

TEXTO PARA DISCUSSÃO

2789

**CATCH-UP TECNOLÓGICO E
SUPERACÃO DA ARMADILHA DA
RENDA MÉDIA: O CASO DA CHINA
NO SETOR DE SEMICONDUTORES**

UALLACE MOREIRA



NAÇÕES UNIDAS

CEPAL



**CATCH-UP TECNOLÓGICO E SUPERAÇÃO
DA ARMADILHA DA RENDA MÉDIA:
O CASO DA CHINA NO SETOR
DE SEMICONDUTORES**

UALLACE MOREIRA¹

1. Professor adjunto da Faculdade de Economia da Universidade Federal da Bahia (FE/UFBA) e consultor no âmbito do Programa Executivo de Cooperação CEPAL/Ipea.

Governo Federal

Ministério da Economia

Ministro Paulo Guedes

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério da Economia, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente

ERIK ALENCAR DE FIGUEIREDO

Diretor de Desenvolvimento Institucional

ANDRÉ SAMPAIO ZUVANOV

**Diretor de Estudos e Políticas do Estado, das
Instituições e da Democracia**

FLÁVIO LYRIO CARNEIRO

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas
MARCO ANTÔNIO FREITAS DE HOLLANDA CAVALCANTI

**Diretor de Estudos e Políticas Regionais,
Urbanas e Ambientais**

NILO LUIZ SACCARO JUNIOR

**Diretor de Estudos e Políticas Setoriais de
Inovação e Infraestrutura**

JOÃO MARIA DE OLIVEIRA

Diretor de Estudos e Políticas Sociais

HERTON ELLERY ARAÚJO

**Diretor de Estudos e Relações Econômicas e
Políticas Internacionais**

PAULO DE ANDRADE JACINTO

**Assessor-chefe de Imprensa e
Comunicação (substituto)**

JOÃO CLÁUDIO GARCIA RODRIGUES LIMA

Ouvidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

URL: <http://www.ipea.gov.br>

Texto para Discussão

Publicação seriada que divulga resultados de estudos e pesquisas em desenvolvimento pelo Ipea com o objetivo de fomentar o debate e oferecer subsídios à formulação e avaliação de políticas públicas.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2022

© Nações Unidas 2022

LC/BRS/TS.2022/1

Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica
Aplicada.- Brasília : Rio de Janeiro : Ipea , 1990-

ISSN 1415-4765

1. Brasil. 2. Aspectos Econômicos. 3. Aspectos Sociais.
I. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CDD 330.908

As publicações do Ipea estão disponíveis para download gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos).
Acesse: <http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério da Economia e da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL).

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

Os Estados-membros das Nações Unidas e suas instituições governamentais podem reproduzir este estudo sem autorização prévia. É solicitado, apenas, que mencionem a fonte e informem à CEPAL sobre essa reprodução.

Este estudo foi elaborado no âmbito do Programa Executivo de Cooperação entre a CEPAL e o Ipea.

JEL: L52; O3; F23.

DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2789>

SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

| | |
|---|-----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 6 |
| 2 METODOLOGIA..... | 10 |
| 3 TEORIA DO CICLO DE VIDA DA TECNOLOGIA E DO SSI..... | 15 |
| 4 EVOLUÇÃO RECENTE DAS POLÍTICAS INDUSTRIAIS E DE INOVAÇÃO NA CHINA..... | 23 |
| 5 INDÚSTRIA 4.0 E O SETOR DE SEMICONDUTORES NA ECONOMIA MUNDIAL: O LUGAR DA CHINA E SEUS DESAFIOS | 60 |
| 6 CONCLUSÃO | 122 |
| REFERÊNCIAS | 124 |

SINOPSE

Este estudo analisa as estratégias de catching-up e leapfrogging implementadas na China, como mecanismo de superar a armadilha da renda média. Utiliza-se o arcabouço teórico e metodológico do sistema setorial de inovação (SSI – em inglês, sectoral systems of innovation) e estratégia de catch-up de acordo com o ciclo de vida tecnológico do produto, como estratégia viável de inserir-se em fronteiras tecnológicas mais avançadas, assim como romper com os limites do desenvolvimento. Nesse sentido, analisou-se o setor de semicondutores como estudo de caso, principalmente por ser um setor que está na fronteira tecnológica e se tornou mais relevante ainda com a ascensão e a expansão do que se convencionou chamar de Indústria 4.0. O papel estratégico que o setor de semicondutores tem ganhado na economia internacional tornou-se também alvo de disputas tecnológicas entre China e Estados Unidos. Analisando-se um conjunto de indicadores e a evolução das políticas implementadas na China para promover o setor de semicondutores, afirma-se que há elementos que apontam para o fato de que, até mesmo diante das suas limitações, o país tem logrado avanços consideráveis na construção da indústria de semicondutores, o que permite afirmar que o futuro desse setor na China é promissor.

Palavras-chave: semicondutores; sistema setorial de inovação; catch-up tecnológico; setores de ciclo curto tecnológico.

ABSTRACT

This discussion paper analyzes the catching-up and leapfrogging strategies implemented in China as a mechanism to overcome the middle-income trap. For this, it adopts the theoretical and methodological framework of the sectorial innovation system and the technological catch-up according to the technological life cycle of the product. This framework has proven to be efficient in promoting greater insertion of countries in the most advanced technological frontiers, breaking the limits that impede success in the path of economic development. In this sense, in this study, the semiconductor sector was analyzed as a case study, mainly because it is a sector that is on the technological frontier and has become even more relevant with the growth of what is conventionally called Industry 4.0. The strategic role that the semiconductor sector has achieved in the international economy has also become the target of technological disputes between China and the US. Analyzing the historical trajectory of policies implemented in China for the development of semiconductors, it appears that there are elements that point to the fact that, despite its limitations, the country has made considerable progress, which allows us to affirm that the future of China's semiconductor industry is promising.

Keywords: semiconductors; sectoral system of innovation; technological catch-up; short-cycle technology sectors.

1 INTRODUÇÃO

No período recente, o debate em torno das trajetórias diferenciadas de desenvolvimento entre América Latina e Leste Asiático passou a ser direcionado pelo conceito de armadilha da renda média (*middle-income trap*). Basicamente, de acordo com Gill e Krahas (2007), esse conceito expressa uma situação de países em fase de estagnação ou baixo crescimento econômico, que já completaram um estágio de crescimento, superando as armadilhas da pobreza e a malthusiana. A armadilha da renda média é um desafio para todos os países retardatários que já alcançaram um estágio de crescimento, mas que, por várias razões, estagnaram na sua trajetória de crescimento que propiciasse um nível de desenvolvimento econômico que levasse esse país à condição de uma nação rica.

Sonaglio, Missio e Pereira (2016) afirmam que a literatura sobre a armadilha da renda média é recente e reúne duas principais abordagens, quais sejam: i) uma que tem como principal elemento de análise o crescimento lento dos países e a dificuldade de convergência com os padrões de riqueza das economias com maiores níveis de renda *per capita*; e ii) outra analisa as forças motrizes e a falta de mudança estrutural nessas economias, ao considerar seu processo de inserção internacional com a capacidade de competitividade global desses países.

Para Zagato *et al.* (2019), convergindo com a segunda corrente de análise citada anteriormente, o termo *armadilha da renda média* tornou-se sinônimo de economias baseadas em mão de obra barata e/ou abundância de recursos naturais, as quais se deparam com desafios ao entrarem em atividades calcadas em conhecimento e de alto valor agregado, principalmente quando se inseriram no comércio internacional. Esse choque está associado a fragilidades nas estruturas produtivas dos países que ficaram presos na armadilha da renda média, de modo que teóricos e pesquisas semelhantes recentes de complexidade econômica têm buscado quantificar essas restrições produtivas estruturais e identificar oportunidades existentes nos níveis intermediários de desenvolvimento econômico. Com isso, esses estudos apontam, por um lado, que as economias de renda média tendem a sentir uma atração gravitacional para se manterem no campo da produção de bens e serviços pouco ou médio sofisticados, enquanto, por outro lado, países em níveis intermediários tendem também a apresentar as maiores oportunidades de realizar o *leapfrogging* para atividades mais complexas e não correlatas, uma vez que esses países apresentam um padrão mínimo de capital humano, infraestrutura e outros fatores que permitem atividades mais complexas, tanto por meio da atuação de empresas públicas como por intermédio de firmas privadas, nacionais ou estrangeiras, via investimentos diretos estrangeiros (IDEs).

De acordo com Wade (2018), não existe estreita correlação entre o nível de renda do país e a desaceleração de crescimento, pois o que pode ser identificado é uma estreita correspondência

TEXTO para DISCUSSÃO

entre o ritmo acelerado de crescimento e a subsequente desaceleração acentuada, independentemente do nível de renda. Além do mais, a principal tendência nos padrões de crescimento é a regressão em relação à média global – isto é, episódios de crescimento rápido que duram mais de quinze anos são raros. Para o autor, a China estabeleceu o recorde mundial até 2010, quando já havia experimentado um crescimento acelerado em cada um dos 33 anos anteriores. Os únicos países que se aproximam são Taiwan, com 32 anos (1962-1994), e Coreia do Sul, com 29 anos (1962-1991).

Zagato *et al.* (2019) afirmam que apenas algumas poucas economias altamente desenvolvidas, como Alemanha, Japão e Suíça, se destacam por produzir bens altamente complexos. A maioria das economias, inclusive todas as africanas e a maior parte das latino-americanas e asiáticas, permanece distante da elaboração desses produtos. Considerar essas diferenças de estágio de desenvolvimento mostra que o desenvolvimento não pode ser um processo linear, e isso está associado ao fato de que – ao longo da maior parte do desenvolvimento econômico – os países produzem um número restrito ou nulo de bens complexos e, à medida que se deslocam para estágios intermediários de desenvolvimento, começam a diversificar sua produção para também ofertarem produtos mais sofisticados.

Entretanto, de acordo com os autores, muitos países não são capazes de passar a produzir uma gama mais ampla de bens sofisticados, o que tem sido descrito por diversos autores como *armadilha da renda média*. Dado esse limite de desenvolvimento para muitos países, estudos de casos de experiências de países que lograram seu *catching-up* e *leapfrogging* nas últimas décadas demonstram que estratégias de políticas industriais, considerando-se o sistema setorial de inovação (SSI – em inglês, *sectoral systems of innovation*) e o *catch-up* de acordo com o ciclo de vida do produto, têm sido uma estratégia viável de inserir-se em fronteiras tecnológicas mais avançadas, assim como romper com os limites do desenvolvimento. Portanto, esta pesquisa se mostra relevante, na medida em que adota um arcabouço teórico e metodológico que contribui para entender como a China, um dos principais atores na economia internacional, adotou estratégias de *catch-up* tecnológico para superar a armadilha da renda média. Nesse sentido, importante considerar as peculiaridades da economia chinesa, dadas as suas singularidades na relação entre Estado e mercado, particularmente na forma de condução do país com o Partido Comunista da China (PCC).

Ou seja, a economia chinesa é um exemplo de país que ultrapassou a armadilha da renda média e que vem adotando políticas para alçar-se à posição de uma nação com renda de país rico. Isso porque, no período recente, embora possamos considerar taxas de crescimento econômico acima de 6% um percentual elevado, para os padrões da China, isso representa diminuição do ritmo de crescimento até 2010, quando o percentual era de 10%. Esse crescimento está também

vinculado a uma profunda transformação estrutural da economia, com a indústria ultrapassando sua participação como proporção do produto interno bruto (PIB) em mais de 40%.

Além do elevado crescimento, é relevante notar a constante evolução do PIB *per capita* do país, de acordo com a paridade do poder de compra, que em 2019 foi de US\$ 19.503. Essa variável tem sido acompanhada de maior equilíbrio social. Recentemente, o país anunciou a erradicação da pobreza extrema nos últimos condados do país. Além do mais, há claramente o crescimento de uma forte classe média no país, que já se aproxima de 300 milhões de pessoas.

Essas transformações têm sido acompanhadas de conflitos geopolíticos e tecnológicos na economia mundial, em particular com os Estados Unidos. A análise do setor de semicondutores torna-se mais essencial ainda, dado o cenário internacional chamado de “guerra fria” entre esse país e a China, especificamente diante das sanções impostas pelo primeiro sobre o segundo, impedindo acesso das empresas chinesas aos semicondutores/*chips* no mercado mundial. Entender a lógica dessas sanções, seus impactos e o futuro das grandes firmas chinesas no setor é essencial para discutir a trajetória presente e futura da consolidação do *catch-up* tecnológico chinês, pois esse cenário tem levantado questionamentos sobre a possibilidade de a economia chinesa consolidar sua posição como um país que ultrapassou a armadilha da renda média e busca tornar-se a grande potência econômica mundial.

A partir dessa perspectiva, este trabalho tem como finalidade analisar as estratégias de *catch-up* da China, em perspectiva neoschumpeteriana, como mecanismos de superar a armadilha da renda média e lograr o *upgrading* em suas estruturas produtivas para níveis mais elevados de complexidade tecnológica. Do ponto de vista da corrente de pensamento neoschumpeteriana, uma das principais estratégias para o desenvolvimento das nações e a superação da armadilha da renda média é a inovação tecnológica. Nelson (2003) afirma que o avanço tecnológico constitui simultaneamente a principal força motora e o catalisador da geração de investimentos e do apoio a estes no novo capital físico e humano, dimensões essenciais para uma trajetória de crescimento sustentável, associada a profundas transformações estruturais de um país.

Nessa mesma linha de raciocínio, Lee e Kim (2009) afirmam que a inovação tecnológica e os novos paradigmas tecnológicos são fundamentais para o *catch-up* tecnológico, principalmente se considerando países de industrialização tardia. Os autores mostram que a construção da curva de aprendizagem, que cria capacidade de absorção de conhecimento, ao investir no desenvolvimento tecnológico e no ensino superior, é mais eficaz na geração de crescimento para os países de renda média alta e alta.

TEXTO para DISCUSSÃO

Para Keun Lee (2013), o termo central sobre *upgrading* tecnológico e aprendizado nos países de *catching-up* é a capacidade de absorção, conceito este vinculado à capacidade de uma empresa de identificar, absorver e entender o conhecimento técnico que permite a inovação de produtos e processos para a empresa, criando, assim, as condições para a apropriabilidade do conhecimento. A capacidade dos países retardatários em criar estoque local de conhecimento, ou seja, o grau de difusão de conhecimento intranacional e intrafirma, é proporcional ao nível de capacidade tecnológica do país, levando-se em consideração os impactos que as particularidades das diferenças organizacionais entre empresas e países exercem sobre o processo de construção das capacidades.

Na verdade, de acordo com Lee (2013), a capacidade de absorção – compreendida aqui como a capacidade de uma empresa de identificar, valorizar, assimilar e explorar o conhecimento do ambiente econômico/tecnológico – é um elemento fundamental para o *catch-up* tecnológico e é vista como uma das principais restrições para o desenvolvimento econômico dos retardatários, como o caso da China. Sem um mínimo de desenvolvimento da capacidade de absorção do conhecimento para internalizar o processo, os ciclos tecnológicos curtos podem significar maiores barreiras para o *catch-up* tecnológico.

