicionantes impostos pelas mudanças em curso e suas implicações para as economias avançadas, bem como suas consequências para a atividade manufatureira.

MGI (2012, p. 9) anuncia a chegada de “*an exciting new era of global manufacturing (...) – driven by shifts in demand and by innovations in materials, processes, information technology and operations*”. De forma um pouco mais cautelosa, OECD (2015) aponta a mesma direção:

*There is a **growing debate** that the world is on the brink of similar industrial revolution(s) and a reshuffling of production will take place in the next 10 to 15 years. It is argued that a number of cutting-edge technologies like nanotechnology, biotechnology, ICT, etc. will provide (partial) solutions for the challenges created by global megatrends in demographics, globalisation and sustainability (OECD, 2015, p. 10, grifos nossos).*

Ainda que esse processo traga oportunidades para empresas e países, isso se dará em um ambiente de transformações. Há algumas notadamente relevantes que, segundo MGI (2012), seriam estruturais:

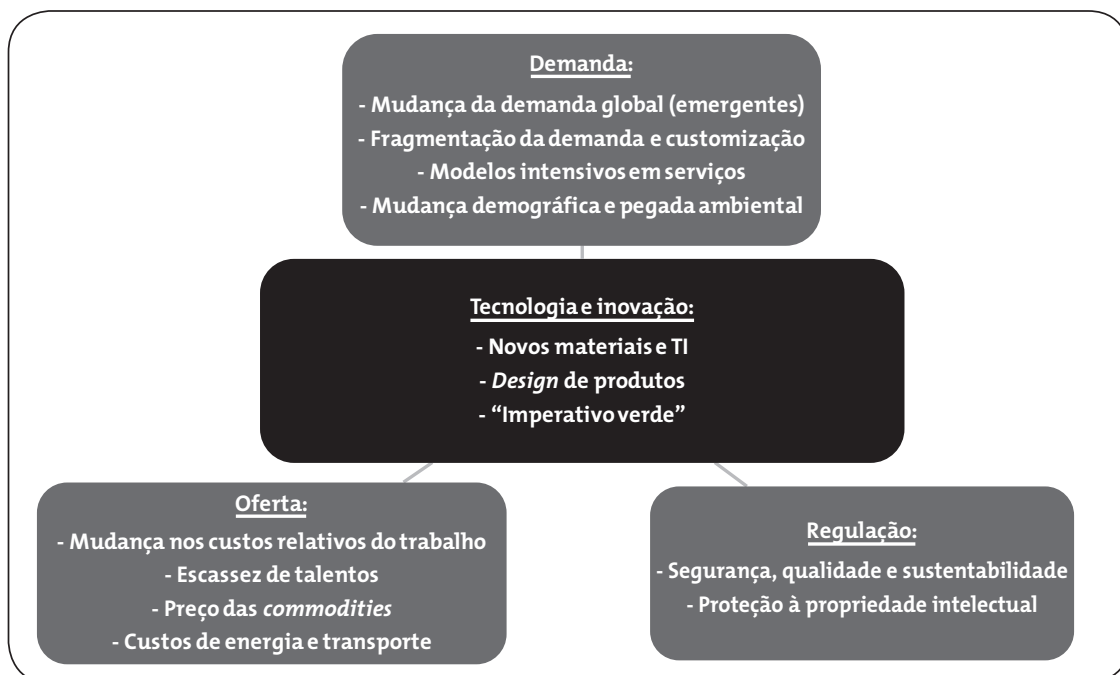
- i. maior orientação da demanda para os países em desenvolvimento em razão, principalmente, da aceleração do crescimento destes;
- ii. proliferação de produtos para atender à fragmentada demanda dos consumidores;
- iii. aumento da importância dos serviços de alto valor agregado;
- iv. maior pressão sobre a oferta de recursos naturais, que poderá se estender para diversas regiões do mundo; e
- v. cadeias produtivas e processos mais eficientes e sustentáveis.

A mudança nos padrões e a fragmentação na demanda são relevantes, pois se presume que os novos mercados trazem consumidores que exigem produtos bastante diferentes para satisfazer suas preferências, o que força os produtores a oferecer uma variedade maior de produtos. Ao mesmo tempo, em mercados estabelecidos também há demanda por maior variedade de produtos com ciclos mais rápidos, reforçando a tendência à fragmentação.

Ademais, há uma tendência para a agregação de serviços aos produtos. As empresas passariam a produzir um “pacote” em que o serviço está presente de forma indissociável do produto. Há avanços especialmente em tecnologias da informação e comunicação (TIC), materiais avançados e robótica, que permitirão produção em escala variável e maior eficiência no uso de insumos e recursos. Segundo MGI (2012), essa tendência modificará as bases pelas quais as empresas buscarão novos mercados e expandirão sua produção e suas atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Dado o caráter normativo do referido relatório, há uma série de recomendações tanto para as estratégias a serem adotadas pelas empresas manufatureiras quanto para as políticas públicas a serem seguidas. O conjunto de elementos trazidos por MGI (2012) pode ser representado esquematicamente pela Figura 1.

Figura 1 | Diversos fatores que influenciam o futuro da manufatura



Fonte: Adaptado de MGI (2012).

Esses elementos modificarão a forma de organização da atividade manufatureira e os avanços tecnológicos serão fundamentais. De acordo com MGI (2012, p. 84):

Advances in lightweight materials, additive manufacturing,⁴ frugal innovation, and the so-called circular economy (i.e., recovering and recycling materials used in finished products) will change how manufacturers use metals and other materials and raise resource productivity and efficiency. Finally, innovation is enabling information-driven intelligence in both products and processes. Big data, advanced analytics, social technologies, and use of intelligent devices to monitor production machinery, supply chains and products in use (also known as the “Internet of Things”) are bringing intelligence to how products are designed, built and used.

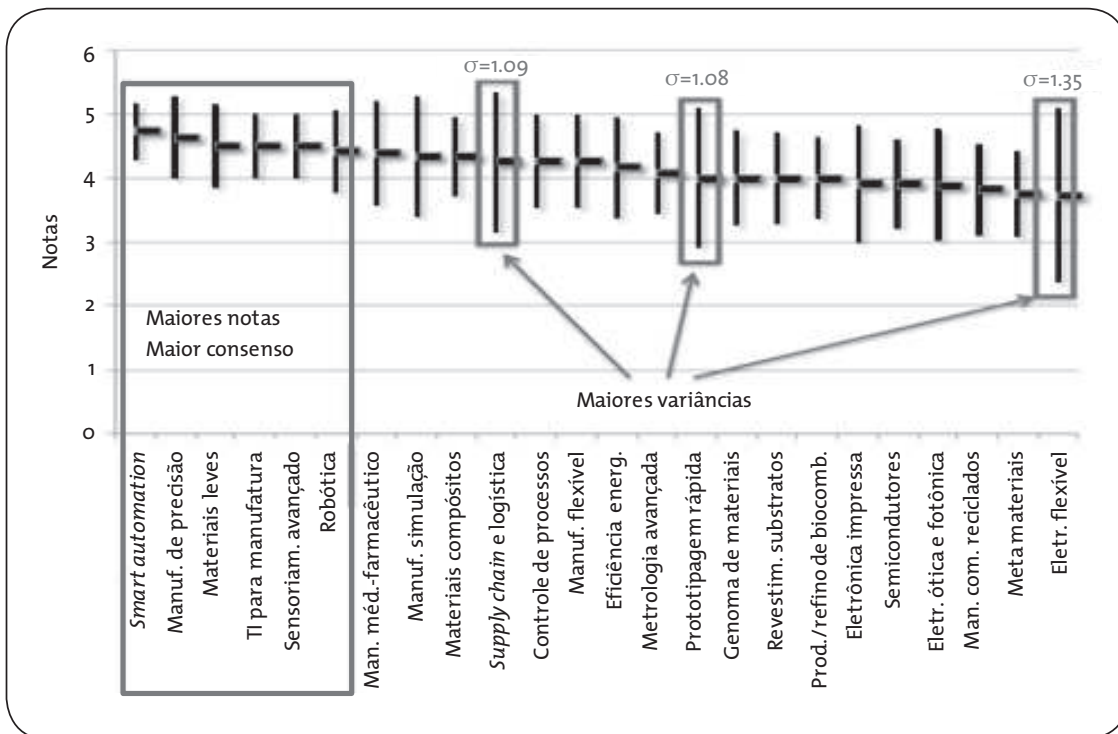
Shipp *et al.* (2012) e De Weck *et al.* (2013) são alguns dos autores que procuram elencar quais as áreas tecnológicas mais promissoras relacionadas à manufatura avançada, bem como identificar as tecnologias que poderiam ser consideradas estratégicas (doravante denominadas de tecnologias habilitadoras). A hierarquia dessas tecnologias de acordo com De Weck *et al.* (2013) pode ser visualizada no Gráfico 1.⁵

O fato é que todas as tecnologias indicadas “*have been around for a while*” (OECD, 2015, p. 10), mas só recentemente foi observada sua aplicação mais ampla. A competitividade das empresas e das economias e sua inserção produtiva no futuro dependeriam de forma crescente da aplicação das tecnologias avançadas de produto e processo.

⁴ Nota dos autores: A manufatura aditiva (bastante conhecida pelas impressoras 3D) engloba uma variedade de técnicas de produção visando à fabricação pela adição de materiais camada a camada, diferente do tradicional processo por subtração de materiais. Ela produz materiais a partir de modelos digitais, dispensando o uso de moldes e permitindo a fabricação de produtos com geometrias complexas. Sua utilização também reduz perdas e desperdícios de materiais. Parece haver potencial para alterar a forma como os produtos são projetados, tornando possível uma “customização em massa”.

⁵ Os autores procuram investigar quais tecnologias poderiam ser consideradas mais promissoras levando em conta um horizonte de dez a 15 anos. Eles entrevistaram uma série de pesquisadores, que hierarquizaram as 24 tecnologias levantadas. A maioria delas procura prover aumentos de eficiência e redução de trabalho manual. Outras áreas listadas como relevantes foram o desenvolvimento de novos materiais mais leves e o de sensores avançados.

Gráfico 1 | Ranking de áreas tecnológicas



Fonte: Adaptado de De Weck *et al.* (2013).

Nota: Foram conferidas notas que variavam de um a cinco (sendo cinco a mais promissora). A barra horizontal mostra a nota média recebida; a barra vertical mostra +/- 1 desvio-padrão (σ) em relação à média. As seis tecnologias mais à esquerda no gráfico possuem nota média acima de 4,4 e, em geral, menor desvio-padrão.