A constatação da existência do estágio da armadilha da renda média proporciona a busca pelos motivos que levam os países a estarem nessa condição. Kharas e Kohli (2011) afirmam que a principal origem dessa problemática é a incapacidade da maioria desses países de mudar suas estratégias de crescimento, de modo que tais países ficam incapacitados de competir com as economias de baixa renda, na medida em que predominam nessas economias baixos salários e uma pauta de exportação baseada em manufaturados com menor intensidade tecnológica, não tendo, portanto, condições de competir com economias avançadas, as quais estão inseridas nos setores de alta intensidade tecnológica. Com isso, esses países não conseguem fazer a completa transição de um modelo de crescimento sustentado em recursos abundantes – no primeiro momento, mão de obra – para um modelo de crescimento orientado pela elevada produtividade proporcionada pelo *upgrading* tecnológico. Para muitos autores, a China é o principal país na economia mundial que superou a condição da armadilha da renda média, e, em uma perspectiva neoschumpeteriana, um dos principais caminhos trilhados pela China para a superação e firmamento de país rico é o *catch-up* tecnológico.

A partir da metodologia e do arcabouço teórico proposto nesta pesquisa, utilizando-se a teoria do ciclo de vida da tecnologia e o SSI, a dinâmica de *catch-up* pode ser explicada em função da facilidade ou dificuldade associada à natureza particular dos regimes de tecnologias e mercado. Dessa forma, deve-se analisar como os atores, tais como empresas e governos, respondem ao regime de tecnologias e mercado em relação à exploração das potencialidades, à superação dos

limites impostos pelos regimes ao processo de *catch-up* e à superação da armadilha da renda média. Com isso, considerando-se o caso da China, será necessário investigar de forma mais específica os seguintes itens.

- 1) Analisar setores específicos que são considerados estratégicos pela China para seu *catch-up*. Nesta pesquisa, a proposta é analisar o setor de semicondutores.
- 2) Analisar suas peculiaridades, considerando-se a natureza particular dos regimes de tecnologias e do mercado.
- 3) Os atores envolvidos nesse processo: empresas nacionais, privadas e estatais, bem como multinacionais.
- 4) Os limites de cada estratégia de aprendizado tecnológico via aquisição externa, tais como o uso das licenças, a transferência de tecnologia, a formação de *joint ventures*, o investimento externo direto e seus limites para a construção da capacidade de absorção.
- 5) O papel das instituições de pesquisas e universidades no processo de construção da curva de aprendizagem, com o objetivo de fortalecer o potencial de capacidade de absorção do conhecimento.
- 6) Analisar as políticas tecnológicas e as políticas industriais.
- 7) Analisar todas essas dimensões apresentadas, considerando-se o cenário geopolítico atual, particularmente ao se analisar as sanções impostas pelos Estados Unidos e seus impactos sobre o setor de semicondutores na China, avaliando-se as novas políticas para a continuidade do *catch-up* tecnológico do país.

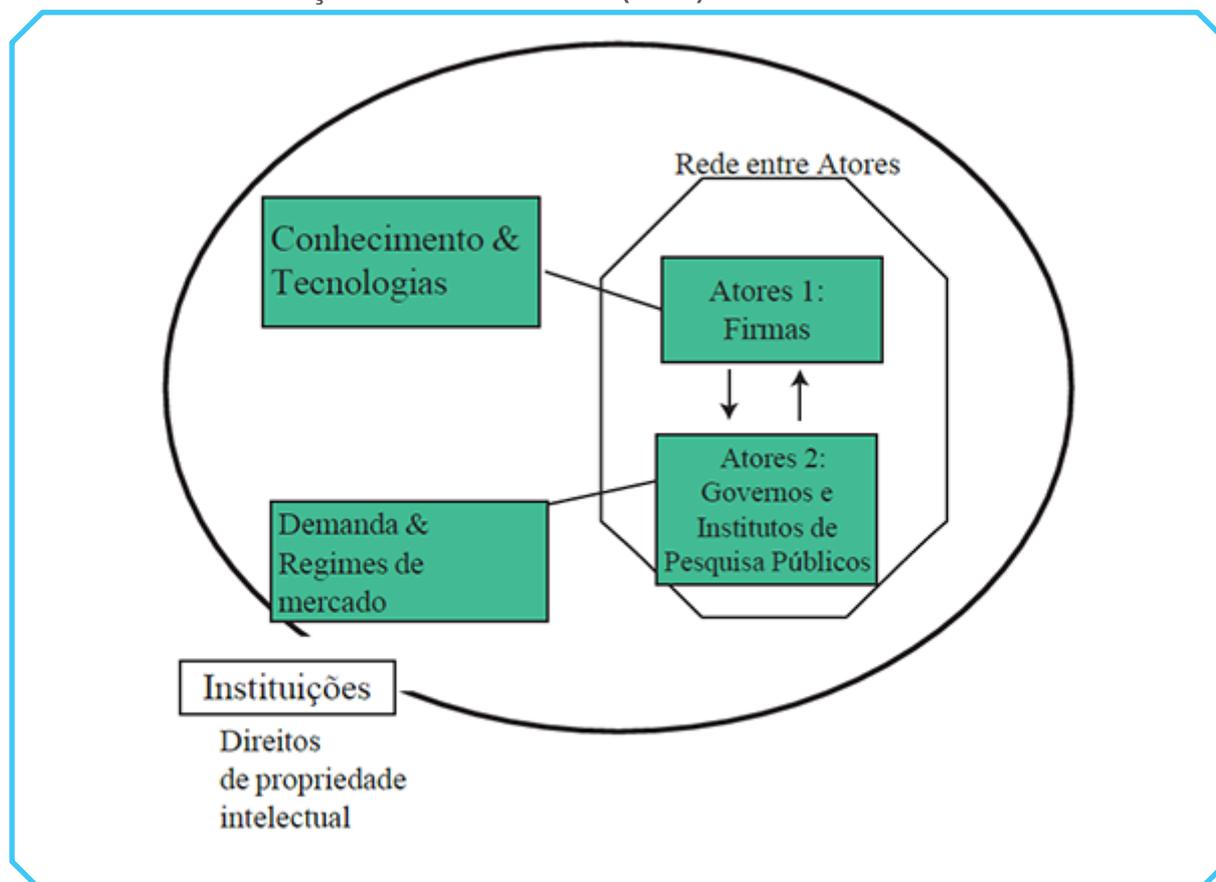
Além desta introdução, este estudo é composto por mais cinco seções. Na seção 2, apresenta-se a metodologia de pesquisa adotada neste trabalho. Na seção 3, revelam-se as principais ideias da teoria do ciclo de vida do produto e do SSI. Na seção 4, discute-se a evolução recente das políticas de inovação na China, com a finalidade de lograr crescimento econômico, com forte processo de transformação estrutural, em direção a setores produtivos mais intensivos em tecnologia. Na seção 5, analisam-se a evolução das políticas voltadas especificamente para o desenvolvimento do setor de semicondutores na China, seus impactos, o progresso do setor e seus desafios. Por fim, a conclusão apresenta uma síntese das principais ideias deste trabalho.

2 METODOLOGIA

A adaptação de Lee, Mani e Mu (2012) do modelo de SSI para analisar as possibilidades de países de industrialização tardia alcançarem o *catch-up* é representada pelas figuras 1 e 2.

FIGURA 1

Blocos de construção do SSI de Malerba (2004)

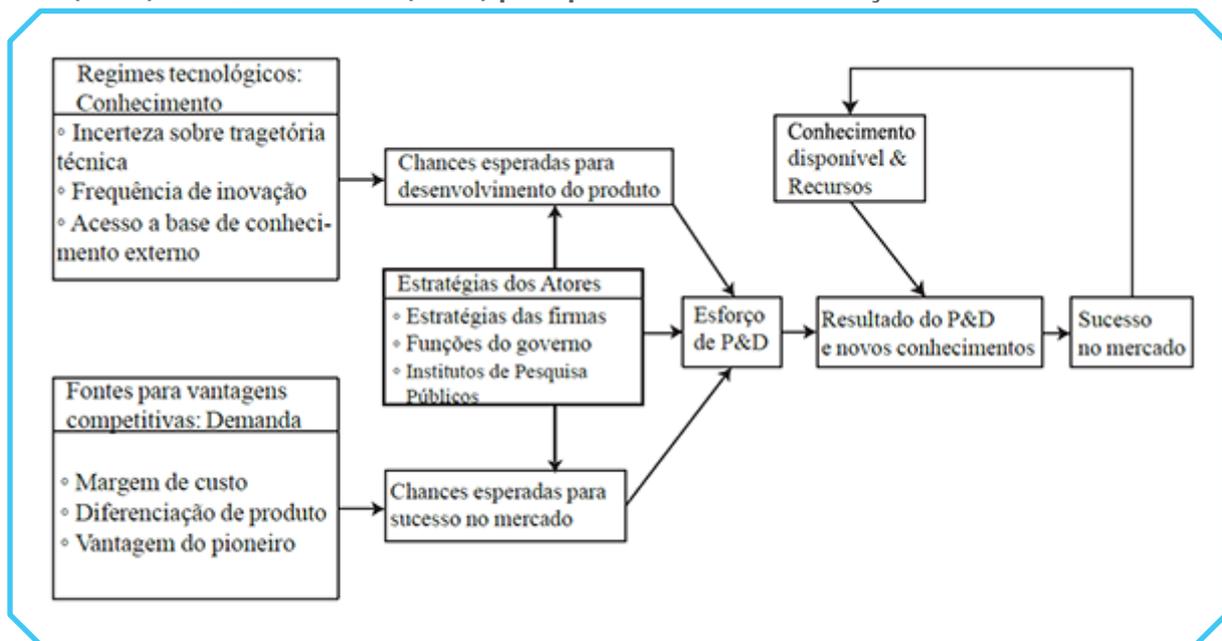


Fonte: Malerba (2004).

Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

FIGURA 2

Modelo de *catch-up* tecnológico e mercadológico e SSI adaptado por Keun Lee (2013) e Lee, Mani e Mu (2012) para países de industrialização tardia



Fontes: Lee (2013) e Lee, Mani e Mu (2012).

Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Na figura 1, estão as principais dimensões/blocos que compõem o SSI de Malerba. Em relação ao bloco de conhecimento e tecnologias, concernente aos atores (firmas, governos, empresas nacionais e estrangeiras, universidades e centros tecnológicos de pesquisa – institutos governamentais de pesquisa – IGP), Malerba (2004) e Malerba e Nelson (2011) chamam atenção para uma parte importante do conhecimento setorial, que são os campos científicos e tecnológicos na base de atividades inovadoras em um setor. Outra parte importante diz respeito à aplicação. As fontes de oportunidades tecnológicas diferem acentuadamente entre os setores, pois em alguns as condições de oportunidade estão relacionadas a grandes descobertas científicas nas universidades, enquanto em outros as oportunidades para inovar geralmente podem advir de pesquisa e desenvolvimento (P&D) realizada por empresas do setor direcionadas ao *design* de novos produtos e processos de produção.

Além do mais, as diferenças setoriais também estão relacionadas ao tipo de estrutura da indústria, bem como ao papel de multinacionais, redes, demanda, laboratórios de pesquisa pública e universitária, finanças, políticas governamentais, regulamentação e normas e processos coevolutivos.

Outro ponto relevante está relacionado ao papel desempenhado pelas empresas multinacionais em diferentes setores e diversos países. Em setores como *software*, produtos farmacêuticos e semicondutores, as empresas multinacionais governaram globalmente o processo de inovação e estabeleceram cadeias globais de valor nas quais a produção internacional é terceirizada. Nesse sentido, alguns países em *catch-up* analisados pelos autores citados tiveram de se especializar em algumas linhas de produtos, devido às suas vantagens específicas em termos de custos de mão de obra, habilidades ou localização. As empresas bem-sucedidas acabaram conseguindo aprender em um estágio específico de pesquisa ou produção e, eventualmente, mover a escada da aprendizagem para estágios mais avançados de produção ou pesquisa. Em outros setores, como telecomunicações e automóveis, licenças de multinacionais ou de empresas estrangeiras ou *joint ventures* e alianças têm sido amplamente utilizadas pelas empresas domésticas para aprender e acumular capacidades (Malerba e Nelson, 2011; Malerba, 2004).

As condições de demanda e regimes de mercado e os atores (governo e instituições públicas de pesquisa) fazem parte do processo de *catch-up* de duas maneiras: exportações e mercado interno. Na maioria dos casos, as exportações foram os impulsionadores do *catch-up*, tanto para pequenas como para grandes empresas. É o caso de semicondutores, telecomunicações, produtos farmacêuticos, *software* e automóveis. A dimensão do mercado interno – para países como China, Índia e Brasil, que possuem um grande mercado doméstico – tem sido um dos principais impulsionadores do processo de aprendizado e do acúmulo de capacidade pelas firmas domésticas.

A política governamental – ator fundamental na estrutura do SSI – exerce papel essencial, por intermédio do uso de seus instrumentos de políticas em apoio à P&D, promoção da concorrência, proteção de empresas domésticas, criação de institutos avançados de pesquisa do governo, como também apoio ao empreendedorismo.

Outros atores relevantes são as universidades e os laboratórios públicos de pesquisa no processo de *catch-up*, particularmente se considerando dois mecanismos: i) as universidades e as instituições de ensino superior oferecem treinamento avançado para capital humano nas áreas científica, de engenharia e administrativa; e ii) as universidades e os laboratórios de pesquisa avançada realizam pesquisas em áreas científicas e tecnológicas que são importantes para empresas nacionais.

Quando se considera o SSI, é fundamental ter clareza da sua relação sistêmica e dinâmica entre os fatores relevantes de um sistema setorial que diferem de setor para setor. Ou seja, em uma abordagem sistêmica, as dimensões que compõem um sistema setorial não funcionam isoladamente no processo de *catch-up*. Pelo contrário, estas estão vinculadas por intermédio de alguns relacionamentos complementares. Por exemplo, uma complementaridade essencial que se mostrou

necessária para o *catch-up* nos países estudados foi aquela entre o desenvolvimento de capacidades pelas empresas, a formação de capital humano e o acesso ao conhecimento estrangeiro por meio de redes. Em muitos países analisados, o processo de aprendizagem e o desenvolvimento de capacidades foram possíveis por meio da presença de força de trabalho qualificada e avançada, que representou a espinha dorsal da aprendizagem e fomentou a absorção do conhecimento essencial desenvolvido pelas empresas nos países da fronteira.

Como já mencionado anteriormente, o modelo de SSI de Malerba (2004) é adaptado para analisar o processo de *catch-up* de países de industrialização tardia por autores como Lee, Mani e Mu (2012), Lee (2013), Lee e Lee (2019), Lee e Malerba (2016) e Lee, Lim e Song (2005), e incorpora outras variáveis presentes na figura 2.

De acordo com Lee, Mani e Mu (2012), na figura 2, constam os elementos de um arcabouço teórico/metodológico de modelo *de catch-up* tecnológico e de mercado, considerando-se os elementos do modelo de SSI. Essa estrutura permite identificar que um dos elementos de uma trajetória de *catch-up* de sucesso é avaliar a participação de determinado país em mercados de setores específicos, levando-se em conta a sustentabilidade dessa participação.

O primeiro bloco (regimes tecnológico e de conhecimento) está relacionado à probabilidade de desenvolvimento bem-sucedido de tecnologias ou produtos específicos pelas empresas ou pelos atores. O segundo bloco (condições de demanda) determina se as tecnologias ou os produtos desenvolvidos pelos países podem ter sucesso nos mercados e, assim, aumentar suas quotas de participação de mercado. O terceiro bloco (os atores estratégicos) inclui principalmente firmas, governo e outros atores de apoio, como os sistemas financeiros. Nesse modelo, o nível de capacidade tecnológica e a decisão estratégica das empresas de como lidar com as condições de demanda e com os sistemas de conhecimento fornecidos são essenciais para um *catch-up* bem-sucedido.

O papel do governo torna-se mais primordial ainda durante o estágio inicial do desenvolvimento da tecnologia e do mercado. Essa ênfase no papel do governo é diferente da situação usual nos países avançados, pois, na maioria dos países em desenvolvimento, os mercados financeiros costumam ser deficientes, o que exige mais intervenção do governo na forma de política de crédito, assim como em gastos ou proteção inicial em P&D para os produtos locais.

No que diz respeito às condições de demanda ou regimes de mercado, considerações importantes no contexto de *catch-up* devem analisar as bases para a competitividade de mercado dos produtos pelos países de industrialização tardia. Para os autores, a competitividade pode ser baseada na margem de custo, na diferenciação do produto ou nas vantagens do pioneirismo. Entre esses três, no caso dos países avançados, o foco seria mais na vantagem de margem de

custo e na diferenciação do produto para o mercado final superior. Mas, no caso das economias em processo de *catch-up*, na maioria das vezes, os produtos dos países de industrialização tardia começam com vantagens de preço, que às vezes são combinadas com diferenciação de produto ou para mercados de baixa renda.

Para Lee (2013), a partir da análise do SSI, aliado à ideia de ciclos de vida tecnológico do produto, tem-se a hipótese básica de que o *catch-up* apresenta mais probabilidade de ocorrer quando as mudanças na tecnologia ou nas gerações de produtos ocorrem com mais frequência, como acontece em certos setores tecnológicos, e isso está associado à duração do ciclo das tecnologias. O tempo de ciclo refere-se à velocidade com que as tecnologias mudam ou se tornam obsoletas, bem como a velocidade e a frequência com que surgem novas tecnologias.

Com essas contínuas mudanças, países retardatários qualificados podem implementar políticas para especializarem-se em vantagens competitivas nesses setores e adquirirem conhecimento a respeito destes. Essa estratégia é arriscada, mas sensata, porque os países retardatários não têm de depender muito das tecnologias existentes dominadas pelos operadores históricos/produtores, em razão de o curto ciclo de tais tecnologias implicar que o domínio do operador histórico tende com mais frequência a ser interrompido, e que novas tecnologias emergentes sempre apresentam novas oportunidades.

A ideia é que os países de renda média com alguma experiência anterior e capacidade tecnológica mudem para setores baseados em tecnologia de ciclo mais curto: um tempo de ciclo curto significa que o setor depende menos das tecnologias existentes e pode, assim, aproveitar as maiores oportunidades que emergem com o surgimento de novos ciclos tecnológicos. Essa propriedade de novas oportunidades indica mais novas perspectivas de crescimento, e a propriedade de menos dependência de tecnologias existentes pode levar à localização mais rápida de mecanismo de criação de conhecimento. Essa propriedade também indica barreiras de entrada mais baixas e a possibilidade de maior lucratividade associada a menos colisão com as tecnologias de países avançados, menos pagamentos de *royalties* e até mesmo vantagens de primeira/rápida movimentação ou diferenciação de produto. Na próxima seção, as premissas da teoria do ciclo de vida da tecnologia e do SSI serão abordadas de forma mais aprofundada.

3 TEORIA DO CICLO DE VIDA DA TECNOLOGIA E DO SSI

Autores como Lee, Mani e Mu (2012), Lee (2013), Keun Lee e Jongho Lee (2019), Lee e Malerba (2016) e Malerba e Nelson (2011), por meio de estudos empíricos, adotam o arcabouço teórico do SSI, que foi desenvolvido por estudiosos vinculados à tradição neoschumpeteriana,

associado a um arcabouço da dinâmica de ciclos de vida do produto, para analisar as experiências de *catch-up* de países desenvolvidos e países de industrialização tardia.

Malerba (2004) e Malerba e Nelson (2011) afirmam que o modelo de SSI tem como ponto de partida entender a relação entre *catch-up* e sistemas setoriais de inovação, considerando-se que existem diferenças significativas entre os setores econômicos envolvidos no *catch-up* – isto é, as empresas operam em contexto de SSIs mais amplos, que diferem de setor para setor, o que implica identificar a particularidade de cada setor para lograr o *catch-up*. As principais dimensões constituintes de um SSI e sua relevância para o *catch-up* são os chamados blocos teóricos, os quais consistem em: i) regimes de conhecimento e tecnologias; ii) base de conhecimento; iii) condições de demanda – ou regimes de mercado; iv) atores e redes e coordenação entre estes; e v) instituições correlacionadas, tais como leis, cultura etc. Ou seja, o SSI analisa o desenvolvimento setorial da indústria a partir do estudo de como essas dimensões contribuíram para o avanço ou o retrocesso do processo de *catch-up* industrial de cada país.

Segundo Malerba (2004), esses elementos interagem de várias maneiras e geram diversos resultados em termos de desempenho inovador e mercado, crescimento, estrutura e dinâmica do setor. Os sistemas setoriais evoluem e mudam com o tempo. Algumas dessas mudanças são incrementais e se baseiam em características e recursos anteriores, enquanto outras são mais radicais e representam descontinuidades com o passado.

Além do mais, Malerba e Nelson (2011) chamam atenção sobre a diferença conceitual entre um sistema setorial e uma perspectiva de sistema nacional. Embora os sistemas nacionais de inovação (SNIs) considerem os sistemas de inovação como delimitados mais ou menos pelas fronteiras nacionais, uma abordagem setorial está associada a uma dinâmica em que as fronteiras do processo de inovação nos setores podem ter dimensões locais, nacionais e/ou globais. Na verdade, muitas vezes, essas três dimensões diferentes coexistem em um setor, porque as diferentes variáveis podem ter limites geográficos diferentes. Esse é um ponto muito importante para o estudo do *catch-up*, porque muitas vezes um país alcança um setor em uma divisão intrasectorial do trabalho bem-definida e da cadeia de valor global. Além do mais, essa característica do SSI permite a realização de estudos para um país e suas respectivas regiões, que é o objeto dessa proposta de projeto.

Os mesmos autores que usam o sistema setorial de inovação (Lee, Mani e Mu, 2012; Lee, 2013; Lee e Lee, 2019; Lee e Malerba, 2016; Lee, Lim e Song, 2005) estendem a estrutura do SSI original ao contexto de *catch-up* nos países em desenvolvimento ou de industrialização tardia, fazendo algumas modificações ou adaptações necessárias para tornar a estrutura desse sistema mais aplicável ao contexto específico dos países em desenvolvimento. Os autores fizeram as adaptações para estudos de casos da indústria da China, da Coreia do Sul, da Índia, do Brasil, do

Chile, das Filipinas, da Tailândia e da Malásia, e adotaram os conceitos teóricos do sistema setorial de inovação ou regimes tecnológicos como seus subcomponentes, com a finalidade de identificar as divergentes histórias de *catch-up* ou atraso desses países. Nessa adaptação, os autores deram ênfase às seguintes dimensões do SSI: i) importância do acesso à base de conhecimento estrangeira; ii) papel inicial de promoção e coordenação do governo; e iii) modo de criar e manter vantagens e capacidades competitivas de empresas locais ou nacionais. Essas dimensões se fazem fundamentais para a proposição de políticas industriais em países de industrialização tardia, em particular se considerando os setores mais intensivos tecnológicos.

Lee, Gao e Li (2017) afirmam que o sistema setorial de inovação de Malerba (2004) é resultado da evolução da literatura de SNIs, preconizada por neoschumpeterianos, como Lundvall (1992). O SSI é adaptado para analisar países de industrialização tardia, aplicada a um contexto no qual a dinâmica de *catch-up* pode ser explicada referindo-se à facilidade e à dificuldade associada à natureza particular dos regimes de tecnologias e mercado. Em seguida, esse sistema estuda como os atores, tais como empresas e governos, respondem ao regime de tecnologias e mercado em relação à exploração das potencialidades ou superação dos limites impostos pelos regimes. Trata-se de detalhes de divergência dinâmica, e tal divergência reflete a heterogeneidade dos setores, bem como as respostas dos atores.

A partir do uso dos elementos do SSI, estudos de Lee, Mani e Mu (2012), Lee (2013), Keun Lee e Lee (2019), Lee e Malerba (2016) e Lee, Lim e Song (2005) incorporam ao SSI como modelo analítico a teoria do ciclo temporal tecnológico, com a finalidade de analisar as estratégias de *catch-up* de países de industrialização tardia e que conseguiram um *upgrading* em suas estruturas produtivas. Para os autores, a principal estratégia de países tardios – como China, Coreia do Sul e Taiwan –, para avançar em seu processo de industrialização e superar a armadilha da renda média, foi implementar políticas de *catch-up* em produtos com ciclos de vida de curto prazo, e não em produtos de ciclos de vida de longo prazo, tornando, assim, possível a esses países o *catch-up* em setores industriais mais intensivos em tecnologia.

Lee, Mani e Mu (2009) e Lee (2013) afirmam que Posner (1961) e Vernon (1966) foram alguns dos primeiros a fazer estudos sobre o ciclo de vida internacional dos produtos, analisando a imitação e a entrada em novas indústrias pelos países em desenvolvimento. Entretanto, esse arcabouço teórico se mostrou limitado para explicar os ciclos de *catch-up*, pois tinham como foco principal as diferenças de custo de produção, fato este que não permite uma maior compreensão do atraso das economias de industrialização tardia. Esse arcabouço tinha fragilidades, tais como:

- era aplicado a produtos, e não a indústrias;
- considera “ciclo de vida” único de determinado produto ou tecnologia;
- está associado às indústrias que não geram múltiplas tecnologias em sua trajetória de desenvolvimento;
- tem uma teoria que se concentra somente na imitação e na entrada, que são apenas o começo de uma história muito mais longa, a qual tem como fato empírico estágios posteriores de *upgrading* e, muitas vezes, mudanças de lideranças de países em alguns setores produtivos; e
- além disso, não atribui às mudanças na liderança industrial a interação de elementos industriais e institucionais.

A teoria pressupõe implicitamente que a liderança de uma indústria sempre permanece nos países avançados, enquanto a ideia de ciclos de *catch-up* implica que não apenas os locais de produção, mas também as posições de liderança se movam para os países em desenvolvimento.

A partir do arcabouço do SSI, em uma perspectiva dinâmica, aliando-se à lógica do ciclo de vida do produto, os autores mostram que existe um ponto de partida de *catch-up*, o qual permite explicar por que alguns países logram o *catch-up*, enquanto outros acabam declinando – isto é, entrando na armadilha da renda média, ou permanecendo na condição de país periférico.

O conceito de ciclo de vida tecnológico está associado à duração da expectativa de vida do conhecimento específico que está sendo usado no produto. Um produto de ciclo de vida de curto prazo da tecnologia significa que a vida útil do conhecimento dura apenas alguns anos, e, depois disso, o uso diminui drasticamente à medida que se torna desatualizado ou menos utilizado. O tempo de ciclo da tecnologia é calculado medindo-se os intervalos médios entre os anos de aplicação (concessão) das patentes e de suas citações. Ou seja, significa quanto uma patente depende, em média, de tecnologias antigas para a invenção de novos conhecimentos (Lee, 2013; Lee e Lee, 2019).

Em seus estudos, Lee (2013) mostra que os principais países avançados são especializados em setores com tempos de ciclo relativamente mais longos da tecnologia, enquanto países de industrialização tardia, como Coreia do Sul e Taiwan, mostraram tendência a se concentrar em setores com tempos de ciclo relativamente mais curtos desde meados da década de 1980. Na verdade, esses países usaram essa estratégia de se especializar em produtos de ciclo de vida de curto prazo como mecanismo de avançar no *catch-up*.

TEXTO para DISCUSSÃO

Alguns elementos são fundamentais para que os países de industrialização tardia busquem a especialização em setores com ciclo de vida mais curtos e são descritos a seguir.

- 1) A especialização em setores com ciclo da tecnologia de curto prazo significa que o conhecimento existente se torna obsoleto rapidamente. Isso implica menores barreiras à entrada para os retardatários, pois estes podem confiar menos no conhecimento existente dominado pelos países avançados.
- 2) A importância de ter ciclo da tecnologia de curto prazo, como nas tecnologias da informação (TIs); isso implica que a nova tecnologia chega com mais frequência, o que resulta em alto potencial de crescimento.
- 3) A especialização em setores com tempos curtos de ciclo da tecnologia facilitaria rapidamente o aumento do grau de localização do conhecimento. Aqui seria vantajoso obter uma internalização rápida e bem-sucedida da criação de conhecimento, o que reduziria a dependência de conhecimento antigo ou existente controlado por países avançados (Lee, 2013; Lee e Lee, 2019).

Nos estudos empíricos dos países de industrialização tardia e desenvolvidos, Lee (2013) e Lee e Lee (2019) mostram que há correlação significativa entre ter mais pedidos de patentes em campos concernentes a tempos de ciclo mais curtos da tecnologia e maior taxa de crescimento do PIB *per capita*, como nos países do Leste Asiático, incluindo-se Coreia do Sul e Taiwan. Por sua vez, o crescimento econômico em países de alta renda e em outros países de renda média está positivamente relacionado à especialização em tecnologias de ciclos de vida de longo prazo, embora tenham diferido quanto às economias avançadas especializadas em setores de alto valor agregado – por exemplo, produtos farmacêuticos – e a outros países de renda média, em setores de baixo valor agregado – a exemplo de aparelhos, tais como conectores eletrônicos, iluminação elétrica, transporte terrestre e aquecimento elétrico. Essa constatação sugere que a especialização em setores com tempos de ciclo curtos de tecnologia é uma maneira de evitar a concorrência direta com países avançados e fornecer um nicho de mercado para os países mais atrasados com certa taxa de lucro.

A estrutura teórica da teoria dos ciclos temporais da tecnologia, associada a uma estrutura sucessiva do ciclo de *catch-up*, no qual as inovações constantes geram janelas de oportunidades, pode fornecer indicações políticas de *catch-up* para os países em desenvolvimento, com o objetivo de sustentar o crescimento econômico e superar o estágio de renda média ou escapar da chamada armadilha da renda média (Lee, 2013).