Do ponto de vista microeconômico, as empresas terão de implementar novos modelos de negócio para aproveitar as inúmeras oportunidades que podem ser oferecidas pelas novas tecnologias. As empresas estariam aptas a responder de forma rápida às demandas dos consumidores e às condições de oferta de insumos. Isso seria possível porque a produção digital permitiria uma organização mais flexível da produção e porque os ciclos de *design* de produtos se reduziriam.⁶

A tônica trazida por diversos autores, como Schwab (2016), é que está em curso uma grande onda de avanço tecnológico e de transformações sistêmicas

⁶ A título de exemplo, normalmente faz-se alusão ao uso de impressoras 3D em segmentos da economia. Ao utilizar essas impressoras, as empresas poderão fabricar produtos rapidamente a partir de uma diversidade de materiais – variando de titânio à cartilagem – e de especificações detalhadas, mas que podem ser mais facilmente alteradas. Dessa forma, por exemplo, um protótipo poderia ser rapidamente produzido e entregue ao cliente, que poderá dar seu *feedback* ao fabricante, que por sua vez alterará as especificações do protótipo e o “imprimirá” novamente para o cliente. Ver Cohen, Sargeant e Somers (2014).

profundas.⁷ Tratar-se-ia de uma onda inexorável e impactante de geração de emprego, valor da produção, alteração de processos etc.

A apresentação convencional, tal qual a de MGI (2012), identifica, corretamente, a presença de uma série de tendências globais e tem o mérito de reafirmar a importância da indústria para o desenvolvimento de longo prazo. Contudo, parece equivocada, entre outras coisas, ao interpretar a forma pela qual as nações se posicionam e absorvem o progresso tecnológico. A visão subjacente parte da ideia de que o avanço tecnológico ocorre exogenamente, como se houvesse um “bazar” – na expressão utilizada por Sinn (2006) para descrever o posicionamento da indústria alemã dentro da Europa – de tecnologias disponíveis e que bastaria que as firmas optassem pela forma de incorporá-las a seus processos produtivos.

Neste artigo, defende-se a ideia de que o progresso tecnológico se incorpora a produtos e processos específicos e/ou para resolver desafios específicos. Deve-se ter clareza de que o processo de incorporação está longe de ser algo espontâneo; são estimulados por políticas que conjugam demanda efetiva com instrumentos de apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico.

É preciso atentar para o fato de que as experiências existentes de programas em manufatura avançada têm origem em países desenvolvidos e configuram-se como estratégias que ganharam força a partir de 2010-2011. Essas estratégias ainda não foram plenamente implantadas ou tiveram seus efeitos sentidos e abarcam áreas a serem desenvolvidas em um prazo de pelo menos 15 a vinte anos.

Nas próximas seções serão abordadas as duas principais iniciativas internacionais em curso para implementação da manufatura avançada, quais sejam: a dos EUA e a da Alemanha. O assunto vem sendo discutido em profundidade, levando ao redesenho das estratégias de políticas públicas para a indústria desses países. Antes de tudo, é importante entender as razões conceituais que levaram países centrais a redescobrir a importância da atividade manufatureira e da adoção explícita de políticas industriais e tecnológicas.

⁷ A teoria mais geral subjacente às abordagens convencionais pode ser relacionada à *new growth theory* presente, por exemplo, em Tassej (2005).

Precisamos falar sobre política industrial

Há algum tempo que o interesse pelo tema “política industrial” voltou a ter importância, especialmente após a crise de 2008. Esse movimento reflete as mudanças na natureza global da produção manufatureira. De acordo com O’Sullivan *et al.* (2013), tais mudanças incluem a diminuição da parcela da atividade manufatureira dos países da OCDE, o aumento da concorrência das economias emergentes (principalmente asiáticas), a crescente complexidade e importância das chamadas cadeias globais de valor e o acelerado ritmo de mudança tecnológica.⁸

Obviamente, cada país tem suas idiossincrasias e passa por uma experiência particular, mas uma dinâmica essencial que molda o atual contexto em que se dão as políticas industriais é a crescente fragmentação da produção.⁹ Em que pese esse cenário, a preocupação geral para com a indústria manufatureira não é nova; historicamente, várias foram as tentativas de desenvolvimento industrial, dada sua centralidade para o desenvolvimento de longo prazo.

Não são poucos os analistas que advogam que o mundo – em particular, as economias desenvolvidas – entrou em uma fase pós-industrial e que seria mais vantajoso vender serviços e se tornar uma economia do conhecimento em vez de fabricar “coisas”.¹⁰ Embora a transição para uma economia de serviços seja atraente, a completa substituição não parece possível. Entretanto, a perda de tecido industrial nos países desenvolvidos tem sido acompanhada de questionamentos à visão sobre economias orientadas por serviços.

(...) [A]s fontes mais importantes da demanda desses serviços de alta produtividade são as empresas de manufatura. Então, sem um setor de manufatura forte, é impossível desenvolver serviços de alta produtividade. Esse é o motivo de nenhum país ter se tornado rico apenas apoiado em seu setor de serviços (CHANG, 2009, p. 209).

Tradicionalmente, os argumentos que costumam ser apresentados a respeito do setor manufatureiro destacam a sua importância para o crescimento

⁸ Apesar de os tópicos levantados serem semelhantes aos de MGI (2012), a visão subjacente não é a mesma.

⁹ Ver, entre outros, Baldwin (2013) e Milberg e Winkler (2013).

¹⁰ Tome-se como exemplo a afirmação de Larry Summers, principal conselheiro econômico do presidente dos EUA em 2009-2010: “*America’s role is to feed a global economy that’s increasingly based on knowledge and services rather than on making stuff*” (GERTNER, 2011).

econômico, para o crescimento da produtividade e também do emprego na manufatura.¹¹ O setor manufatureiro é visto como a principal fonte de ganhos de produtividade do sistema.

Muitos economistas, como Rosenberg (1963), sustentam que o setor manufatureiro, em especial o segmento de bens de capital, tem sido um *learning centre* ou um grande difusor de inovações em termos tecnológicos. Além disso, como ressaltado na literatura, o setor manufatureiro impulsiona a demanda por atividades de alta produtividade em outros setores além do industrial. Ainda, a indústria tem uma relevância adicional, na medida em que o setor é importante para a evolução do saldo comercial do país e contribui para aliviar possíveis restrições externas, seja gerando exportações, seja diminuindo importações potenciais.

Baily e Bosworth (2014) argumentam que a existência de um forte setor manufatureiro doméstico confere proteção ao país relativamente às possíveis rupturas políticas e à segurança nacional.¹²

O que em geral não costuma ser enfatizado é que existem sinergias que são potencializadas pela proximidade entre atividades de “chão de fábrica” e outras ditas mais nobres, como as de engenharia. Contrastado com a realidade atual em que diversas firmas fizeram o *offshoring* de suas atividades de fabricação, alguns autores concluem que esse novo ambiente fragiliza a situação do país. De acordo com Pisano e Shih (2009, p. 115):

In making their decisions to outsource, executives were heeding the advice du jour of business gurus and Wall Street: Focus on your core competences, off-load your low-value-added activities, and redeploy the savings to innovation, the true source of your competitive advantage.

No entanto, a separação de determinadas atividades acaba minando a própria capacidade inovativa do país. O processo de desenvolvimento tecnológico e de inovação está fortemente associado ao processo de produção, e a proximidade das equipes de desenvolvimento em relação ao “chão de fábrica” é extremamente importante para o processo inovativo.

¹¹ Isso costuma ser sumarizado nas chamadas três leis de Kaldor – ver, por exemplo, Kaldor (1981).

¹² Segundo os autores: “*Overreliance on imports and substantial manufacturing trade deficits increase Americans’ vulnerability to everything from exchange rate fluctuations to trade embargoes to supply disruptions from natural disasters*” (BAILY; BOSWORTH, 2014, p. 19).

Esses autores denominam essas capacitações coletivas de *industrial commons*, o que pode incluir o *know-how* relacionado a P&D, engenharia e competências relacionadas às tecnologias específicas.¹³ É possível que isso esteja de certa forma incorporado a um grande número de empresas, universidades e outras instituições.¹⁴

Tal constatação vem sendo discutida em profundidade nas economias avançadas, e as estratégias das políticas públicas para a indústria vêm sendo redesenhadas a partir desse contexto, sob denominações como manufatura avançada, manufatura digital, entre outras. Como mencionado por Andreoni e Gregory (2013, p. 35): “*The crisis situation has led many analysts to ask: ‘Has off-shoring gone too far?’ and, more importantly, ‘Does manufacturing still matter for the wealth of advanced nations?’*”.

As duas principais experiências internacionais

É importante investigar e compreender as políticas dos países líderes no tema, que têm preocupações quanto à recuperação e transformação de suas estruturas manufatureiras. As experiências ora analisadas tiveram origem na vontade de implantar um conjunto de políticas que devolvessem a esses países a liderança industrial. Uma análise a partir dessa perspectiva é interessante, pois explicita que os diversos desenvolvimentos tecnológicos não consistem em tendências “exógenas”. Pelo contrário, eles se beneficiam, entre outras coisas, de programas específicos, elaborados por países avançados que buscam meios de estimular o desenvolvimento industrial, principalmente por causa da perda de participação de suas indústrias no valor adicionado industrial global.

A manufatura avançada dos EUA

Um breve contexto geral e os commons

Desde os tempos de Alexander Hamilton – e sua proposição acerca da indústria nascente –, o governo estadunidense tem papel substancial na política industrial, comercial e tecnológica. Os EUA sempre utilizaram um

¹³ Por exemplo, certos materiais avançados são *commons* para uma diversidade de indústrias, como a aeroespacial e a de dispositivos médicos; a biotecnologia é um *common* para medicamentos, mas também para a agricultura.

¹⁴ Para aprofundamentos no tema, ver Pisano e Shih (2012).

amplo espectro de políticas, sendo especialmente reconhecidos por seu apoio ao complexo industrial de defesa.

Ao longo da história estadunidense foi desenvolvida uma infraestrutura institucional que estimula o desenvolvimento de inovações tecnológicas, conjugando o estímulo à P&D com diversas outras medidas, inclusive políticas comerciais, exigência de conteúdo local e compras públicas.¹⁵

O sistema de inovação estadunidense é muitas vezes apontado como um dos principais responsáveis pela força industrial do país. Esse sistema foi tradicionalmente articulado em torno de uma ampla rede de universidades de pesquisa e laboratórios nacionais, bem como agências públicas e departamentos como os de defesa, saúde, energia, agricultura, entre outros.

Entretanto, nas décadas mais recentes, a manufatura como parcela do produto interno bruto (PIB) e do emprego vem declinando nos segmentos tanto de baixa quanto de alta intensidade tecnológica.¹⁶ A queda do emprego não está relacionada apenas à produção; também existem preocupações de que os EUA estejam perdendo a liderança no emprego relacionado a P&D.

Recentemente, um conjunto de artigos acadêmicos e documentos oficiais de governo foram produzidos a respeito da preocupação estadunidense com as implicações da perda de tecido industrial. Muitos deles sugerem que a liderança histórica dos EUA na manufatura encontra-se ameaçada e que um reflexo desse movimento pode ser visto na balança comercial do país.¹⁷ A balança comercial de bens manufaturados de alta tecnologia encontra-se deficitária, tendo saído de um superávit histórico nos anos 1990 e chegado a um déficit na casa dos US\$ 100 bilhões em 2011. Em 2003, os EUA per-

¹⁵ Segundo Andreoni (2016), parte do sucesso de hoje se deve a uma sequência de apoios ao longo dos diversos ciclos de transformação da economia estadunidense. Além das políticas de compras dos diversos departamentos federais, programas como o Small Business Investment Company (SBIC) e o Small Business Innovation Research and Technology Transfer (SBIR) vêm sendo mantidos há décadas e combinam empréstimos, *grants*, garantias de compras públicas com o produto em estágio pré-comercial, etc., visando apoiar empresas de pequeno porte e OEMs e suportar o *scale-up* de sistemas ou componentes. Isso ocorre a despeito do orçamento instável, da relativa falta de coordenação entre diferentes atores e políticas e dos seguidos cortes de orçamento em diversos programas pelo Congresso americano.