Lee e Malerba (2016) e Lee (2013) afirmam que o conceito de sucessivos ciclos de *catch-up* e mudanças na liderança industrial é importante, dado que o surgimento de novas fronteiras

tecnológicas abre novas janelas de oportunidades para o *catch-up* de países/regiões de industrialização tardia. Nesse sentido, como visto na tabela 1, os autores expõem quatro estágios de *catch-up*.

O primeiro estágio é o de “entrada”, no qual o país retardatário tenta entrar em um setor utilizando vantagens de países de industrialização tardia, como condições iniciais específicas ou fatores macro, e custos de fatores baixos, via imitação-*original equipment manufacturing* (OEM), com estratégia de aprendizagem *path-following* e *learning-by-doing*. OEM é uma configuração de terceirização de produção em que um comprador – que é o proprietário de uma marca – fornece o *design*, as especificações do produto e qualquer outro detalhe de produção a um fabricante que executa a produção ou a montagem. Com o OEM, uma empresa basicamente terceiriza apenas a fabricação do produto. Um exemplo claro é a produção de iPhones, em que qualquer atividade de engenharia e *design* de ponta é executada nos Estados Unidos, incluindo-se a produção de componentes estratégicos, enquanto a montagem é terceirizada para fornecedores chineses especializados, que operam em escala e contribuem para diminuir os custos de produção. O segundo estágio é o *catch-up* gradual em termos de participação de mercado, que geralmente se baseia em vantagens de custos, investimentos, aprendizado e no acúmulo gradual de recursos, ainda via imitação-OEM, mas com estratégia de aprendizagem *path-following stage-skipping* e *learning-by-doing*.

De acordo com Lee (2013), a ideia principal da identificação dos estágios de desenvolvimento tecnológico é que o avanço até o primeiro e o segundo estágios é relativamente fácil e ocorre na maioria dos países em desenvolvimento, ao passo que poucas empresas chegam ao terceiro estágio de aprendizado de *design*.

TABELA 1**Padrões de *catching-up* e estágios de desenvolvimento tecnológico**

| Estágios de <i>catch-up</i> | Estágio 1 | Estágio 2 | Estágio 3 | Estágio 4 |
|---|-----------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|
| Padrões de <i>catch-up</i> | Duplicative Imitation (OEM) | Duplicative Imitation (OEM) | Criative Imitation (ODM ou OBM ¹) | Real Innovation (OBM) |
| Aprendizagem do objeto (<i>learning object</i>) | Path-following | Path-following/ stage-skipping | Stage-skipping | Path-leading/ path-creating |
| | Operational skills | Process technology | Design technology (for existing products) | New product development technology |

(Continua)

TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

| Estágios de <i>catch-up</i> | Estágio 1 | Estágio 2 | Estágio 3 | Estágio 4 |
|---|---|--|---|---------------------------------------|
| Aprendizagem do mecanismo (<i>learning mechanism</i>) | Learning by doing (production following manuals and guidance) | Learning by doing (production following product designs) | How to learn? (crisis and switches to in-house R&D, R&D consortia, and overseas R&D outposts) | Co-development Strategic alliances |

Fonte: Lee (2013).

Elaboração do autor.

Nota: ¹ *Original brand manufacturing*.

Do ponto de vista do primeiro estágio, a realocação de fábricas para países periféricos com menores salários ou condições de custo pode corresponder aos estágios de entrada. As diferenças de custo são condições iniciais favoráveis para os retardatários se familiarizarem com as tecnologias existentes e, eventualmente, gerarem receita para novos investimentos em tecnologias de produção.

Esse tipo de *catch-up* com base nas vantagens de custo dos fatores não é raro, mas não leva facilmente à reversão da condição de país retardatário, a menos que este desenvolva um nível mais alto de capacidades combinadas com a propriedade local, a produção local, P&D e um sistema setorial eficaz para sustentar a inovação e o crescimento. É nesse ponto que muitos países falham, ao não conseguirem transitar nos ciclos, fracassando justamente em implementar políticas para o *upgrading* em direção a produtos de maior valor agregado e se limitando a realizar atividades de baixo valor na cadeia de valor global, permanecendo na condição de país tardio.

O terceiro e quarto estágios representam o avançar (*forging ahead*). O terceiro estágio é o *creative imitation-ODM-OBM*, o *stage-skipping*, com o processo de aprendizagem do objeto sendo o *design technology*.

ODM é um acordo pelo qual um fabricante fornece serviços de pré-produção, como desenvolvimento de conceito de produto, *design* e engenharia, e fabrica os produtos finais usando o rótulo do comprador. Nesse caso, o comprador concentra-se apenas nas atividades de *marketing* e vendas e terceiriza as outras atividades da cadeia de suprimentos, projeto e engenharia a um fornecedor terceirizado especializado. Além do mais, o fabricante ODM projeta e fabrica um produto com a marca de outra empresa que está focada nas atividades de *marketing* e vendas do produto. Um contrato de fabricação de projeto original permite que uma firma não interessada em executar

atividades de projeto, engenharia e manufatura comercialize produtos, transferindo todas essas atividades de engenharia e projeto para um fornecedor terceirizado especializado. Para muitos, ODMs tornaram-se uma estratégia de produção amplamente usada no período recente, inclusive com muitas empresas chinesas gradualmente ganhando participações significativas nesse mercado por intermédio dessa estratégia.

Em relação à dinâmica da produção sob a OBM, o fabricante possui a marca e é totalmente responsável por projetar, fabricar e comercializar o produto. Nesse caso, não se limita a nenhuma terceirização das atividades de produção e engenharia.

A transição para o terceiro estágio requer aprendizado e aquisição de recursos de *design* ou recursos de P&D em geral. Essa transição é frequentemente percebida como uma barreira de entrada alta ou estágio de crise, porque as empresas retardatárias enfrentam sérias dificuldades para aprender como projetar e produzir produtos de maior valor agregado. Finalmente, o quarto estágio é baseado na abertura de janelas de oportunidade e nas respostas efetivas a essas janelas, com o *real innovation-OBM* e o *path-leading/path-creating new product*.

Lee e Malerba (2016) mostram que a transição de um país nos ciclos de *catch-up*, principalmente diante de estratégia de *catch-up* gradual, tem como elementos-chave o processo de aprendizagem e o desenvolvimento de capacidades. Um dos atores fundamentais para o acúmulo de longo prazo de capacidades avançadas são as empresas domésticas, as quais representam condição necessária para alcançar avanços significativos que contribuam para superar a armadilha da renda média. Outros fatores do sistema – além das políticas públicas e organizações financeiras, já relevantes no primeiro estágio – se tornam importantes: capital humano de alta qualidade; organizações educacionais avançadas; universidades capazes e organizações públicas de pesquisa; redes de empresas relacionadas; vínculos verticais com fornecedores e usuários; entre outras instituições estratégicas para o desenvolvimento do processo de aprendizagem e capacitação. Embora alguns desses fatores do sistema sejam nacionais e, portanto, afetem todos os setores, conforme destacado na literatura sobre SNIs de autores como Freeman (1987), Nelson (1993) e Lundvall (1992), outros são setoriais. Segundo Malerba e Mani (2009) e Malerba e Nelson (2011), diferentes tipos de atores, redes e instituições afetaram o *catch-up* gradual de países em diversos setores, como automóveis, semicondutores, agroalimentos e *software*.

Por exemplo, para a entrada de empresas siderúrgicas nos países de industrialização tardia, o papel do governo foi essencial tanto no Japão quanto na Coreia do Sul, uma vez que os governos forneceram grande parte dos fundos de investimento usados para financiar essas firmas. Em outros setores, a regulamentação do governo contra empresas estrangeiras resultou em condições assimétricas para a concorrência no mercado, o que permitiu aos retardatários aumentarem suas

quotas de mercado. Essa estratégia foi usada pelo governo chinês no desenvolvimento de sua indústria de TI.

A estrutura do ciclo de *catch-up*, com foco em setores de ciclos de vida do produto de curto prazo, contribui para proposições de políticas para os países em desenvolvimento de renda média irem além do estágio inicial ou escaparem da armadilha da renda média. Essa estrutura sugere uma agenda de política centrada na construção de capacidades para conduzir inovações, com o objetivo de aproveitar uma janela de oportunidade e o desenvolvimento de um sistema que seja eficaz na resposta à abertura de oportunidades de *catch-up*.

Na verdade, a estrutura teórica do SSI e do ciclo de vida do produto corrobora para a formulação de políticas de *catch-up* no tocante a países e regiões, ao considerar os setores industriais estratégicos, com ênfase em três dimensões: i) importância do acesso à base de conhecimento estrangeira; ii) papel inicial de promoção e coordenação do governo; e iii) modo de criar e manter vantagens e capacidades competitivas de empresas locais ou nacionais. Para isso, o mapeamento da estrutura industrial do país é essencial para identificar os possíveis setores que podem ser o centro das políticas de *catch-up* em direção a um maior nível de complexidade tecnológica.

Lee (2013) deixa claro que as janelas de oportunidade geradas pelos ciclos das tecnologias de curto prazo podem servir como uma janela de *catch-up* apenas para os países retardatários que já acumularam certas capacidades tecnológicas. Caso contrário, mudanças frequentes na tecnologia podem tornar-se barreiras adicionais contra o *catch-up*, dado que estas interferem na aprendizagem e na acumulação dos retardatários. Nesse caso, os ciclos curtos causam dificuldades adicionais. Para o autor, a capacidade de absorção é vista como a competência de uma empresa para identificar, valorizar, assimilar e explorar o conhecimento do ambiente econômico/tecnológico. Essa capacidade foi reconhecida como uma das principais restrições para o desenvolvimento econômico dos retardatários, como o caso da China. Sem um mínimo de desenvolvimento da capacidade de absorção do conhecimento para internalizar o processo, os ciclos tecnológicos curtos podem significar maiores barreiras para o *catch-up* tecnológico. Esses elementos podem ser identificados na trajetória recente de implementação de políticas industriais e de inovação na China, tema da próxima seção.

4 EVOLUÇÃO RECENTE DAS POLÍTICAS INDUSTRIAIS E DE INOVAÇÃO NA CHINA

O debate na literatura sobre as políticas industriais e de inovação na China tem em comum o fato de reconhecer que a prioridade a essas políticas é um fenômeno muito recente, que ganha

mais importância a partir dos anos 1990. Para Kroeber (2020, o desenvolvimento industrial da China, desde 1978, pode ser considerado como resultado de dois processos de longo prazo: i) a transição de uma economia de comando comunista para um sistema mais orientado para o mercado, com uma realocação constante de recursos do Estado para o setor privado; e ii) a adoção gradual de uma estratégia de desenvolvimento do Leste Asiático, semelhante às do Japão, da Coreia do Sul e de Taiwan, em que o Estado é um ator proeminente na condução do processo de industrialização e inovação, promovendo setores específicos. Para o autor, é um erro entender a industrialização da China como resultado simplesmente de políticas de reforma pró-mercado, ou simplesmente de uma estratégia de desenvolvimento de cima para baixo mais eficaz, pois essas duas dimensões estão presentes na China.

Outro ponto relevante apontado por Kroeber (2020) é que o processo de industrialização teve característica exclusivamente chinesa, não compartilhada no mesmo grau por outros países do Leste Asiático em desenvolvimento ou economias de transição pós-comunistas: forte dependência do investimento direto estrangeiro. Isso é de suma importância para entendermos os dois últimos grandes projetos de industrialização e inovação da China no período mais recente (Made in China 2025 – MIC 2025 e o 14º Plano Quinquenal). Esse fato é importante porque essa relação com o IDE foi substancial até 2006, mas, desde então, o governo chinês colocou como essencialidade em suas políticas industriais e de inovação a necessidade de reduzir a dependência do investimento estrangeiro e desenvolver as capacidades das empresas nacionais, comumente chamado na literatura neoschumpeteriana de *indigenous innovation* e *indigenous capabilities*.

Durante esse período recente em que a política industrial e de inovação ganhou mais centralidade na China, na administração do então presidente Hu Jintao (2003-2012), a política industrial teve um caráter considerado mais estatista, com o governo promovendo grandes projetos de infraestrutura em grande escala, implementando medidas de proteção para as estatais e desacelerando o ritmo das reformas de mercado. A ideia era permitir que as empresas chinesas recuperassem a participação de mercado contra as firmas estrangeiras que ingressaram no país na década anterior. As maiores empresas estatais foram reorganizadas sob uma agência do governo central, com o objetivo de transformá-las em campeãs globais. O State Owned Assets Supervision and Administration Commission (Sasac) tem como finalidade atuar como acionista do governo em quase duzentos grupos empresariais estatais controlados centralmente. Em vez de o próprio Conselho de Estado tentar descobrir como exercer seus interesses de propriedade no vasto império empresarial nominalmente sob seu domínio, a Sasac assumiu a responsabilidade de nomear a alta administração e responsabilizá-la pelo cumprimento de metas financeiras, como retorno sobre ativos e mercado de ações, assim como crescimento de produção e inovação e maior inserção internacional, da mesma forma que um acionista controlador de uma empresa normalmente faria.

Um elemento especialmente central da estratégia industrial do governo Hu foi o esforço para fazer com que as empresas chinesas se tornassem mais inovadoras, sob a bandeira de uma política chamada de *indigenous innovation*, lançada em 2006. Essa política incluía subsídios para P&D em várias indústrias prioritárias de alta tecnologia, recompensas para o depósito de patentes e criação de padrões técnicos, incentivo para empresas nacionais, garantia de compras públicas do governo dos produtos de fabricação chinesa, além de imposição de requisitos mais rígidos para empresas estrangeiras transferirem tecnologias-chave para empresas locais como condição para serem autorizadas a investir na China.

A ascensão de Xi Jinping ao poder, presidente da China desde 2013, começa com a identificação de algumas limitações na estrutura produtiva do país, em particular o excesso de capacidade de produção na indústria pesada e o diagnóstico da necessidade de reduzir a quantidade de empresas estatais no país. Com isso, houve consenso de que o governo precisava diminuir a ênfase na indústria pesada e fazer mais para promover o setor de serviços, desregular os preços dos principais insumos – principalmente energia, terra e capital –, com a finalidade de estimular o investimento mais orientado para o mercado e eficiente, racionalizando o número das empresas estatais em expansão, e criar mais espaço para empresas privadas.

É interessante observar que a política industrial na China está associada às políticas de inovação, preconizando o fortalecimento da inovação como estratégia para o alcance de ganhos de produtividade no setor produtivo. Dessa forma, diferencia-se das políticas tradicionais dos anos 1960 e 1970, que priorizavam a expansão da capacidade física e da busca por aumento da competitividade, perseguida na década de 1990, que era dissociada de políticas industriais mais nítidas em relação ao potencial de inovação, principalmente se consideradas as novas fronteiras tecnológicas.