¹⁶ De forma ilustrativa, a manufatura declinou de aproximadamente 25% do PIB em 1960 para 12% em 2010. Medido em relação ao emprego, a parcela da manufatura no PIB passou de aproximadamente 25% do PIB em 1960 para menos de 10% no ano de 2010. Ademais, a queda do número absoluto de empregos é algo sem precedentes (ver BAILY; BOSWORTH, 2014).

¹⁷ Vale notar que a manutenção de déficits permanentes não se configura como um problema macroeconômico para os EUA. Como esse país detém a moeda mundial, ele tem a capacidade de financiar seus déficits em sua própria moeda (ver, por exemplo, SERRANO, 2008).

deram o posto de maior exportador mundial para a Alemanha e, a partir de 2009, a China superou ambos em valor exportado (PCAST, 2011).

Além disso, os EUA vêm perdendo para o exterior atividades de P&D ligadas de alguma forma à manufatura. Há anos que os gastos das firmas estadunidenses com P&D feitos fora dos EUA cresceram a uma taxa três vezes superior aos gastos domésticos.¹⁸

Nesse sentido, tratando do contexto dos EUA, Pisano e Shih (2009) chamam a atenção para o fato de que, além das tarefas de menor valor agregado, como alguns processos mais simples de montagem, atividades mais relevantes também foram transferidas para outros países. Como resultado, os EUA estão enfrentando uma perda de conhecimento acumulado e de tarefas que requerem mão de obra qualificada, necessários para produzir diversos produtos de ponta criados pelo país.¹⁹

O *offshoring* não apenas causa danos às próprias firmas que o fizeram, mas também prejudica as capacitações das demais firmas, como os fornecedores de materiais, ferramentas, componentes etc. É importante estar geograficamente próximo dos *commons*, na medida em que eles são uma fonte de vantagens competitivas.

Ao que parece, esse processo está em curso nos setores de alta tecnologia dos EUA. De acordo com Tasseey (2010), exemplos podem ser encontrados na indústria de computadores pessoais, semicondutores, *displays* eletrônicos e outros. Como destacado em PCAST (2011, p. 11-12):

Proximity is important in fostering innovation. When different aspects of manufacturing – from R&D to production to customer delivery – are located in the same region, they breed efficiencies in knowledge transfer that allow new technologies to develop and businesses to innovate. Historically, the co-location of manufacturing and product design has been vital. Close, rapid feedback between design and production allows ideas and prototypes to be quickly tested and scaled up, and

¹⁸ Entre os anos de 1999 e 2007, os gastos com P&D realizados fora dos EUA por empresas manufatureiras americanas cresceram 191%, enquanto domesticamente a taxa de crescimento foi de 67% (ver TASSEY, 2010).

¹⁹ Exemplo disso é a indústria de *software*: inicialmente, muitas empresas enviaram para a Índia apenas as tarefas mais simples (como escrever determinados códigos básicos), com o objetivo de reduzir os custos de desenvolvimento de *software*. Mas, com o tempo, empresas indianas desenvolveram capacitações relacionadas à engenharia de *software* e, hoje, já podem dar conta de tarefas muito mais complexas.

allows production needs and processes to inform design. Innovation is also aided by interaction between engineers and people working in fabrication. This is because much of the knowledge underlying emerging technologies is tacit, scholars point out, requiring person-to-person contact for efficient information transfer.

Ademais, Pisano e Shih (2009) desconstruem a visão de que a migração de certas atividades para fora de países desenvolvidos é apenas parte de um processo natural e que permite que os recursos sejam realocados para outras atividades de maior valor agregado. O perigo reside em extremar o argumento e ignorar o fato de que, por vezes, produtos modernos dependem dos *commons* de uma indústria já madura. Nesse caso, considere-se a migração das *foundries* de semicondutores para a Ásia, que causou um declínio nas capacidades relacionadas ao processamento de silício e à deposição de filme fino, reduzindo fortemente a capacidade dos EUA de liderar essa rota tecnológica e afetando sua pretensão de se tornar um grande *player* de painéis solares.

A separação entre a manufatura e P&D deve ser vista como algo complexo, e a fronteira entre essas atividades é nebulosa. Esse afastamento pode impactar negativamente as interações importantes para alimentar o processo de inovação. Nem sempre é possível uma empresa projetar um novo produto e simplesmente entregá-lo à outra para que o manufature; muitas inovações fazem parte do próprio processo manufatureiro. Conforme Shih (2014, p. 62):

Reestablishing close links between R&D and production offers a significant opportunity to improve products. 'Having the work in-house is important for our learning. (...) incremental innovations most often come when teams 'get their hands dirty in the production environment'.

A abordagem proposta pelos EUA

Os EUA foram o *first mover* em uma série de tecnologias, mas perderam participação em vários segmentos importantes. Tendo isso em conta, o desejo é desenvolver novas tecnologias habilitadoras e, a partir disso, se reposicionar como potência industrial. Nesse contexto, alguns documentos propõem ações que se coadunam com o que foi dito anteriormente e colocam ênfase nas sinergias existentes entre as diferentes atividades.

Com efeito, essa conexão vem sendo tratada como questão central. Como identificado em carta ao presidente Obama, que consta na abertura

de President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST, 2011), “(...) *it is increasingly apparent that technology innovation is closely tied to manufacturing knowledge. We cannot remain the world's engine of innovation without manufacturing activity*”.

Para garantir que os EUA sejam mais atrativos à atividade manufatureira e se mantenham liderando a produção de conhecimento, o documento recomenda a criação de um ambiente “fértil” para a inovação. Como parte crucial dessa estratégia, há uma iniciativa que envolve primordialmente o apoio às pesquisas relacionadas às novas tecnologias habilitadoras, pré-competitivas e de aplicação geral.

A recomendação-chave do PCAST (2011)²⁰ é que o governo federal lance a Advanced Manufacturing Initiative, que combinaria diversas instituições, com destaque para os departamentos de Comércio, Defesa e Energia.

Dessa forma, como condição para viabilizar a ascensão da manufatura avançada, entende-se que são necessários vultosos investimentos (feitos diretamente pelo governo ou via parcerias público-privadas) que garantam que novas tecnologias sejam desenvolvidas nos EUA e que criem uma infraestrutura de apoio às empresas intensivas em tecnologia.²¹ Tais investimentos envolvem um forte apoio a programas de pesquisa aplicada cujos impactos sejam potencialmente transformadores – essas novas tecnologias seriam a base de novas indústrias. Tal esforço seria complementado por iniciativas paralelas da academia e da indústria.

Ademais, considera-se importante investir no compartilhamento das tecnologias e também de infraestrutura, uma vez que isso auxiliaria uma série de empresas. A infraestrutura compartilhada poderia ser utilizada de forma transversal, em especial por empresas de menor porte. Isso porque é razoável supor que empresas menores não investirão, individualmente, em toda a infraestrutura necessária para viabilizar a manufatura avançada.²²

²⁰ Outros documentos importantes sobre o assunto são NSTC (2012) e PCAST (2012; 2014).

²¹ A despeito de o termo “ambiente de negócios” ser algo genérico, PCAST (2011) entende que serão necessários incentivos tributários para atrair as firmas que investem em inovação. Outra ação que pode ser encaixada nesse quesito seria a melhoria na qualidade da força de trabalho, via mais educação e treinamento da mão de obra. Há um relativo consenso de que garantir uma oferta adequada de trabalhadores altamente qualificados é essencial.

²² Com relação às empresas menores, vale lembrar que os EUA já dispõem de outros programas, por exemplo, o SBIR.

A referida recomendação desencadeou a destinação inicial de US\$ 1 bilhão para a criação da National Network for Manufacturing Innovation (NNMI), uma rede – inspirada no Fraunhofer²³ – formada por institutos de pesquisa regionais chamados de Innovative Manufacturing Institutes (IMI) e que se propõe a acelerar o desenvolvimento e a adoção de tecnologias de manufatura avançada. Todos têm objetivos comuns, como a responsabilidade 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. Questões como essas acabam por reduzir o custo e o alto risco de desenvolvimento e comercialização de novas tecnologias.

Apesar dos objetivos comuns, cada instituto deve ter um foco específico (como manufatura aditiva, semicondutores ou materiais compósitos), sob a ideia básica de que funcionem como um *hub* regional de inovação. Cada instituto seria operado por meio de parcerias público-privadas entre diversos atores (governo, academia e indústria), com o intuito de alavancar os recursos existentes com investimentos de todas as partes envolvidas. Além da presença de diversas universidades, cabe destacar a participação conjunta de uma grande quantidade de empresas relevantes (como a General Electric, Lockheed Martin, Boeing, Airbus, Raytheon, IBM, Honeywell, Alcoa, Ford, John Deere, Toshiba, ABB, DuPont). A maioria delas é de capital estadunidense, tem forte inserção global e comanda ou faz parte de robustas cadeias produtivas.

No ano de 2012, os EUA propuseram a criação de 15 IMIs e, no ano seguinte, recomendaram que esse número fosse triplicado. Assim, em um total planejado de 45 institutos para o período de dez anos, foi criado um instituto-piloto ainda em 2012.²⁴

²³ A associação alemã Fraunhofer é bastante conhecida mundialmente. É formada por diversos institutos de pesquisa que estão presentes em diversas cidades alemãs. Esses institutos são amplamente – mas não apenas – financiados por recursos públicos (seja via orçamento anual, seja via projetos contratados) e têm reconhecida excelência em P&D.

²⁴ Vale lembrar que mesmo o maior pacote de estímulo do governo à economia também envolveu apoio a tecnologias importantes. O American Recovery and Reinvestment Act de 2009 permitiu um estímulo de US\$ 787 bilhões e também o resgate de grandes empresas. Mas, essa mesma medida contemplava incentivos a iniciativas que abarcassem tecnologias limpas, projetos de redes elétricas inteligentes, desenvolvimento de baterias elétricas etc.

Esse IMI-piloto é denominado National Additive Manufacturing Innovation Institute (Nami) e, como o próprio nome diz, está voltado para a manufatura aditiva. Para possibilitar a criação desse instituto, cinco agências do governo foram reunidas e se comprometeram a investir os recursos necessários. Conjuntamente, os departamentos de Defesa, Energia e Comércio, bem como a National Aeronautics and Space Administration (Nasa) e a National Science Foundation, contribuíram inicialmente com US\$ 30 milhões. Além disso, foi selecionado um consórcio para estabelecer o instituto, e este contribuiu com cerca de US\$ 40 milhões.

O Nami foi criado para ser um centro de excelência nesse campo e fornece a infraestrutura necessária para apoiar o desenvolvimento de tecnologias e produtos relacionados à manufatura aditiva e a áreas como bio e nanomanufatura; materiais avançados e robótica. Esse piloto propõe-se a fazer uma ponte entre a pesquisa básica e o desenvolvimento do produto e para isso fornece uma estrutura que pode ser compartilhada por diversas empresas, bem como acesso a equipamentos de ponta e treinamento para qualificação da mão de obra.

Após o estabelecimento dos primeiros sete IMIs,²⁵ o governo federal investiu mais de US\$ 500 milhões e obteve mais de US\$ 1 bilhão em apoio de empresas, academia e governos locais.²⁶

Fugiria do escopo deste artigo alongar-se sobre cada um dos institutos, porém vale reforçar alguns pontos comuns a todos: abordam o desenvolvimento estratégico de tecnologias habilitadoras e/ou novos materiais; têm alguns departamentos federais como parceiros importantes (juntamente com empresas estadunidenses); contribuem para a redução futura nos custos de aquisição dos materiais/tecnologias e também do consumo energético, entre outros.

²⁵ Os demais IMIs existentes são: PowerAmerica; Institute for Advanced Composites Manufacturing Innovation; Digital Manufacturing and Design Innovation Institute; Lightweight Innovations for Tomorrow; American Institute for Manufacturing Integrated Photonics; e Flexible Hybrid Electronics Manufacturing Innovation Institute (ver <<http://www.manufacturing.gov/>>). Além da implementação dos institutos, existem outras iniciativas estreitamente relacionadas com a NNMI, entre as quais: Advanced Manufacturing Technology Consortia (AMTech); The Alliance for Manufacturing Foresight (MForesight); Investing in Manufacturing Communities Partnership (IMCP); Materials Genome Initiative (MGI); National Nanotechnology Initiative (NNI); e National Robotics Initiative (NRI) (ver <<https://www.manufacturing.gov/federal-initiatives/>>).

²⁶ Disponível em: <<https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/08/28/fact-sheet-obama-administration-announces-new-flexible-hybrid/>>.

Conclusão

Tendo percorrido os tópicos das seções anteriores, reveem-se alguns aspectos mais gerais que devem ser abordados e que serão relevantes para comparar os EUA com a Alemanha e buscar elementos capazes de gerar recomendações preliminares para o Brasil.

Desde já, vale registrar que a forma de atuação dos EUA e os documentos oficiais analisados atribuem um papel explícito ao governo federal no que se refere a impulsionar o desenvolvimento da manufatura avançada no país. Em especial, os departamentos de Defesa, Energia e Saúde atuam em conjunto com os IMIs para prover a demanda efetiva necessária para viabilizá-la.

Claramente, o Departamento de Defesa (DOD) tem um papel predominante e cada vez maior. Atualmente, ele responde por metade dos gastos federais em P&D e opera por meio de programas e agências importantes – como ManTech e Defense Advanced Research Projects Agency (Darpa). No caso dos EUA, a preocupação com a segurança nacional permeia diversas iniciativas, sendo a de manufatura avançada uma delas. A visão é de que, tendo em vista suas implicações únicas, a Darpa e o DOD são fundamentais para o sucesso da Advanced Manufacturing Initiative.²⁷ Assim, o governo federal atua como um propulsor de novas tecnologias.

Historically, Federal technology investment – supporting basic research, funding proof of concept and promoting early commercialization through procurement – has been crucial to the creation of many technologies that have created new industries in the United States. Such investments, commonly supported by the Department of Defense, Department of Energy, National Institutes of Health, NASA, and National Science Foundation, have helped spawn entire industries, hundreds of U.S. companies and millions of high-quality jobs for Americans for decades (PCAST, 2011, p. 17).

²⁷ Não chega a ser lugar-comum, mas hoje em dia é bastante conhecido o fato de que a internet e a indústria de semicondutores são fruto de uma longa atuação da Darpa e da National Science Foundation (NSF), que não se limitaram a apoiar apenas etapas iniciais como a de ciência básica. Outros casos igualmente conhecidos e importantes são os de apoio (parcial) ao Bell Labs, à Xerox ou às várias tecnologias presentes no iPhone.

Sob esse prisma encaixa-se a proposta de aumento do *funding* dos departamentos e agências²⁸ com o intuito de apoiar e desenvolver aquelas soluções que vão ao encontro dos desafios transversais e aos problemas específicos impostos pela Advanced Manufacturing Initiative.

Outras ações complementares são os incentivos ao P&D privado e demais incentivos financeiros, bem como o apoio à educação (principalmente nos temas relacionados a ciência, tecnologia, engenharia e matemática) e ao treinamento de mão de obra qualificada.

Ademais, é importante notar que a capacidade de os EUA conseguirem trilhar esse caminho é potencializada pelo aproveitamento e fortalecimento de sua base empresarial e dos segmentos de alta tecnologia.

Ao analisar a proposta de atuação estadunidense, deve-se ter em mente que, para além de conferir demanda efetiva estável, o governo exerce papel particular como coordenador e mobilizador de recursos e dos demais agentes. Assim, percebe-se uma lógica de atuação voltada à resolução de problemas, a partir de uma abordagem *mission-oriented* e do estímulo a projetos específicos que solucionem desafios nacionais ou globais em benefício da indústria norte-americana.

A indústria 4.0 da Alemanha

Um breve contexto geral e a “obsessão” pela competitividade

Durante quase duas décadas após a última guerra mundial, a recuperação alemã decorreu em grande parte dos massivos investimentos em indústrias estratégicas e também do aumento das exportações de bens de capital.

O’Sullivan *et al.* (2013) destacam que o setor manufatureiro representa mais de um quinto do valor adicionado da Alemanha, uma das parcelas mais elevadas da Europa, e é o segundo maior exportador de produtos manufaturados. Muitas das empresas alemãs são líderes na produção de bens de consumo e bens de capital. Mais recentemente, esse país vem despontando como líder em novas tecnologias, incluindo os segmentos de energia solar e eólica.

²⁸ Em particular, dobrar o orçamento destinado à pesquisa de três órgãos importantes: NSF, Department of Energy’s Office of Science e National Institutes of Standards and Technology, bem como garantir orçamento adequado às demais agências (PCAST, 2011).

As empresas mais conhecidas são líderes mundiais em determinados segmentos, mas também há uma densa rede de empresas relativamente menores – o *Mittelstand* – que, em geral, têm controle familiar e são extremamente relevantes para a economia alemã. Na verdade, muitas das empresas do *Mittelstand* são intensivas em tecnologia e líderes de mercado em seus nichos de atuação, apesar de serem desconhecidas para o público em geral.²⁹

Historicamente, o desenvolvimento industrial alemão se beneficiou de alguns elementos essenciais. De acordo com Chang, Andreoni e Kuan (2013) e O’Sullivan *et al.* (2013), a indústria alemã é tradicionalmente apoiada por uma infraestrutura institucional complexa e altamente organizada. Muitas dessas instituições têm raízes históricas – relacionadas ao contexto pós-guerra, por exemplo – e são apoiadas por recursos públicos, tais como a ampla rede de apoio à P&D, a disponibilidade de diversos programas ou iniciativas que contribuem para a melhoria das capacitações técnicas das empresas, o acesso a crédito, o sistema educacional vocacional e a atuação da agência alemã de comércio exterior (visando mercados externos).

Andreoni (2016) aponta o Fraunhofer, rede de institutos originada no pós-guerra, como um dos maiores pilares da política industrial alemã, na medida em que trata dos desafios tecnológicos relevantes para todo o sistema industrial.³⁰ Um segundo pilar consiste na infraestrutura financeira composta por bancos públicos voltados ao financiamento do setor industrial. Essa rede não é apenas federal – instâncias subnacionais (*länders*) também desempenham papel relevante – e é particularmente importante para o *Mittelstand*. Por fim, o autor destaca a regulação das relações industriais: há leis que regulam as negociações coletivas setoriais, embora exista uma tendência à descentralização das negociações, e que tratam da existência de um sistema de treinamento integrado (Vocational Training Law).³¹

Apesar de esses elementos tradicionais estarem presentes há bastante tempo, o capitalismo alemão passou por diversas modificações relevantes, especialmente desde os anos 1990. Até o início da década de 2000, o país era visto como o “*sickman of Europe*” ou um “*laggard*” passando, em seguida, a ser considerado um caso de sucesso. De acordo com Bastasin (2013, p. 2):

²⁹ Ver Simon (2009) para maior incursão a respeito dos *hidden champions*.

³⁰ O Fraunhofer é o mais conhecido, mas há forte atuação complementar de outros institutos (como os Steinbeis Centres).

³¹ Ver também Hancké e Coulter (2013).

(...) the entire German production system had to and was able to strengthen its export orientation, while facing the major geopolitical changes that have directly involved the country; the German reunification, the European monetary unification, Eastern Europe opening to international trade and, finally, the entrance into the markets of large areas of the world up to the full development phase of globalization.

Existe um longo debate sobre quais foram os motivos para o desempenho alemão a partir da virada do século. Uma corrente atribui o sucesso a uma série de reformas no capitalismo alemão, em especial aquelas referentes ao mercado de trabalho e à política de compressão salarial, que contribuiriam para manter uma taxa real de câmbio competitiva. Outra atribui à superioridade tecnológica da indústria alemã sua excepcional *performance* exportadora.³²

De acordo com Cesaratto (2010), várias são as razões para esse desempenho externo recente, entre elas o contexto macroeconômico europeu e a integração alemã com os países periféricos do leste europeu.³³ Essa variável é fundamental, sobretudo se forem consideradas as restrições à utilização da política fiscal – em virtude do que foi pactuado no Tratado de Maastricht – e o baixo dinamismo do consumo doméstico – afetado pela política de compressão salarial e pela ampliação da desigualdade na Alemanha.

Com efeito, a política de compressão salarial e o fato de a taxa de câmbio nominal alemã (desde a implantação do euro) estar desvalorizada em relação aos demais países europeus tornam as exportações alemãs mais competitivas em relação a seus concorrentes europeus. Segundo Lehndorff (2012, p. 80-81):

Unit wage costs stagnated and even declined somewhat in manufacturing industry. This contributed to a huge increase in export surpluses in the past decade. (...) For instance, it was no accident that the remarkable rise in export surpluses coincided with the introduction of the euro.

³² Ver, entre outros, Dauderstädt (2012), Bastasin (2013), Storm e Naastepad (2014), Lehndorff (2012) e Cesaratto (2010).

³³ Como destaca Cesaratto (2010), na década passada a Alemanha saiu de uma razão de importações de bens e serviços em relação ao produto interno bruto (PIB) de 33% em 2000 para 41% em 2008. Além disso, passou de um superávit (bens e serviços) ligeiramente positivo em 2000 para 6% do PIB em 2008. As exportações, especialmente dentro da Europa, têm tido um peso enorme como componente mais dinâmico da demanda.