De acordo com Fu (2015), no final dos anos 1980, essa relação entre a política industrial e o aprofundamento do Sistema Nacional de Inovação na China já estava em evidência, quando esse país começou a reformar seu sistema de ciência e tecnologia (C&T), por meio de uma série de políticas, priorizando P&D de tecnologias-chave. Xiwei e Xiangdong (2007) afirmam que aconteceram três reformas, a partir dos anos 1980, que foram essenciais para fortalecer o SNI da China. A primeira fase estendeu-se de 1985 a 1992. Em 1985, o governo central emitiu um decreto, cujo título era *The Solution of the Central Committee of the Communist Party of China on the Reform of the S&T System*. Esse decreto impulsionou a reforma dos centros de C&T, principalmente para fortalecer os vínculos entre universidades públicas, institutos de pesquisa e indústria. Regulamentações e leis relativas a patentes e transferência de tecnologia foram emitidas para facilitar as ligações entre essas instituições. A primeira zona nacional de desenvolvimento de alta tecnologia foi determinada em Pequim, em 1988. O Torch Program foi lançado naquele ano, para promover

o estabelecimento de zonas adicionais de alta tecnologia. O objetivo era facilitar as regulamentações e dar suporte para a construção de instalações de centros de pesquisa, para atrair empresas estrangeiras de alta tecnologia e incentivar o estabelecimento de firmas nacionais de alta tecnologia em zonas especiais em toda a China. Os planejadores do governo determinaram que essas zonas de alta tecnologia fossem instaladas nas proximidades de universidades e institutos públicos de pesquisa, com a finalidade de promover ligações entre pesquisadores e empresas.

Nessa primeira fase, chama atenção também o Plano 863, lançado em 1986, programa mais importante na área de alta tecnologia. Este cobre vinte tópicos selecionados de oito áreas prioritárias: biotecnologia, informação, automação, energia, materiais avançados, marinho, espacial, laser e tecnologia oceânica. As primeiras seis áreas são gerenciadas pelo Ministry of Science and Technology (Most), e seu objetivo era melhorar a capacidade geral de P&D da nação e acompanhar os avanços da tecnologia de ponta no mundo. Enquanto isso, o programa também impulsionava a formação de profissionais para o século XXI, mobilizando mais de 10 mil pesquisadores para 2.860 projetos a cada ano. Alguns dos resultados da pesquisa desenvolvida por esse programa se tornaram a força central de suas indústrias correspondentes.

A segunda fase estendeu-se de 1992 a 1999. No contexto da macrorreforma, a reforma do sistema de C&T passou por importantes ajustes estruturais. Dois programas foram importantes naquele período, a S&T Progress Law of PRC e o Climbing Program. Esses programas eram para promover a pesquisa básica, enquanto instituições públicas de pesquisa e universidades receberiam maior autonomia operacional para conduzir pesquisas. Uma medida importante foi o Conselho de Estado divulgar um documento, intitulado *Commissions on Education and Science*, o qual tinha a finalidade de estimular e orientar um cenário de maior estreitamento das relações entre universidades e institutos de pesquisa e as empresas, com a finalidade de promover várias formas de vínculos, incluindo serviços técnicos, cooperação para o desenvolvimento, produção e gestão, bem como investimento em tecnologia. Ademais, pesquisadores e professores universitários foram autorizados a aceitar empregos de pesquisa em tempo parcial ou integral em empresas ou estabelecer suas próprias empresas de alta tecnologia, mantendo seus cargos.

A terceira fase começou em 1999. Durante aquele período, a ideia de construir uma nação inovadora com base na ciência e tecnologia foi reafirmada, particularmente ao propor o maior fortalecimento do SNI e acelerar a comercialização dos resultados das pesquisas dos centros tecnológicos chineses. Uma medida importante foi a transformação de institutos de pesquisa aplicada de propriedade do governo em empresas de alta tecnologia ou de serviços técnicos. Em nível nacional, 242 institutos de pesquisa afiliados ao State Committee for Economics and Trade foram beneficiados com os programas de incentivo para fortalecer o potencial de inovação. Naquele

período, foi lançado o 9º Plano Quinquenal (1996-2000), que enfatizou o desenvolvimento da capacidade interna da indústria de *hardware* da China, com o objetivo de aumentar a porcentagem de componentes domésticos em computadores montados na China e na produção de periféricos. Desses 242 institutos, 131 foram integrados a corporações (grupos), quarenta foram transformados em corporações de C&T sob a regulamentação dos governos locais, 29 foram transformados em grandes corporações de C&T de propriedade do governo central, dezoito foram transformados em agências e os 24 restantes, incorporados em universidades ou fechados.

No 10º Plano Quinquenal (2001-2005), a inovação também ganha destaque, com os programas chamados Golden Projects – incluindo-se o Golden Bridge e o Golden Customs –, os quais tinham como foco o aumento das capacidades de inovação, especialmente em circuitos integrados (CIs) e tecnologia de *software*. Chama atenção a chamada The Policies for Encouraging Software Industry and Integrated Circuit industry, anunciada pelo Conselho de Estado em 2000, com grande influência no desenvolvimento da indústria de *software*, acelerando substancialmente a atividade desse setor (Xiwei e Xiangdong, 2007; Fu, 2015).

Um ponto central entre essas fases é o 12º Plano Quinquenal (2011-2015), o qual colocou a inovação como um elemento-chave para promover um padrão de desenvolvimento mais equilibrado, em que a chamada *indigenous innovations* ganhou maior relevância. Fu (2015) afirma que, no início de 2006, a China convocou uma cúpula para o National Science & Technology Summit, que publicou o National Medium and Long-Term Science and Technology Development Plan 2006-2020, cujo objetivo era aumentar o gasto com P&D de 1,2% do PIB para mais de 2,5%, que seria um índice ligeiramente acima da média dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), até 2020. Uma característica distinta do plano é a adoção da inovação como uma nova estratégia nacional e a meta de impulsionar a China no *ranking* de países orientados para a inovação até 2020. Desde então, a inovação foi reconhecida como o motor para mudar a pauta de exportações da China. Isso vai corroborar para a China superar um modelo de crescimento de estrutura produtiva que tinha como base produtos de baixo custo para um modelo de crescimento sustentável baseado em tecnologias do conhecimento, da inovação, com maior intensidade tecnológica.

É relevante notar que a implementação de várias medidas para estimular o processo de desenvolvimento da inovação nacional na China foi acompanhada pela administração dos sistemas de C&Ts por vários órgãos importantes, considerados atores estratégicos: Ministry of Education (MOE) – formalmente, o State Education Committee; Ministry of Science and Technology, com o nome oficial de State Science and Technology Committee (SSTCC); China Academy of Science (CAS); China Academy of Engineering (CAE); China Academy of Social Science (CASS); e National

Science Foundation Committee (NSFC). Essas agências cooperam com outros ministérios industriais, que também têm seus próprios institutos de pesquisa e projetos, incluindo-se o Ministry of Industry and Information Technology (MIIT); o State Administration of Machine building Industry (Sami), formalmente chamado de Ministry of Machinery Industry (MMI); e o Ministry of Electronics Industry (MEI). Esses órgãos administrativos formulam e implementam o programa e as políticas de C&T do país (Xiwei e Xiangdong, 2007; Fu, 2015).

O Ministry of Education não apenas é responsável por todo o sistema educacional, mas também serve como uma base importante para a pesquisa. Muitas das melhorias efetivas da China evoluíram de pesquisas originalmente financiadas por esse ministério. A fim de melhorar a pesquisa em alta tecnologia que atendesse às crescentes demandas da indústria, o MOE criou o University Technology Development Center, que é responsável por definir políticas para empresas afiliadas às universidades e financiar uma série de pesquisas de base nas principais universidades, incluindo alguns dos principais laboratórios universitários. O Most é composto por sete departamentos principais no nível central e é principalmente responsável pela definição de políticas de C&T, gestão de orçamento governamental de P&D e estabelecimento de leis e regulamentos relacionados. As contrapartes do governo local fornecem a certificação de pessoal técnico, avaliam os resultados da pesquisa e promovem o intercâmbio de informações nacional e internacionalmente.

A China Academy of Science é um sistema de institutos de pesquisa do governo. Fundado em 1949 como a agência líder em pesquisas relacionadas à defesa em armas nucleares, satélites e tecnologias de propulsão a jato, é o instituto de pesquisa acadêmica de alto nível responsável por projetos de pesquisa nacionais fundamentais de C&T. Na década de 1980, enquanto mantinha a pesquisa básica como sua principal preocupação, o CAS conduzia P&D que tinha grandes aplicações comerciais. O CAS também presta consultoria para importantes políticas e planos nacionais de desenvolvimento de C&T. A China Academy of Engineering agrega os mais altos institutos acadêmicos e de pesquisa em engenharia e ciências sociais. A instituição também participa da tomada de decisões governamentais em suas respectivas áreas (Xiwei e Xiangdong, 2007; Fu, 2015).

Muitos autores, como Fu (2015), Kroeber (2020) e Xiwei e Xiangdong (2007), afirmam que o sistema de inovação de 1987 seguiu o modelo de forte administração centralizada. Os institutos de pesquisa públicos – não havia nenhum privado – conduziam a maioria dos projetos de P&D, financiados principalmente pelo governo central ou local. As universidades eram as principais responsáveis pela educação, com envolvimento limitado em P&D. As empresas raramente participavam dos projetos dos institutos de pesquisa e eram responsáveis por atividades limitadas de inovação *downstream* relativas à sua produção. Sob tal sistema, pesquisadores em universidades tiveram poucos incentivos para conduzir pesquisas produtivas ou para transferir suas realizações

de pesquisa para aplicações comerciais. A partir de 2003, as firmas passam a ganhar maior relevância no SNI chinês, com as empresas – estatais e privadas – tornando-se as principais forças das atividades de TI e as universidades também passando a assumir uma base significativa para a inovação tecnológica.

Três elementos corroboram para entendermos melhor o rápido aumento nos gastos com pessoal e P&D por parte das empresas, entre 1991 e 2004.

- 1) Houve um processo de transformação de institutos de pesquisa público em institutos de empresas, de modo que os institutos públicos de pesquisa contribuíram para aumentar o número de pesquisadores e a capacidade de P&D das firmas. Entre os 1.149 institutos públicos de pesquisa transformados em instituições privadas, 1.003 tornaram-se empresas ou partes de empresas, o que significou um aumento de 102 mil funcionários de C&T nas firmas. As empresas afiliadas a universidades e institutos públicos, muitas das quais envolvidas nos setores de alta tecnologia, também aumentaram a densidade de P&D dos institutos nas firmas. As empresas vinculadas a universidades têm se desenvolvido em um ritmo acelerado desde 1991, depois que o governo endossou as diretrizes para fomentar maior aproximação entre empresas e universidades. Em 2004, havia 4.593 firmas afiliadas a universidades, com receita total de ¥ 97 bilhões.
- 2) Com a aplicação da política de abertura, desde a década de 1980, o mercado tornou-se cada vez mais competitivo, o que estimulou as atividades de P&D das empresas.
- 3) Como consequência da maior aproximação entre universidades e institutos públicos de pesquisa com empresas e institutos de pesquisas destas, houve um crescimento considerável do potencial de P&D das empresas (Xiwei e Xiangdong, 2007).

O aprofundamento das políticas industriais e de inovação na China, com a finalidade de fortalecer o SNI e lograr avanços em seu *catch-up* tecnológico, ganha maiores proporções, com dois grandes projetos no período mais recente: o MIC 2025, implementado em 2015; e o 14º Plano Quinquenal, anunciado em 2020. Ambos os planos têm como principais horizontes o aprofundamento das transformações estruturais na China em direção a uma economia mais inovadora e com estruturas industriais suficientemente competitivas em setores mais intensivos em tecnologia; dimensões vistas como fundamentais para o país consolidar-se como nação de alta renda, assim como grande potência econômica mundial.

4.1 O MIC 2025 e o 14º Plano Quinquenal

É bem possível que, do ponto de vista de proposta de política industrial e de inovação, o plano que chamou mais atenção do mundo foi o Made in China 2025, anunciado em 2015. De acordo com Wang, Wu e Chen (2020), o MIC 2025 foi o primeiro passo para transformar a China em uma

potência industrial líder mundial e foi considerado a versão chinesa da Indústria 4.0, principalmente a partir do modelo do plano Industry 4.0 da Alemanha. Uma das principais diferenças entre o MIC 2025 e o Industry 4.0 está relacionada aos seus objetivos e aos estágios de desenvolvimento dos dois países. O Industry 4.0 da Alemanha é um plano para evoluir da Indústria 3.0 para a Indústria 4.0, enquanto o MIC 2025 da China é um plano para desenvolver-se da Indústria 1.0 ou Indústria 2.0 para a Indústria 4.0.

O MIC 2025 tem como objetivo melhorar várias capacidades competitivas, como ecologia, inovação, qualidade, custo e integração de industrialização e informação (I&I). A Indústria 4.0 envolve a adoção de estratégia dupla, com o objetivo de integrar as tecnologias de informação e comunicação (TICs) com as estratégias tradicionais de alta tecnologia, bem como de criar novos mercados líderes para tecnologias e produtos do sistema cibernético físico e servir a estes. Comparando-se as metas do MIC 2025 e do Industry 4.0, estes compartilham algumas metas semelhantes, como o desenvolvimento dos setores produtivos mais intensivos em tecnologia. Entretanto, algumas das metas do MIC 2025 não são focadas pelo Industry 4.0, como a ideia da sustentabilidade.

Para Zenglein e Holzmann (2019), o MIC 2025 tem duas principais dimensões de preocupação da China: i) garantir sua superação da armadilha da renda média, principalmente com o arrefecimento do crescimento econômico a partir de 2006 (gráfico 1); e ii) identificar um problema que muitos países em desenvolvimento enfrentaram, que é o aumento dos salários real corroendo sua vantagem comparativa, tornando-os incapazes de competir com a produtividade e a inovação das economias avançadas. Para superar essa problemática, o MIC 2025 colocou como prioridade o desenvolvimento dos setores produtivos mais intensivos em tecnologia pertencentes ao que se convencionou chamar de Indústria 4.0.¹

Assim como aconteceu no final dos anos 1980 e ao longo da década de 1990, a estratégia MIC 2025 da China é principalmente uma política doméstica/nacional destinada a impulsionar as chamadas *indigenous capabilities* e a *indigenous innovation*. Aliada ao desenvolvimento nacional

1. De acordo com Leal, Lima e Filgueiras (2017), a Indústria 4.0 estaria associada também ao que se chama de Quarta Revolução Industrial, que é caracterizada por uma fusão de tecnologias que estreita as linhas entre as esferas física, digital e biológica na estrutura produtiva. As tecnologias incluem inteligência artificial (AI), robótica, internet das coisas (IoT), veículos autônomos, impressão 3-D, nanotecnologia, biotecnologia, ciência de materiais, armazenamento de energia e computação quântica. Diante dessas transformações, a questão crucial é se a combinação e a aplicação generalizada dessas tecnologias também resultariam em um efeito líquido positivo para as economias e as sociedades em geral; por exemplo, seus impactos no mercado de trabalho.

e local das capacidades de inovação interna, o MIC 2025 também coloca como estratégia as relações com economias mais avançadas com potencial tecnológico e com suas multinacionais, com o objetivo de garantir o acesso a tecnologias estrangeiras, levando para o mercado chinês cadeias de valor tecnológicas, com o intuito de reduzir a dependência de parceiros estrangeiros.