The elimination of the exchange rate adjustment mechanism within the currency union (...) means that goods-based competitiveness is linked to the rise in price competitiveness.

Contudo, autores como Storm e Naastepad (2014) e Dauderstädt (2012) argumentam que os produtos com melhor *performance* exportadora, como automóveis, máquinas e equipamentos, fármacos e produtos químicos, são aqueles cuja competitividade não está relacionada primordialmente ao preço.

Nesse sentido, seria a capacidade industrial alemã que garantiria a competitividade de suas exportações, especialmente na própria Europa, que hoje é seu maior mercado. De acordo com Bastasin (2013, p. 5):

German competitiveness derives from the acquisition of comparative advantages in a rather large number of specialized categories of products. In capital goods, durable consumer goods and pharmaceutical products, German firms hold large shares of the world markets. Germany has thus increased exports to the rest of Europe, maintaining its traditional European subcontracting chains (supply chain), specially in non-euro Visegrad countries (Czech Republic, Hungary, Poland and Slovakia, the only euro area country).

Como mencionado, essa posição que a Alemanha desfruta hoje na Europa é resultado de diversas transformações pelas quais a economia alemã vem passando, especialmente desde a formação da União Europeia. A legislação do mercado único europeu impôs padrões únicos para produtos e serviços exportados no âmbito do mercado comum. O que antes era uma barreira não tarifária para a penetração de produtos europeus no mercado alemão tornou-se uma enorme vantagem para as exportações alemãs, em virtude de sua superioridade tecnológica e da desde então reforçada capacidade de definir os padrões.

Outra modificação estrutural importante foi a transformação das empresas alemãs em grandes grupos globais. A partir dos anos 1990, elas adotaram, como parte de sua estratégia, a aquisição de plantas nos países vizinhos da Europa Oriental, montando suas “cadeias europeias de valor”. Aproveitando-se de sua posição central na Europa, de sua excelente infraestrutura de portos e aeroportos e de sua tradição de promoção comercial, acabou se transformando em um polo de comércio intraeuropeu.

As grandes empresas alemãs passaram a importar partes e peças, concentrando as etapas finais de montagem na Alemanha e exportando os bens

finais com forte conteúdo tecnológico. Esse processo, ao mesmo tempo que ampliou as importações alemãs da Europa, com aumento relevante do comércio intrafirmas, também impulsionou as exportações alemãs.

Outro fator relevante foi a forma como a Alemanha se beneficiou das mudanças dos padrões de demanda mundial.³⁴ Oriundas essencialmente do processo de concentração de renda observado na Europa e no mundo, tais mudanças favoreceram a estrutura industrial alemã, inclusive estimulando a demanda de bens de consumo “de luxo”.

Dauderstädt (2012) afirma que a busca por competitividade internacional é quase uma obsessão para a Alemanha, inclusive tendo em vista que o país vem sendo impactado pela crescente ameaça imposta pelos emergentes. Todavia, vale ressaltar que as políticas não conformam uma estratégia deliberada e coerente. Não há exatamente um ator estratégico, mas sim um esforço comum do estado, empresas e sindicatos.³⁵

Enxergar os grandes movimentos da economia alemã e de sua indústria é fundamental para compreender a “nova” estratégia industrial. É nesse contexto que se insere a estratégia alemã, cujo objetivo, pode-se interpretar, é o de aprofundar sua posição de líder industrial na Europa por meio do estímulo e ampliação da *technological competitiveness* de suas empresas e do reforço de sua competitividade “não preço”. Nesse contexto e associadas a uma estratégia mais geral, acrescentam-se a preocupação com o uso eficiente de recursos e energia, a ampliação das fontes renováveis na matriz energética e a produção de equipamentos e veículos eficientes.

A High-Tech Strategy e a indústria 4.0

Ante o exposto, existem ações em curso para tratar das preocupações com o futuro industrial da Alemanha. A iniciativa alemã tem como pano de fundo uma série de preocupações gerais que são semelhantes às dos EUA e que se traduzem no desejo de se cristalizar na liderança global (primordialmente europeia) no que tange à produção industrial e tecnologia de ponta.

³⁴ Esse aspecto é destacado, ainda que com visões diferentes, em trabalhos como MGI (2012) e Dauderstädt (2012).

³⁵ Como ressalta o autor, a despeito de seu desempenho, a política industrial alemã encontra limites externos e internos. Os externos se referem às restrições impostas pelo Tratado da União Europeia, que limita diversos instrumentos, como subsídios, tarifas, barreiras não tarifárias. Internamente há forte oposição ideológica à ideia de que o Estado deve influenciar a estrutura da economia – deve apenas cuidar para que o “ambiente de negócios” seja favorável e não haja barreiras à competição.

Andreoni (2016) destaca que a economia alemã vem passando por alguns ciclos de transformação. Nessa linha, o primeiro ciclo recente se deu no início dos anos 2000 e caracterizou-se por conferir ênfase às questões ambientais, à eficiência energética e à inserção de fontes renováveis na matriz.

Já a partir de meados de década, o sistema industrial passou por três grandes ciclos (semelhantes) e, em todos os casos, a visão geral e as principais linhas de ação aparecem encapsuladas no âmbito da chamada High-Tech Strategy. A tradução do plano geral em medidas específicas passa não apenas pelo governo federal e seus ministérios, mas também pelos *länders* e pelas instituições europeias em seus diversos níveis – o sistema alemão é bastante caracterizado por sua conformação multicamadas e por vários tipos de apoio (por exemplo, subsídios, empréstimos, *grants*, garantias etc.).

A High-Tech Strategy foi a primeira iniciativa ampla construída a partir de um consenso nacional que compartilha uma visão comum sobre o processo de inovação e a necessidade de criar novas tecnologias, considerando o objetivo mais geral da economia alemã o de consolidar sua liderança global e abrir possibilidades para sua indústria.³⁶ Essa iniciativa é coordenada pelo governo federal e conta com a participação de empresas importantes (tais como Siemens, Volkswagen, Bosch, Kuka, ABB, Festo e IBM), primordialmente alemãs, e que possuem diversas outras empresas do *Mittelstand* em sua cadeia produtiva.

De forma ambiciosa, a estratégia pretende enfrentar os novos desafios impostos pela globalização (“*Germany cannot compete on cost*”) e foi desenhada para explorar oportunidades em segmentos específicos e em atividades/tecnologias transversais.³⁷ A High-Tech Strategy encontra-se em sua terceira versão, e a mais atual mantém abordagem e estrutura semelhantes às da original, de 2006, mas atribui mais evidência à pesquisa de excelência e enfatiza mais a necessidade de capturar novos mercados por meio de um *mix* de projetos *mission-oriented* e iniciativas para promoção de exportações.

Trata-se, portanto, de fortalecer a posição industrial e de nação exportadora. O objetivo, da mesma forma que no programa americano, é trazer uma

³⁶ Ver BMBF (2010) e BMBF (2014).

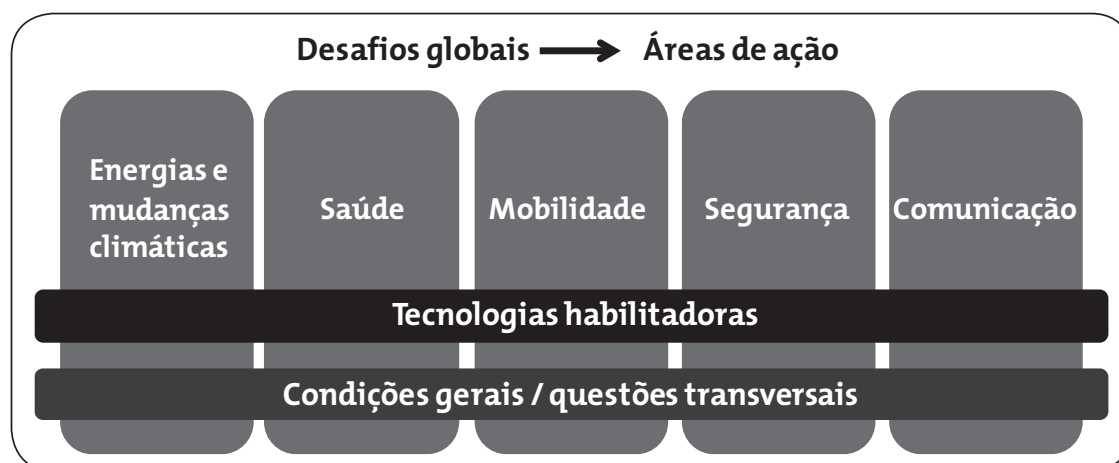
³⁷ “(...) it was also designed to develop a number of ‘strategic partnerships’ in cross-cutting activities where transversal opportunities emerge were supported (new ‘platform technologies’ and ‘pioneer markets’). The strategy also recognised the need to match these new techno-industrial ventures with new regulations in intellectual property, product standards and concerning the governance of the public procurement system” (ANDREONI, 2016, p. 24).

abordagem integrada, conjugando as ações desenvolvidas nos vários níveis de governo para alcançar a liderança no desenvolvimento de tecnologias habilitadoras e consolidar sua posição global. Para esse fim, foi utilizado um arcabouço em que se integra e se estimula o diálogo entre a comunidade científica e empresarial, além de *policy makers*.³⁸

Diante de desafios como as mudanças climáticas, a escassez de alimentos, mudanças demográficas e aqueles relacionados à energia e combustíveis fósseis, o país pretende se consolidar como provedor de soluções para essas questões (seja abrindo/criando mercados, seja se aprofundando naqueles existentes e dinâmicos). Para isso, diversas ações relacionadas ao plano de inovação alemão são derivadas de alguns grandes temas. Tanto o desenvolvimento de tecnologias habilitadoras quanto medidas para melhorar as “condições gerais” para inovação são encorajadas de forma a gerar avanços nos grandes temas.

Vale destacar que a política estará direcionada “*with the aim of tapping emerging markets*” (BMBF, 2010, p. 5) e também se deseja estendê-la para o resto da Europa, como parte da influência alemã sobre suas “cadeias europeias de valor”. A Figura 2 ilustra o *framework* proposto.

Figura 2 | Áreas de atuação da High-Tech Strategy



Fonte: Adaptado de BMBF (2010).

Atualmente, as grandes áreas consideradas prioritárias e que darão o norte para as ações estratégicas são:

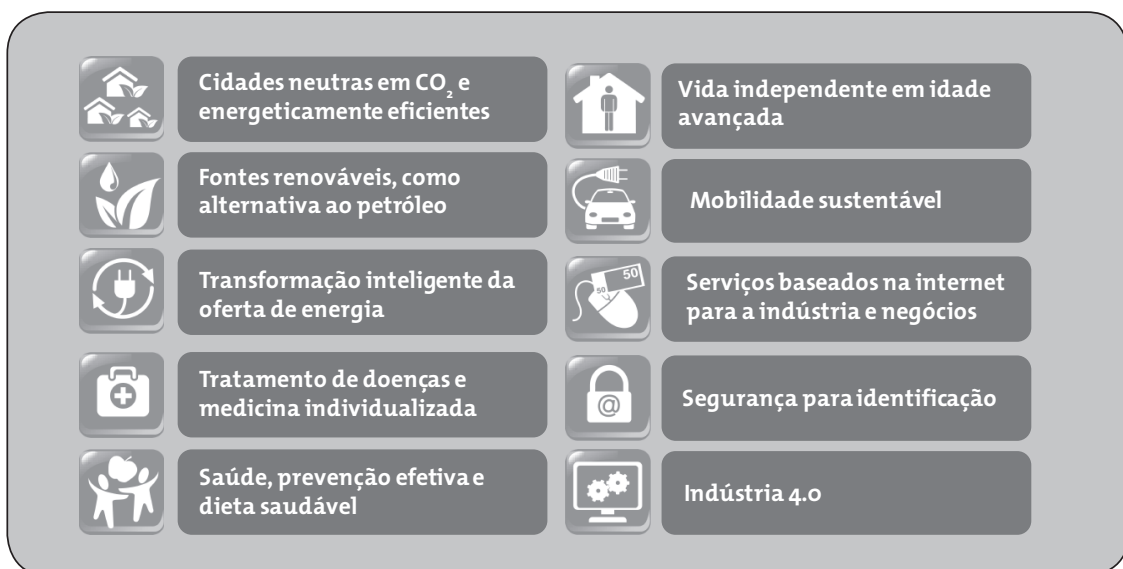
³⁸ De acordo com BMBF (2014, p. 10), “*only collaboration and participation by all stakeholders will make it possible for curiosity to lead ideas and for ideas to lead to innovations for competitive, sustainable products and services*”.

- i. economia digital e sociedade;
- ii. economia sustentável e energia;
- iii. saúde/vida saudável;
- iv. mobilidade inteligente; e
- v. segurança civil.

Tanto as *key technologies* quanto outras condições gerais são questões transversais que perpassam todos os campos. O objetivo central da estratégia é dirigir as políticas de pesquisa e inovação para a resolução de “missões” específicas. Para isso, optou-se por associar projetos específicos (*forward-looking projects*) aos grandes temas. Tais projetos devem perseguir objetivos específicos, em um período de dez a 15 anos.

Existem alguns exemplos mais específicos, tais como o projeto que objetiva atingir a produção de um milhão de veículos elétricos na Alemanha em 2020, e outros menos específicos, como o que trata do desenvolvimento da fotônica e que vislumbra tornar este o “século da fotônica”. De qualquer forma, os projetos compartilham uma característica comum: todos os envolvidos cooperam para atingir um objetivo definido. Cada um deles visa “*find(ing) systematic solutions that enhance our quality of life, protect our bases for life and give our industry competitive advantages in important lead markets*” (BMBF, 2014, p. 50). A Figura 3 ilustra tais projetos.

Figura 3 | Dez projetos emblemáticos presentes em BMBF (2014)



Fonte: Adaptado de BMBF (2014).

Toma-se agora, brevemente, o tema da economia digital, que trata da integração das tecnologias digitais com as aplicações industriais. Tal integração é encarada como decisiva para a competitividade da economia alemã. Nesse tema, há uma série de iniciativas, inclusive a indústria 4.0.

O principal documento que aborda esse assunto é Acatech (2013) e reconhece que a força industrial da Alemanha decorre de sua especialização em tecnologias inovadoras. O documento parte do diagnóstico de que as capacidades acumuladas em engenharia, manufatura e TI, bem como o *know-how* que tem em sistemas embarcados e engenharia de automação, permitem que o país se posicione como líder em “*manufacturing engineering industry*”.

A ênfase é colocada sobre os sistemas ciberfísicos, que no ambiente manufatureiro envolvem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento, instalações capazes de gerar/trocar informação autonomamente e desencadear ações (ACATECH, 2013). Aqui ganham muita importância os sensores e as tecnologias para automação. As fábricas “inteligentes” representariam a convergência do mundo real e virtual, formando uma internet das coisas. Entre outros aspectos, a indústria 4.0 relaciona-se com a resolução de problemas importantes, como eficiência energética, e visa aumentar a produtividade no nível da firma. Segundo BCG (2015), são nove as tecnologias que se combinam para formar a indústria do futuro: *big data* e *analytics*; robôs autônomos; simulação; integração de sistemas; internet das coisas; segurança cibernética; computação e nuvem; manufatura aditiva; e realidade aumentada.

Um elemento importantíssimo dessa estratégia, encarado por Acatech (2013, p. 29) como pré-condição, é a adoção de uma estratégia “dual” pela Alemanha. Dual no sentido de que o uso dos sistemas ciberfísicos, quando adotado pelos fabricantes de produtos, poderá conferir mais eficiência à produção doméstica. Por outro lado, o desenvolvimento de tais tecnologias representa uma oportunidade de ganhos para diversas empresas alemãs no que tange à exportação de tecnologias e produtos. Para isso, será fundamental se beneficiar de sua vigorosa base industrial e de seu excelente ambiente de pesquisa. Ademais, as atividades de P&D precisam ser acompanhadas de decisões de política. Segundo o documento em referência, são necessárias ações em áreas prioritárias, entre as quais: criação de padrões e arquitetura de referência; regulação e proteção de dados; e um esforço de abertura de novos mercados, com auxílio de agências de promoção de exportações.

Mais do que entender os detalhes de cada um dos projetos especificamente, é importante entender o arcabouço da política elaborada, bem como seu caráter *mission-oriented*.

Os documentos do governo alemão destacam a importância das tecnologias habilitadoras “*due to the economic leverage they can develop*” (BMBF, 2014, p. 36) e inclui, entre as tecnologias relevantes, as digitais integradas ao processo de produção. Repare que se faz referência explícita à relação entre essas tecnologias e a preservação da posição de liderança alemã como fábrica do mundo: “*Germany’s competitiveness as a centre for production depends in large measure on its ability to exploit the economic potential in such key technologies*” (BMBF, 2014, p. 36). Como será visto na próxima seção, a indústria 4.0 vem reforçar e estimular o papel desse país como a verdadeira fábrica mundial.

Conclusão

Com base no que foi descrito, pode-se perceber que a estratégia alemã formula objetivos claros em diversos campos, define prioridades e introduz novos instrumentos. A implementação da estratégia é realizada com a supervisão de um conselho de assessores e especialistas das áreas de ciências e da indústria e com a participação de membros da sociedade.

Dentro da estrutura conceitual e do arcabouço institucional, as iniciativas se materializam nos *forward-looking projects* já indicados, do qual a indústria 4.0 é “apenas” um deles. Analogamente ao caso norte-americano, tais projetos se configuram como *mission-oriented*, e o desenvolvimento de tecnologias habilitadoras é parte fundamental. Assim, a base da política alemã de desenvolvimento tecnológico se apoia no conceito de tecnologias habilitadoras. Pode-se citar BMBF (2010, p. 9):

Key technologies are the drivers of innovation and the basis for new products, processes and services. The future viability of the German economy depends on whether Germany can achieve a leading position in the areas of biotechnology, nanotechnology, micro-and nanoelectronics, optical technologies, microsystems technology, materials technology, production technology, services research, space technology, information technology and communications technology. (...) They are prerequisites for many applications in a wide range of different sectors.

À primeira vista, poder-se-ia aventar que a adoção das fábricas “do futuro” e das tecnologias seria impulsionada pela própria indústria doméstica. De fato, a adoção de novas tecnologias pode proporcionar ganhos de eficiência, e a estrutura industrial alemã é bastante robusta e composta por empresas modernas que podem se mostrar capazes de absorver essas tecnologias para se manter em posição de liderança. Entretanto, há que se considerar que a economia alemã não apresenta elevado crescimento e, tradicionalmente, se apoia nas exportações. Esse sim parece ser o componente da demanda efetiva que ajudará a dar escala para a estratégia alemã. Tal interpretação se coaduna com o excelente desempenho exportador do país e sua ligação com as “cadeias europeias de valor”. Ademais, guarda relação direta com a já mencionada orientação explícita de buscar novos mercados, até mesmo em países emergentes, e com a atuação ativa das agências alemãs de promoção ao comércio exterior – inclusive no Brasil.

Além disso, o que parece haver de novidade na inserção alemã é que o país não se colocará apenas como exportador de produtos e tecnologias, mas também como um “produtor”/EPCista³⁹ das ditas fábricas inteligentes. Ganhar essa característica é algo notório, pois os EPCistas têm o papel de definir de quais empresas serão demandados os equipamentos/soluções a serem utilizados. Não por outra razão, Simon (2009, p.108) lembra que “[w]e often hear that China will become the ‘factory of the world’, an assertion that will probably come true. But hardly anyone asks the ensuing question, ‘Who builds this factory of the world?’”.

Ainda que o governo federal alemão não atue exatamente como o dos EUA, não quer dizer que não exerça papel destacado. Isso é verdade no que diz respeito tanto à coordenação de uma diversidade de agentes quanto à provisão de demanda efetiva. Com efeito, a High-Tech Strategy lançada em 2006 comprometeu-se com cerca de € 4 bilhões anuais especificamente para o desenvolvimento de tecnologias habilitadoras; a versão revisada da High-Tech Strategy de 2010 alocou mais de € 8 bilhões para o período 2012-2015.⁴⁰

³⁹ Termo derivado da sigla EPC (*engineering, procurement and construction*) e aplicado às empresas cuja responsabilidade é realizar as atividades de engenharia, contratação/compras e construção do empreendimento para o qual foi contratada.

⁴⁰ Ver <<http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/Invest/Industries/Smarter-business/smart-solutions-changing-world,t=hightech-strategy-2020-action-plan,did=575914.html>>.

Além disso, o tradicional ecossistema de inovação alemão contribuiu decisivamente para o fortalecimento da indústria, contando com diversas formas de apoio a P&D, mão de obra qualificada e institutos de pesquisa altamente capacitados. De forma semelhante aos EUA, a Alemanha beneficia-se de sua base industrial robusta e já instalada e de sua atual inserção internacional.

Vale notar que a discussão sobre o estabelecimento de padrões cumpre um papel relevante no que diz respeito a criar/garantir mercados para suas empresas e construir barreiras à entrada. Assim, a definição de padrões é fundamental e, não por menos, vem sendo objeto de disputa entre EUA e Alemanha. Segundo BCG (2015, p. 12-14), “[s]everal other standardization organizations have ambitions in the field. Strategically choosing participation in these and other bodies and actively shaping the standardization agenda will be critical for manufacturing-system suppliers”.

Considerações finais

O que há de novo? Há algo de velho?

Neste artigo, buscou-se enxergar a construção da manufatura avançada sob um prisma diferente das abordagens dominantes. Decerto, seria um grande equívoco encará-las como uma estratégia global empreendida conjuntamente ou de forma coordenada. Na verdade, é justamente o contrário disso: consistem em políticas nacionais de determinados países que visam a liderança industrial e a manutenção de sua preponderância global.

Além das experiências ora abordadas, existem iniciativas da mesma natureza em países como Inglaterra, China e Japão. Ao interpretar os fenômenos dessa forma, também fica claro que não há uma tendência “exógena” de evolução tecnológica, autônoma ou inevitável; e sim de políticas deliberadas para criar novos mercados e construir o futuro, incorporando tecnologias habilitadoras. Dessa forma, ressalta-se o caráter não espontâneo do avanço tecnológico nesses países.