Enquanto um plano com medidas setoriais, a abordagem escolhida para cada objetivo depende da relevância de determinada indústria para os alvos estratégicos nacionais da China. Quanto maior a lacuna/gap tecnológico, mais importante é para as empresas chinesas obterem acesso ao *know-how* estrangeiro (Zenglein e Holzmann, 2019).

Para Wang, Wu e Chen (2020), Li (2018) e Zenglein e Holzmann (2019), o MIC 2025 pode ser considerado uma estratégia de desenvolvimento das estruturas produtivas similar aos chamados *modelos de desenvolvimento do Leste Asiático*, caracterizados por políticas industriais que visam a setores estratégicos e um governo forte, que alinha efetivamente os interesses comerciais (estatais e privados) com as metas nacionais. Usando esse modelo, a China acredita que irá superar com sucesso a armadilha da renda média e reduzir sua dependência de tecnologia estrangeira. Zenglein e Holzmann (2019) afirmam que, ao se tomar as nações do Tigre Asiático como exemplo (Coreia do Sul, Taiwan, Singapura e Hong Kong), o MIC 2025 visa mover partes mais sofisticadas da cadeia de valor e P&D de alto calibre para a China. Se bem-sucedido, replicaria as conquistas da indústria eletrônica em outros setores de alta tecnologia, por exemplo.

Li (2018) afirma que o MIC 2025 foi um projeto desenvolvido em conjunto pela China's National Development and Reform Commission (NDRC) e pelo Ministry of Science and Technology, com contribuições adicionais do Ministry of Information Technology Industry. O MIC 2025 é a primeira fase de um grande plano "trifásico", que guiará a China a tornar-se uma potência mundial de manufatura, cuja finalidade é dominar a produção do mundo. O plano concentra-se na melhoria da qualidade dos produtos fabricados na China, na criação de marcas próprias, bem como na construção de sólida capacidade de fabricação, por meio do desenvolvimento de tecnologias avançadas de ponta, da pesquisa de novos materiais e da produção de peças e componentes essenciais dos principais produtos. De acordo com o Conselho de Estado da República Popular da China, dez setores foram priorizados: TI; maquinário de controle numérico de ponta e automação; equipamento aeroespacial e de aviação; equipamento de engenharia marítima e fabricação de embarcações de alta tecnologia; equipamento ferroviário; veículos de economia de energia; equipamentos elétricos; novos materiais; biomedicina e aparelhos médicos de alto desempenho; e equipamentos agrícolas.

Para Li (2017), inicialmente, o plano MIC 2025 foi previsto para ser estendido a três fases. A fase I cobre o período 2015-2025; durante este, a China se esforçaria para ser incluída na lista

de países com potência global de manufatura. A fase II contempla o período 2026-2035, no qual o país alcançaria o nível médio no campo de poder manufatureiro mundial. A fase III, de 2036 a 2049, época em que a República Popular da China comemora seu aniversário de cem anos, o país lograria seu sonho de ser uma potência manufatureira líder no mundo.

Como já salientado anteriormente, Zenglein e Holzmann (2019) afirmam que a estratégia MIC 2025 da China é principalmente uma política doméstica destinada a impulsionar o *indigenous capabilities*, aliado a uma estratégia de parcerias com empresas estrangeiras, principalmente via formação de *joint ventures*, para garantir o acesso a *know-how* estrangeiro e reduzir a dependência de tecnologia. Para alcançar sua ambiciosa meta de levar ciclos inteiros de produção de alta tecnologia para o país, a China está buscando uma abordagem multifacetada ao lidar com parceiros estrangeiros. Estes podem ser categorizados em três grupos, conforme a seguir descritos.

- 1) *Bargaining chips*: são empresas estrangeiras em setores que os planejadores econômicos da China consideram de menor valor estratégico. É o caso de bens de consumo, como franquias de restaurantes ou varejo. O setor automotivo também passou para essa categoria, uma vez que grande parte de sua produção já foi transferida para a China e é menos importante para futuras atualizações. Medidas como a dispensa da exigência de *joint venture* no setor automotivo são utilizadas pelos interlocutores chineses como moeda de troca nas negociações de reciprocidade. Mas estas são muito menos significativas para as empresas estrangeiras do que seriam há uma década.
- 2) *Willing tech partners*: o governo chinês esforça-se para convencer as empresas estrangeiras a transferirem as partes mais sofisticadas de sua cadeia de valor para a China, com o objetivo de promover o *upgrading* tecnológico da indústria nacional e, direta ou indiretamente, levar à desejada incorporação dessas cadeias de valor à economia do país. O setor de eletrônicos de consumo é um exemplo da implementação bem-sucedida dessa estratégia: a China começou apenas montando produtos, mas agora produz tecnologia básica mais sofisticada e outros componentes importantes.
- 3) *Hard-to-get tech targets*: as principais empresas estrangeiras de tecnologia que retêm as partes mais importantes de suas cadeias de valor fora da China são mais difíceis de abordar. Nesse sentido, na busca de acesso ao seu *know-how* e a tecnologias, o governo chinês usa diferentes abordagens estratégicas, como:
 - atrair empresas com ofertas de melhor acesso ao mercado ou firmas que estejam mais disponíveis para fazer formação de *joint venture*, com transferência de tecnologia;
 - usar o IDE chinês para comprar grandes empresas ou *know-how* considerado crucial para os objetivos do MIC 2025; e

TEXTO para DISCUSSÃO

- adotar estratégias de absorção de tecnologias externas via imitação, ou até mesmo por meio de espionagem industrial ou ciberataques.

Não há valores exatos dos recursos destinados pelo MIC 2025, mas sem dúvida nenhuma a China está investindo centenas de bilhões de dólares para torná-lo um sucesso. Muito além dos subsídios industriais clássicos, a implementação do MIC 2025 é apoiada por uma grande variedade de ferramentas financeiras, que vão desde esquemas de compensação de seguro a incentivos fiscais, financiamento facilitado para pequenas e médias empresas e financiamento direto para zonas de demonstração e projetos-piloto.

Os principais bancos estatais, como o China Construction Bank (CCB), o Industrial and Commercial Bank of China (ICBC) e o China Development Bank Capital Corporation (CDB), vêm ampliando fortemente seus recursos para os setores considerados estratégicos. Em novembro de 2016, o CDB prometeu cerca de ¥ 300 bilhões para a implementação do MIC 2025 nos próximos cinco anos. Em março de 2018, havia mais de 1,8 mil fundos de investimento industrial do governo, com um tamanho agregado de cerca de ¥ 3 trilhões (Li, 2018; Zenglein e Holzmann, 2019).

Do ponto de vista de alguns atores estratégicos da dimensão do governo, o Ministry of Information Technology Industry e o Ministry of Finance (MOF) lançaram um fundo para estimular a modernização industrial da China. O MIIT anunciou até 25 tarefas principais para financiamento em 2017 e 2018, a fim de impulsionar as capacidades de inovação de manufatura da China – por exemplo, para semicondutores e sensores inteligentes –, apoiar inovações em novos materiais e melhorar as plataformas de serviços industriais, bem como a coordenação geral da cadeia de suprimentos. As projeções eram de que somente esse tipo de apoio financeiro chegasse a pelo menos ¥ 10 bilhões em 2017.

É relevante notar aqui também o papel das empresas nacionais – privadas e estrangeiras. As empresas estatais chinesas continuam a desempenhar um papel essencial para o desenvolvimento de indústrias estratégicas e equipamentos de alta tecnologia associados ao MIC 2025. Nos chamados setores-chave, como telecomunicações, construção naval, aviação e ferrovias de alta velocidade, as estatais ainda têm participação na receita de cerca de 83%. No que o governo chinês identificou como indústrias pilares – por exemplo, eletrônicos, fabricação de equipamentos ou automotivo –, chega a 45% (Zenglein e Holzmann, 2019).

De acordo com Zenglein e Holzmann (2019), as empresas privadas nacionais também exercem papel estratégico no MIC 2025. Com as reformas, houve processos de fusões e aquisições de empresas estatais, de modo que firmas privadas assumiram participações em algumas das maiores empresas estatais da China. Além do mais, dada a força do setor privado nas principais indústrias

emergentes, diretores executivos (CEOs – em inglês, *chief executive officers*) de empresas relevantes, como Alibaba, Baidu, Huawei e Tencent são capazes de exercer algum nível de influência na direção da formulação de políticas do PCC nessas áreas. A estratégia de promover a Indústria 4.0 no país, com maior ênfase na AI, foi amplamente impulsionada por empresas privadas de tecnologia.

Isso não significa, entretanto, uma mudança fundamental na relação de poder entre o setor privado e o Estado. Do ponto de vista da atuação do PCC, as empresas privadas de tecnologia da China terão de alinhar seus negócios com os objetivos nacionais abrangentes concernentes à competitividade nacional. Dessa forma, objetiva-se proteger as cadeias de abastecimento e desenvolver tecnologias emergentes para fins militares e de segurança nacional. Com isso, quando as empresas são contempladas com benefícios do MIC 2025, assim que uma firma se torna líder em um setor de importância estratégica nacional, espera-se que esta contribua para atingir as metas nacionais e se associe ao governo, entre outras exigências, alinhando investimentos e P&D estreitamente com as políticas governamentais. Um exemplo proeminente foi o recrutamento de uma equipe nacional de AI pelo MIIT em 2017, envolvendo os gigantes da internet Baidu e Alibaba e as empresas de IA iFlyTek e SenseTime.

Sobre a relação entre governo, empresas estatais e empresas nacionais, Kroeber (2016) afirma que a China tem um setor privado grande e em rápido crescimento, que, no agregado, responde pela maior parte da produção econômica e do emprego, e sua participação em ambos está aumentando. Mas as empresas privadas são, em média, pequenas. A esmagadora maioria das maiores empresas da China é estatal, e essas firmas dominam virtualmente todos os setores capital-intensivos. A participação do setor estatal nos ativos nacionais é muito maior que em qualquer outra grande economia. As empresas estatais comandam uma parcela dos recursos – como capital financeiro, terras e energia – muito maior do que sua contribuição para a produção econômica e, também, são parte integrante da estrutura de poder político. Frequentemente, são usadas como instrumentos de política macroeconômica e regulamentação do setor, em vez de instrumentos formais e regulamentares relativamente fracos. Portanto, o poder e a importância das empresas estatais são muito maiores que o implícito apenas nas estatísticas econômicas sobre a redução do número das empresas estatais no país.

Segundo Kroeber (2016), para entender essa dinâmica empresarial, é necessário compreender o chamado “sistema empresarial chinês”, o qual é essencialmente um mecanismo de organização da propriedade estatal, mas tem implicações na maneira como o setor privado se desenvolveu, com a Sasac exercendo um papel estratégico na coordenação das empresas estatais e da atuação das empresas privadas. Jabbour (2020) também chama atenção para o papel estratégico da Sasac no desenvolvimento econômico chinês, afirmando que a instituição passou a ser gestora dos ativos

públicos e garantidora, ao lado dos bancos estatais, do desempenho do setor público no organismo econômico chinês, ao adotar métodos modernos de gestão empresarial e assegurar, assim, o papel das políticas das empresas nas estratégias de Estado, no interior do país e fora deste.

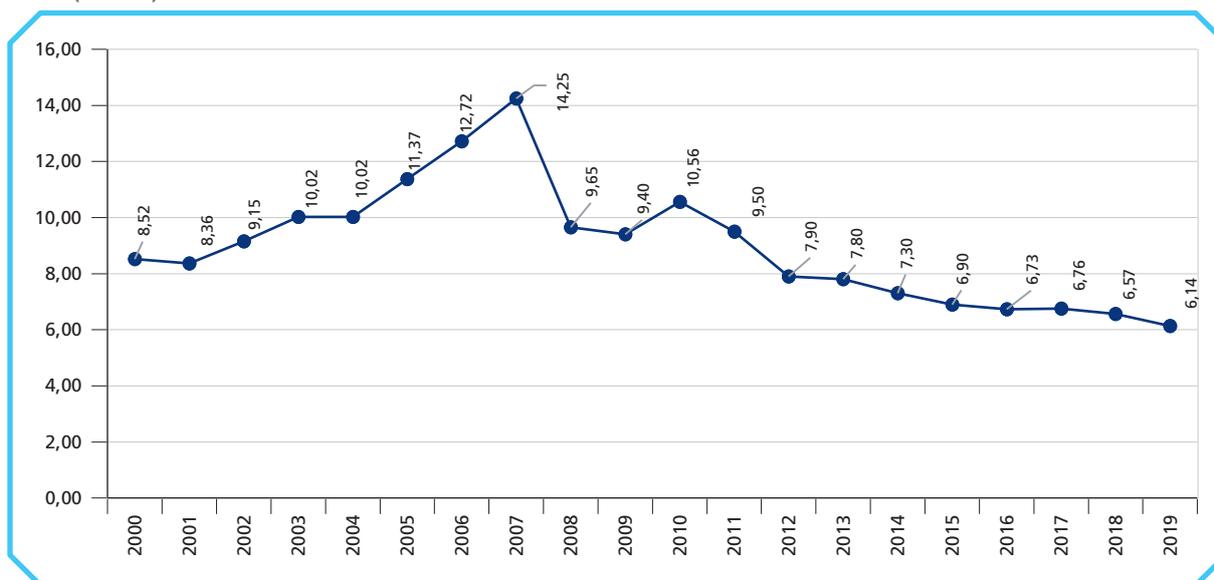
Para se ter uma ideia dessa articulação, com a ascensão e o acirramento dos conflitos entre China e Estados Unidos, o presidente Xi Jinping e o Comitê Central do Partido Comunista da China traçaram um plano para a chamada “Nova Era”, em que o partido exerça melhor controle sobre os negócios privados na China. O plano, intitulado e anunciado como Opinion on Strengthening the United Front Work of the Private Economy in the New Era – detalhado em um comunicado de 5 mil palavras –, orientava que todas as regiões e departamentos do país fossem instruídos a seguir as novas diretrizes. A declaração tem como finalidade melhorar o controle do PCC sobre a iniciativa privada e empreendedores, por meio do United Front Work, com a ideia de “melhor focar a sabedoria e o fortalecimento dos empresários privados no objetivo e na missão de realizar o grande rejuvenescimento da nação chinesa” (Gill, 2020a).

4.2 Indicadores selecionados da evolução da economia chinesa no período recente

Alguns indicadores contribuem para avaliarmos a trajetória recente da economia chinesa, que está associada às políticas industriais e de inovação adotadas nos últimos anos. As medidas de tais políticas na China coincidem com um processo de transição do país de trajetória de elevado crescimento econômico, taxas acima de 10%, para dinâmica de arrefecimento do crescimento para taxas de 6% (gráfico 1). Mesmo que possamos considerar uma queda do crescimento, ainda assim são taxas altas quando comparadas com a dinâmica do crescimento mundial. Mas, sem dúvida nenhuma, confirma a preocupação do governo chinês com que esse arrefecimento não implique um processo de armadilha para o país, de modo que o MIC 2025 e o 14º Plano Quinquenal se mostrem essenciais para dinamizar a atividade produtiva e de inovação do país, principalmente se considerando os setores intensivos em tecnologias como essenciais para o *catch-up* tecnológico como caminho para a consolidação da China como nação de renda alta.

GRÁFICO 1**Taxa de crescimento do PIB, a preços constantes – China (2000-2019)**

(Em %)



Fonte: Fundo Monetário Internacional (FMI).

Elaboração do autor.

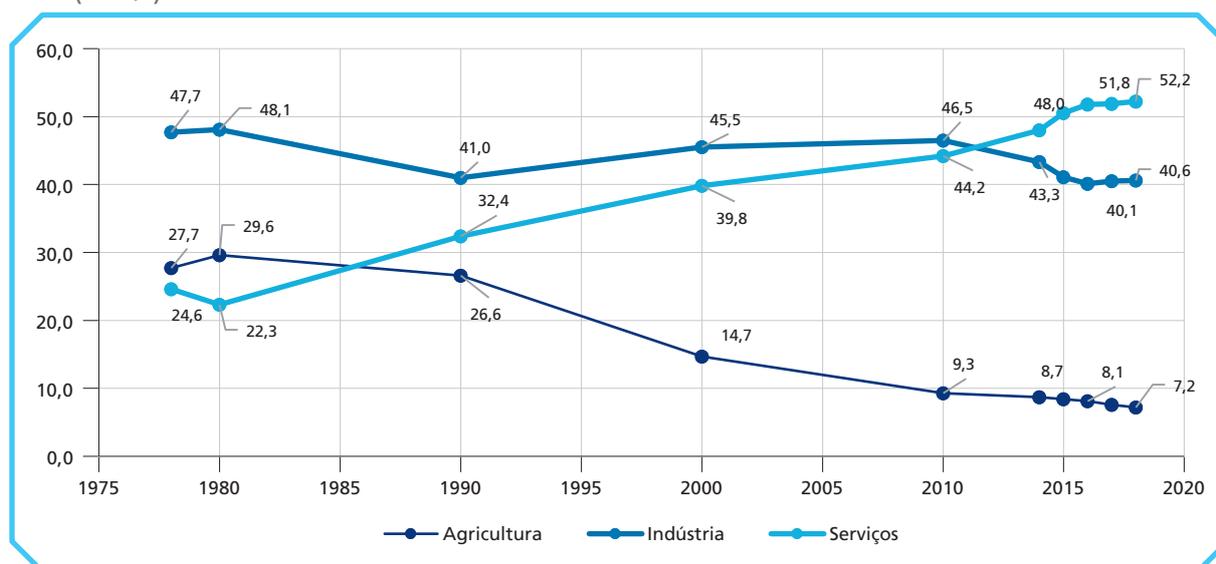
O significativo crescimento econômico da China, associado com as políticas pró-industrialização e inovação no período mais recente, também está vinculado a uma profunda transformação estrutural. De acordo com os indicadores do gráfico 2, a indústria, embora tenha apresentado leve queda na participação no PIB, ainda permanece com percentual muito elevado (40,6%) em 2018. Isso se consideramos particularmente que a realidade da economia mundial é tendência de queda da participação da indústria como proporção do PIB. Enquanto isso, a agricultura apresentou redução substancial, saindo de percentual de 27,7%, em 1975, para 7,2%, em 2018.

TEXTO para DISCUSSÃO

GRÁFICO 2

Composição do PIB – China (1975-2020)

(Em %)



Fonte: China Statistical Yearbook. Disponível em: <<https://tinyurl.com/36dkpk7u>>.

Elaboração do autor.

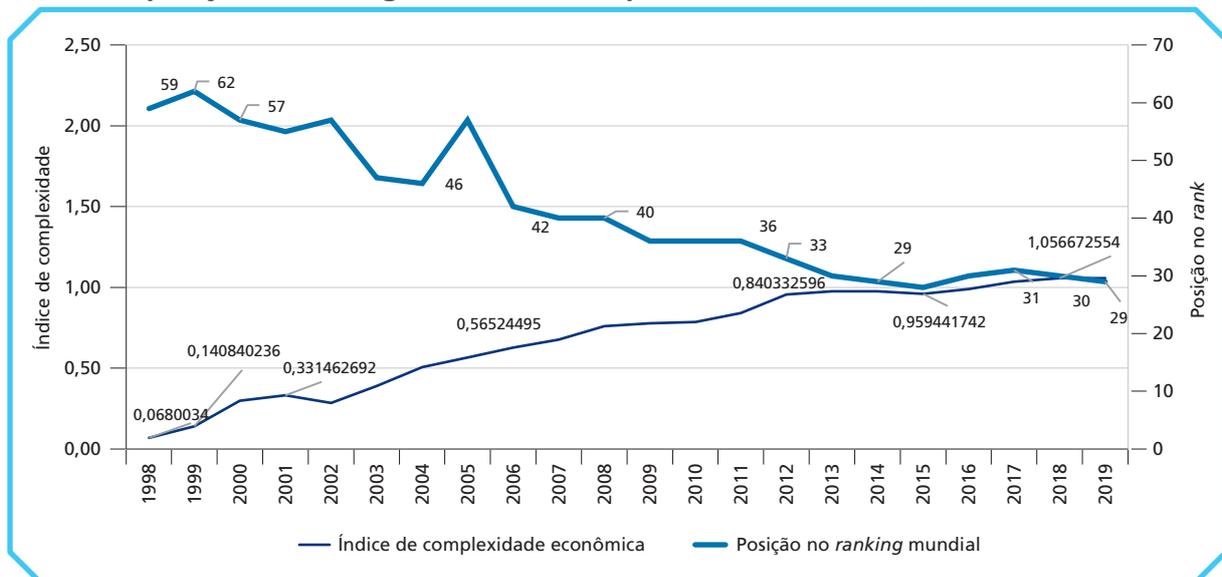
O elevado crescimento econômico e a transformação estrutural da China, com a indústria tendo papel proeminente, são fatores essenciais para maior nível de complexidade da estrutura industrial da China. Outro indicador que corrobora para analisarmos a evolução de uma estrutura produtiva para um nível com maior intensidade tecnológica é o índice de complexidade econômica (ICE).² No período recente, a evolução das transformações das estruturas produtivas também vem sendo analisada por uma literatura associada a estudos empíricos, os quais usam técnicas de complexidade econômica para fornecer novos *insights* empíricos sobre o debate em torno da industrialização e do desenvolvimento econômico. De acordo com Hidalgo e Hausmann (2009), muitos trabalhos sobre análise de complexidade fornecem novas ideias sobre as transformações produtivas, assim como o momento correto para dar o salto para produtos complexos, e as forças que levam muitos países a estagnarem ou até mesmo retrocederem em seu estágio de desenvolvimento, no que se convencionou chamar na literatura de armadilha da renda média (Hartmann

2. O índice de complexidade econômica é uma medida da capacidade de uma economia que pode ser inferida a partir de dados que conectam os locais às atividades nestes presentes. O ICE foi construído para prever resultados macroeconômicos importantes, incluindo o nível de renda de um país, o crescimento econômico, o nível da desigualdade de renda, as emissões de gases de efeito estufa. Além do mais, é estimado também usando diversas fontes de dados, como dados comerciais, dados de emprego, dados do mercado de ações e dados de patentes. O índice de complexidade permite avaliar o nível de complexidade tecnológica de uma economia.

et al., 2019). A lógica da complexidade econômica está associada ao nível de diversidade e sofisticação da sua pauta de exportações e à sua relação com o sistema produtivo de um país e produtos complexos.

GRÁFICO 3

ICE e posição no *ranking* mundial de complexidade (1999-2019)



Fonte: The Observatory of Economic Complexity.

Elaboração do autor.

Como mostra o gráfico 3, a China tem apresentado uma evolução substancial no seu índice de complexidade econômica, saindo de um ICE de 0,1408, em 1998, ocupando a 62ª posição do *ranking*, em um total de 159 países, para um ICE de 1,056, ocupando a 29ª posição em 2019. Mesmo com esse considerável avanço, considerando-se o *ranking* e os índices de 2019, a China ainda está atrás de países como Japão (com índice de 2,203, 1ª posição no *ranking*), Taiwan (índice de 2,011, 2ª posição no *ranking*), Alemanha (índice de 1,923, 4ª posição no *ranking*), Coreia do Sul (índice de 1,897, 5ª posição no *ranking*) e Estados Unidos (índice de 1,577, 10ª posição no *ranking*). Não obstante a China ainda estar distante dessas outras nações, a taxa de crescimento do índice de complexidade do país é acelerada e elevada, de modo que, possivelmente, em espaço temporal muito curto, a China poderá lograr melhorias na sua posição.

4.3 Indicadores selecionados do SNI da China

Estudo recente publicado em 2020 da Bloomberg Innovation Index (Jamrisko, Lu e Tanzi, 2021) – que considera dimensões como intensidade em P&D, valor adicionado na manufatura,

produtividade, densidade em alta tecnologia, eficiência no setor de serviços, concentração de pesquisadores e atividade de patentes –, chama atenção a ascensão da China e a queda dos Estados Unidos em inovação. Esses países são responsáveis por grande parte da inovação mundial e, também, estão travando uma batalha em áreas-chave da política, como direitos de propriedade intelectual (IP – em inglês, *core intellectual property*). A diferença entre estes em relação ao potencial de inovação diminuiu continuamente durante o período de estudos da Bloomberg. Em 2020, a China ocupou a 16ª posição no *ranking* como país mais inovador no mundo, com seus melhores índices em dimensões, como a nona posição em densidade em setores de alta tecnologia, terceira posição em nível de atividade em patentes e a 13ª posição em atividades intensivas em P&D.

Os resultados dos indicadores da Bloomberg, mostrando o avanço da China enquanto uma economia inovadora, apontam para o relativo sucesso das políticas industriais e de inovação da China, e isso pode ser verificado em alguns indicadores do SNI do país.

Para os países considerados de industrialização tardia, um dos aspectos para lograr *catch-up* tecnológico é construir suas bases de capacidades – isto é, estabelecer suas aptidões tecnológicas, as quais compreendem dois elementos importantes na trajetória do desenvolvimento de uma nação: i) uma base de conhecimentos existentes para promover o aprendizado tecnológico, dado que o conhecimento influencia o processo de aprendizado, bem como a natureza da experiência acumulada futura; e ii) a intensidade do esforço ou do comprometimento. Não basta simplesmente expor os indivíduos ou as empresas ao conhecimento, mas é necessário o empenho consciente de seus membros para internalizar esse conhecimento. Sem isso, o aprendizado não pode acontecer (Kim, 2005).

De acordo com Schiller e Lee (2015), entender o SNI é relevante porque este é resultado da natureza interativa do aprendizado da inovação, a interface entre ciência e indústria tornando-se mais permeável nos vínculos gerais e universidade-indústria, que também incluem institutos governamentais e privados de pesquisa. Essa interface se tornou um modo particularmente importante de transferência de conhecimento. Mazzoleni e Nelson (2007) já argumentaram que a pesquisa em universidades e laboratórios públicos é importante para os processos de *catching-up*, devido ao seu potencial para criar capacidades tecnológicas e científicas locais.

O nível das capacidades acadêmicas do sistema científico de um país está fortemente vinculado às capacidades tecnológicas de suas empresas, pois suas contribuições são cruciais para atividades de negócios tecnologicamente avançadas, como é descrito a seguir.

- 1) Os graduados altamente qualificados trazem novos conhecimentos para suas empresas e, portanto, são um elemento necessário na atualização de estratégias.

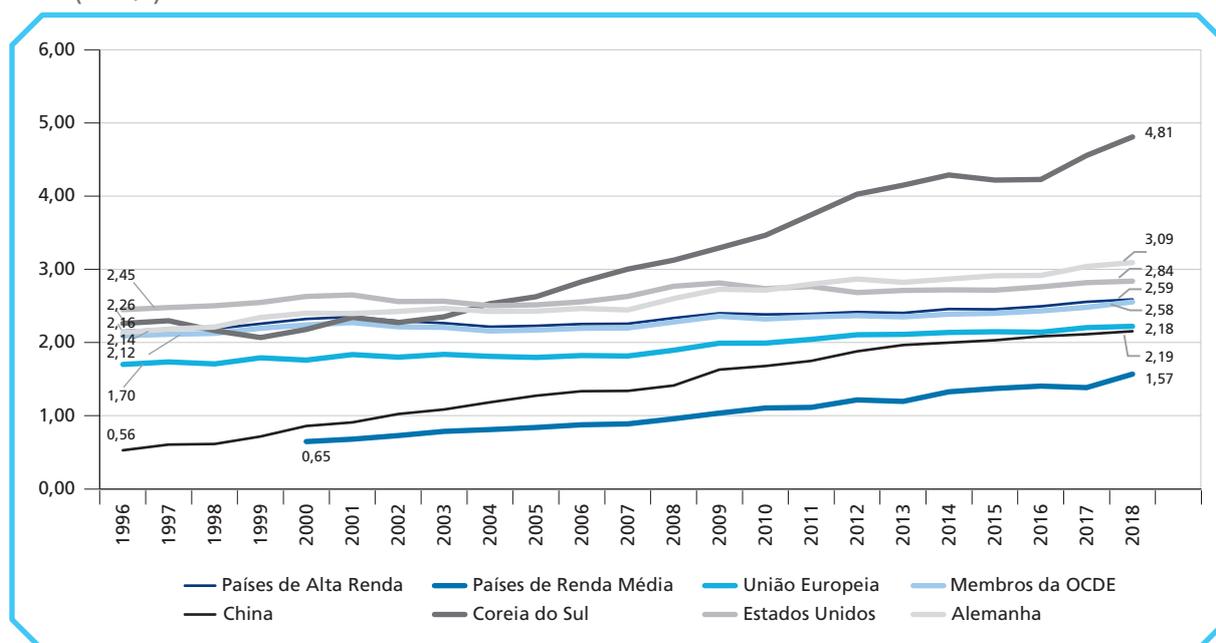
- 2) A pesquisa universitária pode determinar uma base para inovação e assistência direta à solução de problemas para as empresas. Esses vínculos estreitos entre educação, ciência e indústria estão no centro do conceito bem estabelecido do processo de inovação interativa.
- 3) Para criar capacidades acadêmicas suficientes, é necessário investimento público externo no ensino superior, vinculado a objetivos claramente definidos para o desenvolvimento do ensino superior e à atualização tecnológica (Schiller e Lee, 2015).

A capacidade dos países retardatários de criar estoque local de conhecimento – ou seja, o grau de difusão de conhecimento intranacional e intrafirma é proporcional ao nível de capacidade tecnológica do país, embora também seja afetada pelas diferenças organizacionais entre as empresas. Nesse sentido, entender a evolução de alguns indicadores do SNI da China é essencial para avaliar as possibilidades do país de internalizar a tecnologia, com a finalidade de fortalecer seu sistema produtivo mais intensivo em tecnologia.