Tendo abordado a motivação mais geral e as duas experiências particulares, um passo obrigatório é indagar quais seriam as semelhanças entre as iniciativas estadunidense e alemã. O Quadro 1 resume os principais pontos.

Quadro 1 | Síntese comparativa entre EUA e Alemanha

Principais pontos em comum	EUA	Alemanha
Demanda efetiva	Compras públicas (defesa, energia e saúde)	Mercado externo (países europeus)
Tecnologias habilitadoras	Manufatura aditiva, nano e biomanufatura, novos materiais (inclusive compósitos e mais leves), TICs, semicondutores, fotônica, eletrônica de próxima geração etc.	Manufatura aditiva, nano e biomanufatura, novos materiais (inclusive compósitos e mais leves), TICs, semicondutores, fotônica, eletrônica de próxima geração etc.
Infraestrutura de inovação	Criação dos IMIs	Institutos como Fraunhofer
Áreas de atuação	Defesa (dual), energia, saúde etc.	Energia, saúde, mobilidade, segurança e comunicação etc.
Base empresarial	GE, Boeing, Lockheed Martin, IBM, Honeywell etc.	Siemens, VW, Kuka, Bosch, Festo etc.

Fonte: Elaboração própria.

Primeiramente, configuram-se como políticas que têm a inovação no cerne do debate. Como já mencionado diversas vezes, elas apoiam e estimulam o surgimento de novas tecnologias habilitadoras (*key enabling technologies*), elemento crucial de ambas as estratégias. Tais tecnologias são essenciais e formam a base das iniciativas de uma série de países. Como destaca Loural (2014), estamos diante de tecnologias que podem ser capazes de viabilizar novos setores econômicos ou revitalizar setores tradicionais.

Esse mesmo autor faz uma reflexão sobre as tecnologias habilitadoras, associando-as ao conceito de plataformas, ou seja, “tecnologias sobre as quais outras tecnologias, processos e produtos podem ser desenvolvidos” (LOURAL, 2014, p. 12).⁴¹ A partir de Tassej (2008), o autor também resgata o conceito de tecnologias genéricas (*generic technologies*), que fornecem “uma base de conhecimentos a partir da qual conjuntos particulares de aplicações e outras tecnologias podem ser desenvolvidas” (LOURAL, 2014, p. 14).

Em segundo lugar, é possível identificar que há investimentos massivos do governo federal (ainda que em maior grau nos EUA), das instâncias locais e da iniciativa privada, especialmente em institutos especializados voltados para o desenvolvimento das tecnologias habilitadoras, e que estimulam os

⁴¹ Ver também OECD (2015), que segue uma interpretação similar.

industrial commons. Adicionalmente, tem-se recorrido à formação de consórcios de empresas e institutos de ciência e tecnologia.

Somado a isso, há toda uma estrutura institucional relacionada ao ecossistema de inovação que contribui para o fortalecimento da indústria – apoiada de forma decisiva por instâncias federais e locais – que conta com excelente ambiente de pesquisa (em especial no caso alemão, contendo os Fraunhofer, por exemplo), alta qualificação da mão de obra e diversas modalidades de apoio à P&D.

Entre outras coisas, o governo exerce um papel de coordenação de agentes e capacidade de mobilização de recursos e de demais agentes. No que tange à provisão da demanda efetiva capaz de viabilizar o desenvolvimento das tecnologias habilitadoras (e sua incorporação em bens e setores), o papel dos departamentos federais norte-americanos é um exemplo muito explícito – como tem sido historicamente, aliás. Por sua vez, na Alemanha também há um papel proeminente para o governo federal (e *länders*), porém a reafirmação de sua liderança exportadora é fundamental. Desde a concepção das estratégias, há uma clara opção do governo em atuar sob uma lógica de resolução de problemas e do estímulo a projetos específicos que resolvam desafios nacionais ou globais em benefício de sua indústria.

Em ambos os casos, é possível aproveitar da definição dada em PCAST (2011) e dizer que os esforços desses países visam desenvolver diversas atividades que dependem do uso e coordenação da informação, automação, computação, *software* e sensoriamento. Ao mesmo tempo, elas utilizam materiais avançados e competências emergentes que se tornam possíveis a partir de avanços em campos do conhecimento como a física e as ciências biológicas. Daí resultam tanto novas formas de fabricar e desenvolver produtos existentes quanto a manufatura de novos produtos utilizando novas tecnologias.

Ademais, vale notar que ambos os países se beneficiam de uma base industrial robusta e já instalada – em especial, de seus grandes campeões nacionais e dos *hidden champions* – bem como de sua atual inserção internacional. Em linha com o que foi dito anteriormente, a capacidade de trilhar esse caminho é potencializada pelo aproveitamento e/ou fortalecimento de sua base empresarial – em que a propriedade nacional é muito mais a regra do que a exceção – e dos segmentos de alta tecnologia. Resultados

completamente diferentes poderiam ser esperados a depender da existência prévia disso.

Pode-se, portanto, ressaltar que a identificação e o desenvolvimento de tecnologias habilitadoras ganham um caráter relevante. Relevante, inclusive, como parte da estratégia de criar e/ou comandar novos mercados.

Assim, cabe refletir sobre o que parece haver de verdadeiramente novo nesses movimentos analisados. Nesse sentido, o que pode diferenciar o atual movimento global de avanço tecnológico dos demais é a convergência e a combinação dessas tecnologias habilitadoras, que se encontram em diversos graus de maturidade e desenvolvimento, para gerar novos produtos e processos que podem levar a mudanças mais disruptivas.

No entanto, cabe indagar: mas será que não há nada de “velho”? No contexto da competição global das economias avançadas e das mudanças na natureza da atividade manufatureira, diversos países adotaram estratégias de reposicionamento econômico. Nesse sentido, trata-se de mais uma nova manifestação do velho debate sobre política industrial, agora revisitado de forma a estimular o *reshoring*. Note-se que foram os próprios países avançados que reabilitaram a política industrial com uma abordagem que congrega os seguintes elementos: um olhar *mission-oriented*; ênfase na combinação de tecnologias habilitadoras; e fortalecimento das capacitações coletivas (*industrial commons*).

Por certo, vive-se um período de transformações, porém, dadas as dinâmicas ressaltadas no presente artigo, a ideia de que há uma “nova” revolução industrial pode ser vista com algum ceticismo. Ainda que a convergência de tecnologias ofereça perspectivas positivas, parece exagerado afirmar que há uma mudança de paradigma que justifique aclamá-la como a quarta revolução industrial.

Há que se reconhecer que é precipitado afirmar taxativamente que se trata de uma revolução. O futuro (e o presente) é carregado de incertezas, e é difícil prever a maturidade dessa ou daquela abordagem. Está claro, entretanto, que ainda há uma longa transição e que o futuro encontra-se aberto e em construção – obviamente, o tempo encarregar-se-á de esclarecer isso.

Ainda que se apontem mudanças significativas, é possível que se configurem como um novo avanço de um longo processo já em marcha e possibilitado pelas tecnologias de informação. Dessa forma, talvez seja mais

prudente enxergar os movimentos como parte de um processo evolutivo não tão rápido, carregado de inovações incrementais e caracterizado por uma combinação de tecnologias, várias delas já conhecidas há algum tempo – ou, conforme OECD (2015, p. 10), “*have been around for a while*”.⁴² Ademais, é importante ter a clareza de que as tecnologias conviverão de forma híbrida, com produtos/processos novos e tradicionais e tecnologias mais maduras e outras emergentes – essas próprias tecnologias híbridas ainda se encontram em gestação, o que pode se mostrar como mais um elemento de uma fase de transição.

Algumas recomendações para o Brasil

O presente trabalho concentrou-se primordialmente em tecer considerações a respeito das principais experiências internacionais, mas estas podem ser aproveitadas na intenção de buscar aprendizado e inspiração para a construção de uma futura política brasileira de manufatura avançada.

Considerando o conjunto de elementos sintetizados no Quadro 1, enumeram-se algumas perguntas analíticas que poderiam nortear uma eventual incursão no tema. Um detalhamento excessivo fugiria ao escopo deste artigo, de forma que serão elaboradas apenas questões gerais que, evidentemente, requerem aprofundamento em um próximo trabalho.

Em primeiro lugar, é essencial identificar quais são as tecnologias habilitadoras que poderiam ser mais relevantes para o Brasil. Em certo sentido, as tecnologias são transversais, mas há que se ponderar que as oportunidades podem ser maiores em alguns nichos do que em outros. Dessa forma, uma estratégia brasileira encontraria suporte em que setores da economia? Indo além, quais seriam os problemas específicos e os projetos estruturantes responsáveis por impulsionar a demanda?

De maneira breve e não exaustiva, destaque-se que o Brasil está particularmente bem posicionado no setor de petróleo e gás (a despeito da crise atual) e tem um enorme potencial relacionado ao pré-sal. Analogamente, o país tem “vocação natural” para a agropecuária e também um ativo único no mundo que é o bioma Amazônia. As energias renováveis podem apontar o país para novas tecnologias e mercados (inclusive aproveitando

⁴² Para interpretação semelhante, ver Loural (2014) e Kupfer (2016). Os autores são dos poucos que vêm falando nessa linha.

suas condições climáticas de vento e incidência solar, além da tradicional competência no segmento de hídrica, bem como do arcabouço regulatório já montado). Como se sabe, o Brasil apresenta déficits em saúde e em mobilidade, por exemplo, e essas também são questões que poderiam orientar os desafios nacionais.

Em segundo lugar, de onde viria a demanda efetiva necessária para as tecnologias? No caso estadunidense, as compras públicas são cruciais, e o mercado doméstico pode vir a assumir papel importante para as empresas dos EUA; no caso da Alemanha, crucial é sua orientação exportadora associada a seu papel dentro da Europa. Claramente, a inserção internacional brasileira é diferente, mas há que se refletir especialmente sobre qual papel regional ela pode assumir – e em alguns casos o papel global. Além disso, vale indagar: é necessário estruturar uma política de compras de médio/longo prazo por trás dos desafios a serem atacados? A longo prazo, haveria “disposição” econômica para isso? Haveria coesão política para, no longo prazo, sustentar as ações necessárias?

Vale lembrar que se ensaiou algo nesse sentido com o Inova Empresa e com o Programa Nacional de Plataformas do Conhecimento (PNPC). O primeiro programa envolvia a elaboração de editais de chamada pública para apoio a setores e tecnologias prioritárias. O segundo tinha entre suas metas criar plataformas de conhecimento em áreas selecionadas, utilizando-se de compras públicas, e fortalecer as instituições de infraestrutura de pesquisa.

Sobre esse último tópico, deve-se cotejar o que idealmente poderia ser feito *vis-à-vis* o que se pode aproveitar da estrutura e das ações existentes no país. À luz do que foi exposto neste trabalho, é essencial incentivar a formação e o reforço de *commons* no Brasil. Como exemplo, pode-se ressaltar a iniciativa ainda em andamento para criação de uma série de institutos regionais e com competências específicas – os Institutos Senai de Inovação (ISI) e os Institutos Senai de Tecnologia (IST) – concebidos em parceria com o Fraunhofer e o Massachusetts Institute of Technology (MIT). Exclusivamente em termos conceituais, poder-se-ia dizer que iniciativas como o PNPC e os ISIs/ISTs são ações embrionárias que ensejam pôr o Brasil em patamar semelhante ao dos principais países do mundo em relação a esse tipo de estrutura. Adicionalmente, o país conta com uma variedade de instituições e instrumentos tradicionalmente importantes, tais como Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Empresa Brasileira de

Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii), Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes/Petrobras), Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), BNDES Funtec e programas de P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

De qualquer forma, o estímulo ao desenvolvimento de tecnologias habilitadoras passa pelo mapeamento das instituições e também das empresas presentes no país e relacionadas ao tema. Nesse aspecto, caberia também investigar o papel da base empresarial local nesse movimento, considerando sua fragilidade e sua heterogeneidade característica (em suas várias dimensões). Em particular, tendo em vista que a industrialização brasileira foi historicamente construída com significativa presença de multinacionais estrangeiras, dever-se-ia indagar se isso põe o Brasil em posição diferente de Alemanha ou EUA (em que empresas alemãs ou estadunidenses, respectivamente, assumem proeminência). Seja qual for a resposta, não se pode deixar de questionar: as características de nossa base industrial importam de alguma maneira?

Evidentemente, esse seria um esforço deliberado, que (obviamente) poderia dar certo ou errado; existem muitos casos em que políticas industriais fracassaram, inclusive por perseguirem objetivos errados. Parte do sucesso depende da existência de sustentação política às ações essenciais. Sem ela, pouco se avançará nas ações que efetivamente promovem a indústria.

Ademais, o próprio relacionamento entre instituições e classes mostra-se relevante. Todavia há que se tomar cuidado com o risco de ser “capturado” por interesses de grupos específicos da sociedade. Assim, vale citar Chang, Andreoni e Kuan (2013, p. 17) ao resgatarem a famosa expressão de Peter Evans:

Peter Evans (1995), the eminent American sociologist, has captured this point beautifully in his notion of ‘embedded autonomy’, which means that the government needs to have roots in the society (‘embeddedness’) but also has to have its own will and power (‘autonomy’) in order to be effective in its intervention. Autonomy without embeddedness can create a state that imposes an ‘inorganic’ vision on the society through force, while embeddedness without autonomy means that the state is turned into Marx’s executive committee of the bourgeoisie.

Por fim, resta saber se essa será uma daquelas situações em que a nação industrialmente mais desenvolvida apenas mostra às menos desenvolvidas a imagem de seu próprio futuro e se, também, parafraseando Chang (2004), chutará a escada das demais.

Referências

ACATECH – NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING. *Securing the future of German manufacturing industry: recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, 2013.

ANDREONI, A. Varieties of industrial policy: models, packages and transformation cycles. In: STIGLITZ, J.; NOMAN, A. (ed.). *Industrial policy and transformation*. New York: Columbia University Press, 2016. (no prelo)

ANDREONI, A.; GREGORY, M. Why and how does manufacturing still matter: old rationales, new realities. *Revue d'Économie Industrielle*, n. 144, p. 21-57, 2013.

BAILY, M.; BOSWORTH, B. U.S. Manufacturing: Understanding its past and its potential future. *Journal of Economic Perspectives*, v. 28, n. 1, p. 3-26, 2014.

BALDWIN, R. Global supply chains: why they emerged, why they matter, and where they are going. In: ELMS, D.; LOW, P. (ed.). *Global value chains in a changing world*. Geneva: World Trade Organization, p. 13-59, 2013.

BASTASIN, C. *Germany: a global miracle and a European challenge*. Washington, DC: Brookings Institution, Global Economy & Development, 2013. (Working Paper 62)

BCG – THE BOSTON CONSULTING GROUP. *Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries*, 2015.

BMBF – BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG. *The High-Tech Strategy for Germany*. Berlin: Federal Ministry of Education and Research (Bundesministerium für Bildung und Forschung), 2006.

- _____. *Ideas. Innovation. Prosperity. High-Tech Strategy 2020 for Germany*. Berlin: Federal Ministry of Education and Research (Bundesministerium für Bildung und Forschung), 2010.
- _____. *The New High-Tech Strategy: innovations for Germany*. Berlin: Federal Ministry of Education and Research (Bundesministerium für Bildung und Forschung), 2014.
- CESARATTO, S. Europe, German mercantilism and the current crisis. *Quaderni del Dipartimento di Economia Politica*. Siena: Università Degli Studi di Siena, n. 595, 2010.
- CHANG, H. J. *Chutando a escada: a estratégia do desenvolvimento em perspectiva histórica*. São Paulo: Unesp, 2004.
- _____. *Maus samaritanos: o mito do livre-comércio e a história secreta do capitalismo*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- CHANG, H. J.; ANDREONI, A.; KUAN, M. *International industrial policy experiences and the lessons for the UK*. Policy report for the UK Foresight Future of Manufacturing Project, UK Government Office of Science, 2013.
- COHEN, D.; SARGEANT, M.; SOMERS, K. 3-D printing takes shape. *McKinsey Quarterly*, Jan. 2014. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/3-d-printing-takes-shape>>. Acesso em: 29 jul. 2016.
- DAUDERSTÄDT, M. *Germany's economy: domestic laggard and export miracle*. Friedrich-Ebert-Stiftung, prepared for the FES Regional Forum on "The Economy of Tomorrow", 2012.
- DE WECK, O. *et al.* Trends in advanced manufacturing technology innovation. Draft version for the Production in the Innovation Economy (PIE) Study. Massachusetts Institute of Technology (MIT), 2013. Mimeo.
- DEUTSCHE BANK RESEARCH. *Industry 4.0: upgrading of Germany's industrial capabilities on the horizon*. Frankfurt: Current Issues, Sector Research, 2014.
- EVANS, P. *Embedded autonomy: states and industrial transformation*. Princeton: Princeton University Press, 1995.
- FREY, C.; OSBORNE, M. *The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation?* [S.l.]: Oxford Martin Programme on Technology and Employment, 2013. (Working Paper n. 1.341)

GERTNER, J. Does America need manufacturing? *New York Times*, Aug. 24, 2011. Disponível em: <http://www.nytimes.com/2011/08/28/magazine/does-america-need-manufacturing.html?_r=0>. Acesso em: 29 jul. 2016.

HANCKÉ, B.; COULTER, S. *The German manufacturing sector unpacked: institutions, policies and future trajectories*. Policy report for the UK Foresight Future of Manufacturing Project, UK Government Office of Science, 2013.

KALDOR, N. The role of increasing returns, technical progress and cumulative causation in the theory of international trade and economic growth. *Economie Appliquée*, v. 34, n. 4, p. 593-617, 1981.

KUPFER, D. Indústria 4.0 Brasil. *Valor Econômico*, 8 ago. 2016. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/opiniaio/4661797/industria-40-brasil>>. Acesso em: 8 ago. 2016.

LEHNDORFF, S. German capitalism and the European crisis: part of the solution or part of the problem? In: LEHNDORFF, S. (ed.). *A triumph of failed ideas: European models of capitalism in the crisis*. Brussels: European Trade Union Institute, p. 79-102, 2012.

LOURAL, C. *Um panorama de novas tecnologias e seus impactos na indústria*. Campinas: Unicamp/IE/NEIT, 2014. Mimeo.

MGI – MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. *Manufacturing the future: the next era of global growth and innovation*. [S.l.]: McKinsey & Company, 2012.

MILBERG, W.; WINKLER, D. *Outsourcing Economics: Global Value Chains in Capitalist Development*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

NSTC – NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL. *A national strategic plan for advanced manufacturing*. Washington, DC: NSTC, 2012.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *Enabling the next production revolution: issues paper*. Background document prepared for the Danish Production Council conference “Shaping the Strategy for Tomorrow’s Production” em Copenhagen. Directorate for Science, Technology and Innovation. Committee on Industry, Innovation and Entrepreneurship. March, 2015.

- O'SULLIVAN, E. *et al.* What is new in the new industrial policy? A manufacturing systems perspective. *Oxford Review of Economic Policy*, v. 29, n. 2, p. 432-462, 2013.
- PCAST – PRESIDENT'S COUNCIL OF ADVISERS ON SCIENCE AND TECHNOLOGY. *Report to the President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing*. Washington, DC: PCAST, 2011.
- _____. *Report to the President on Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing*. Washington, DC: PCAST, 2012.
- _____. *Report to the President on Accelerating U.S Advanced Manufacturing*. Washington, DC: PCAST, 2014.
- PISANO, G.; SHIH, W. Restoring American competitiveness. *Harvard Business Review*, v. 87, n. 7-8, p. 114-125, Jul.-Aug., 2009.
- _____. *Producing prosperity: why America needs a manufacturing renaissance*. Boston: Harvard Business Review Press, 2012.
- ROSENBERG, N. Technological change in the machine tool industry, 1840-1910. *The Journal of Economic History*, v. 23, n. 4, p. 414-443, 1963.
- SCHWAB, K. *The fourth industrial revolution*. Geneva: World Economic Forum, 2016.
- SERRANO, F. A economia americana, o padrão 'dólar-flexível' e a expansão mundial nos anos 2000. In: FIORI, J. L.; SERRANO, F.; MEDEIROS, C. (ed.). *O mito do colapso do poder americano*. Rio de Janeiro: Record, 2008.
- SHIH, W. What it takes to reshore manufacturing successfully. *MIT Sloan Management Review*, v. 56, n. 1, p. 55-62, 2014.
- SHIPP, S. *et al.* *Emerging global trends in advanced manufacturing*. Washington, DC: Institute for Defense Analysis, 2012. (IDA Paper 4603)
- SIMON, H. *Hidden champions of the twenty-first century: the success strategies of unknown world market leaders*. Berlin: Springer, 2009.
- SINN, H.-W. The pathological export boom and the bazaar effect: how to solve the German puzzle. *The World Economy*, v. 29, n. 9, p. 1.157-1.175, 2006.
- STORM, S.; NAASTEPAD, C. *Crisis and recovery in the German economy: the real lessons*. Institute for New Economic Thinking.

Working Group on the Political Economy of Distribution, 2014. (Working Paper n. 2)

TASSEY, G. The disaggregated technology production function: a new model of university and corporate research. *Research Policy*, v. 34, p. 287-303, 2005.

_____. Modeling and Measuring the Economic Roles of Technology Infrastructure. *Economics of Innovation and New Technology*, v. 17, n. 7, p. 617-631, 2008.

_____. Rationales and Mechanisms for Revitalizing US Manufacturing R&D Strategies, *Journal of Technology Transfer*, v. 35, n. 3, p. 283-333, 2010.

THE ECONOMIST. *A third industrial revolution*. Special report: manufacturing and innovation. Apr., 2012.