Um dos indicadores que corroboram para essa constatação é a relação do investimento em P&D como proporção do PIB (gráfico 4). A China elevou esse investimento de 0,56%, em 1996, para 2,19%, em 2018. Com isso, ultrapassou o percentual dos países de renda média (1,57%, em 2018), mas ainda está um pouco abaixo da média dos países ricos (2,59%, em 2018). Dada a velocidade do processo de inovação na China, dos ambiciosos planos de investimento em inovação (MIC 2025 e 14º Plano Quinquenal), é bem possível que a China ultrapasse o percentual médio dos países ricos em investimento em P&D, aproximando-se dos percentuais dos países da OCDE e da União Europeia (UE), como também de outros países líderes, como Alemanha (3,09%, em 2018) e Coreia do Sul (4,81%, em 2018). No que concerne aos Estados Unidos, com percentual de 2,84% em 2018, a China está mais próxima, o que confirma o estudo da *Bloomberg*, o qual afirma que o *gap* de potencial de inovação entre os países vem se reduzindo cada vez mais ao longo do tempo.

GRÁFICO 4**Investimento em P&D como proporção do PIB (1996-2018)**

(Em %)



Fonte: The World Bank Data.

Elaboração do autor.

Na tabela 2, alguns indicadores selecionados do SNI da China apontam para a evolução do seu fortalecimento interno de capacidade de inovação, com crescimento contínuo em todos os indicadores da tabela relacionados ao ensino superior, às instituições científicas de P&D e ao papel de grandes e médias empresas com atividades de P&D. No que concerne ao ensino superior, o número de instituições de P&D saltou de 3.481, em 2001, para 18.379, em 2019. O número de projetos de P&D no ensino superior também chama muito atenção, saltando de 280.324 projetos, em 2005, para 1.188,769 milhão, em 2019. As despesas no ensino superior com P&D eram de ¥ 102,4 bilhões em 2001; em 2019, alcançaram ¥ 1,796 trilhão.

TABELA 2
Indicadores do SNI – China (2001-2019)

| Indicadores | 2001 | 2005 | 2008 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|--------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Ensino superior | | | | | | | | | | | |
| Número de instituições de P&D (unidade) | 3.481 | 3.936 | 5.159 | 9.225 | 9.842 | 10.632 | 11.732 | 13.062 | 14.971 | 16.280 | 18.379 |
| Número de projetos de P&D (item) | - | 280.327 | 429.096 | 657.027 | 711.010 | 766.731 | 841.520 | 894.279 | 966.780 | 1.076.903 | 1.188.769 |
| Equivalente em tempo integral de pessoal de P&D (10 mil homens/ano) | 17,1 | 22,72 | 26,6 | 31,4 | 32,48 | 33,5 | 35,49 | 36 | 38,22 | 41,09 | 56,55 |
| Despesa em P&D (¥ 100 milhões) | 102,40 | 242,30 | 390,20 | 780,56 | 856,70 | 898,10 | 998,59 | 1.072,24 | 1.265,96 | 1.457,88 | 1.796,62 |
| Instituições científicas de P&D | | | | | | | | | | | |
| Número de instituições de P&D (unidade) | - | 3.901 | 3.727 | 3.674 | 3.651 | 3.677 | 3.650 | 3.611 | 3.547 | 3.306 | 3.217 |
| Número de projetos de P&D (item) | - | 39.072 | 54.900 | 79.343 | 85.069 | 91.465 | 99.559 | 100.925 | 112.472 | 117.871 | 125.642 |
| Equivalente em tempo integral de pessoal de P&D (10 mil homens/ano) | 20,5 | 21,53 | 26 | 34,4 | 36,37 | 37,4 | 38,36 | 39,01 | 40,57 | 41,3 | 42,46 |
| Despesa em P&D (¥ 100 milhões) | 288,5 | 513,1 | 811,3 | 1.548,9 | 1.781,4 | 1.926,2 | 2.136,49 | 2.260,18 | 2.435,7 | 2.691,68 | 3.080,83 |
| Grandes e médias empresas industriais | | | | | | | | | | | |
| Número de projetos de P&D (item) | - | 70.580 | 103.234 | 192.755 | 205.146 | 210.997 | 173.298 | 187.100 | 215.506 | 213.215 | 242.806 |
| Equivalente em tempo integral de pessoal de P&D (10 mil homens/ano) | 37,9 | 60,6 | 101,4 | 181,9 | 197,7 | 203,8 | 198,6 | 196,4 | 193,1 | 201,6 | 199,6 |
| Despesa em P&D (¥ 100 milhões) | 442,3 | 1.250,3 | 2.681,3 | 5.992,3 | 6.744,1 | 7.319,7 | 7.792,4 | 8.289,5 | 8.976,2 | 9.542,7 | 9.996,9 |

Fonte: National Bureau of Statistics of China (NBS).
Elaboração do autor.

TEXTO para DISCUSSÃO

As instituições científicas de P&D também apresentam resultados relevantes de crescimento. O número de instituições de P&D não aumenta muito entre 2001 e 2019, 3.217 mil instituições em 2019, mas o número de projetos aumenta de 39.072, em 2001, para 125.642, em 2019, crescimento este associado a um maior volume de despesa com P&D, de ¥ 288,5 bilhões, em 2001, para ¥ 3.080,83 trilhões, em 2019.

No SNI chinês, o papel de grandes e médias empresas também é relevante, e isso fica em evidência com o crescimento do número de projetos, que saltou de 70.580, em 2005, para 242.806, em 2019, e a despesa com P&D, que cresceu de ¥ 442,3 bilhões, em 2005, para ¥ 9.996,9 trilhões, em 2019. A incorporação de pesquisadores trabalhando em P&D também se eleva, saltando de 37,9 mil pesquisadores trabalhando em tempo integral, em 2001, para 199,6 mil, em 2019.

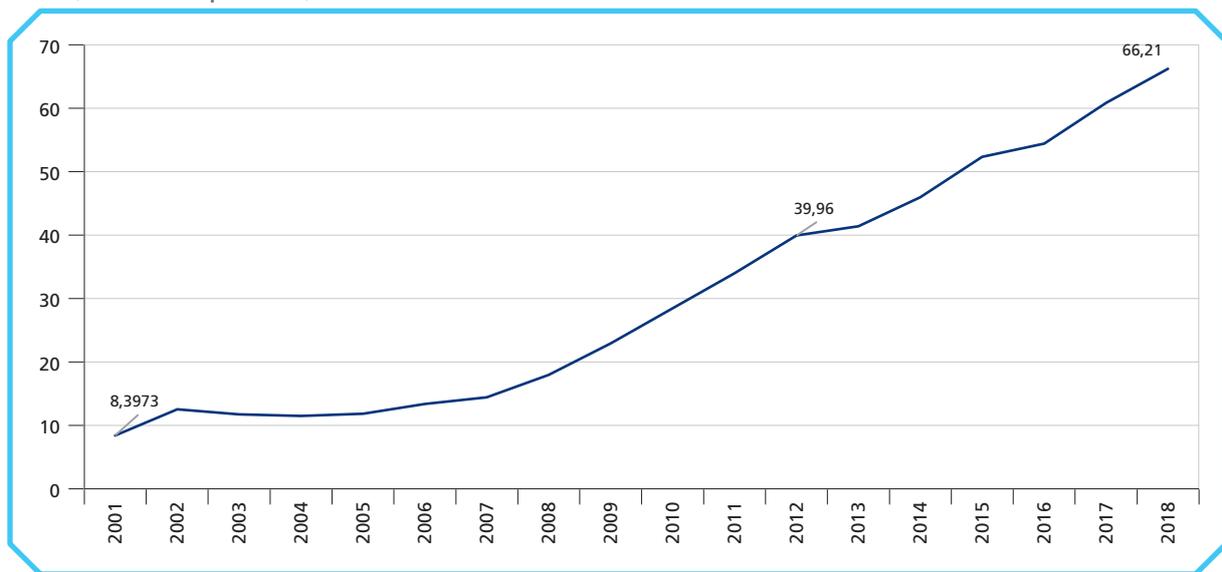
O termo central, em muitos estudos sobre *upgrading* tecnológico e aprendizado nos países de *catching-up*, é a capacidade de absorção – ou seja, a capacidade de uma empresa de identificar, absorver e entender o conhecimento técnico que permite a introdução de produtos e processos novos para esta. A capacidade de absorção é determinada por muitos fatores, alguns internos à firma (atividades internas de P&D, qualificação e experiência da gerência e força de trabalho, tamanho da empresa e idade da empresa) e outros externos (ambiente de mercado, acesso ao capital, infraestrutura pública de P&D e apoio governamental). É amplamente reconhecido que fatores internos por si só não são suficientes para explicar a aprendizagem e a inovação. Outro indicador é o processo de construção de capacitação, e os estágios em instituições estrangeiras têm sido uma das características do desenvolvimento de recursos humanos (Lee e Lee, 2019). Nesse sentido, uma das variáveis relevantes para a construção da capacidade interna de absorção do conhecimento para a construção da curva de aprendizado e para promover inovação é a formação de recursos humanos no exterior, por meio do envio de estudantes para estudar em outros países, com o objetivo de adquirir conhecimento externo e retornar para internalizar em seu país de origem essa capacidade construída.

Conforme podemos identificar no gráfico 5, o número de estudantes chineses estudando no exterior apresenta um crescimento contínuo entre 2001 e 2018, com um salto substancial de 83.973 estudantes, em 2001, para 662.100, em 2018. Esse crescimento coloca a China como o país com maior número de estudantes estrangeiros no mundo, à frente de países como Índia, Alemanha, Coreia do Sul, França e Estados Unidos.³

3. Disponível em: <<https://bit.ly/3BEZeQp>>.

GRÁFICO 5**Estudantes chineses que estudam no exterior (2001-2018)**

(Em 10 mil pessoas)



Fonte: NBS.

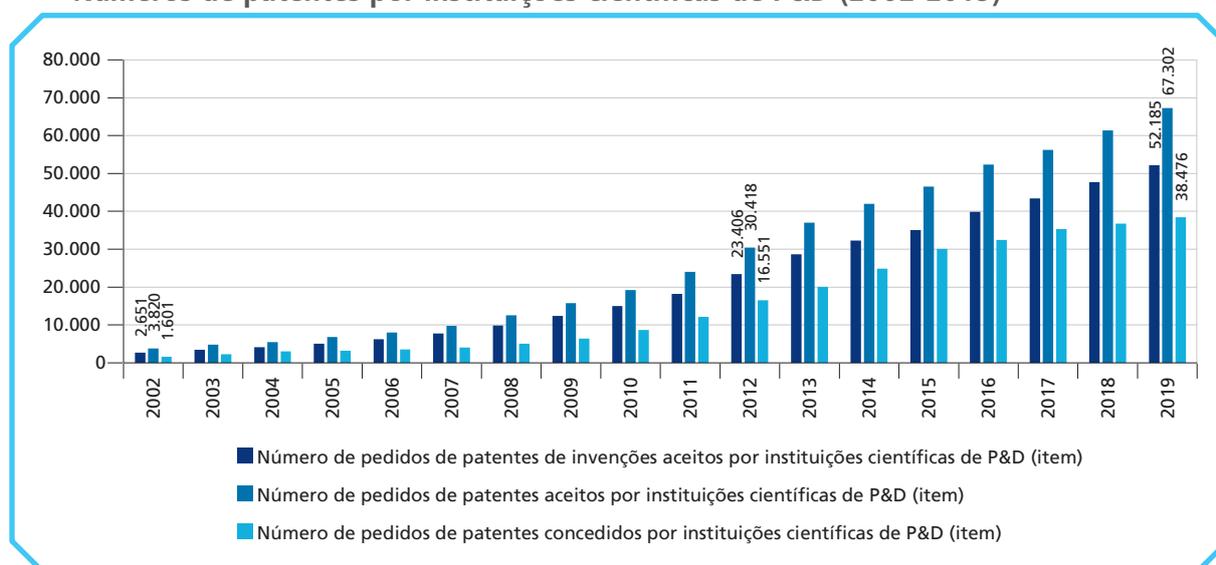
Elaboração do autor.

Outro indicador que corrobora para evidenciar o fortalecimento do SNI da China é o número de patentes, conforme o gráfico 6. Mesmo se considerando que estas não representem efetivamente o potencial de inovação tecnológica de um país, seus indicadores são elementos-chave para termos indicativos sobre o avanço das tecnologias nos países e são muito usados na literatura, com o objetivo de avaliar o potencial de inovação de um país para lograr o *catch-up* tecnológico. As patentes, por um lado, possibilitam a obtenção de benefícios monetários, por intermédio de comercialização, venda ou licenciamento da tecnologia e, por outro, refletem, em parte, o dinamismo da produção de conhecimento e avanços tecnológicos, elementos essenciais para o progresso tecnológico dos países, tendo-se em vista que representam uma forma concreta de criação e difusão do conhecimento na atividade produtiva.

Todos os indicadores relacionados a patentes apresentam também um crescimento constante entre 2002 e 2019, com maior destaque para o número de pedidos de patentes aceitos por instituições científicas em P&D, o que aponta para uma maior efetividade da atividade de pesquisa do país. O número de patentes de invenções aceitos por instituições científicas em P&D cresce de 2.651, em 2002, para 52.185, em 2019. O número de pedidos de patentes aceitos por instituições científicas também aumenta de 3.820, em 2002, para 67.302, em 2019, e o número de patentes concedidos por instituições científicas de P&D eleva-se de 1.601, em 2002, para 38.476, em 2019.

GRÁFICO 6

Números de patentes por instituições científicas de P&D (2002-2019)



Fonte: NBS.

Elaboração do autor.

O governo chinês incentiva o desenvolvimento de tecnologias futuras ao fornecer apoio financeiro e criar demanda, por meio, por exemplo, de regulamentações ou incentivos fiscais para transformar rapidamente ideias de nichos de indústrias em produtos adequados para o consumo de massa. Zenglein e Holzmann (2019) afirmam que, indubitavelmente, a China avançou em campos como TI de próxima geração – empresas como Huawei e ZTE estão definidas para ganhar domínio global na implantação de redes 5G –, ferrovias de alta velocidade e transmissões de eletricidade de ultra-alta tensão. Mais de 530 parques industriais de manufatura inteligentes surgiram na China. Muitos se concentram em *big data* (21%), novos materiais (17%) e computação em nuvem (13%). Recentemente, a indústria verde e a criação de uma *internet industrial* receberam ênfase especial em documentos de política, sustentando a visão do presidente Xi Jinping de criar uma “civilização ecológica” que prospera no desenvolvimento sustentável. A China também garantiu uma posição forte em áreas como IA, novas energias e veículos inteligentes conectados. O mercado de baterias para veículos elétricos é um exemplo poderoso de como essa dinâmica pode desdobrar-se rapidamente e as cadeias de valor globais são absorvidas. Em 2017, sete das dez maiores empresas de baterias de veículos elétricos eram chinesas, respondendo por 53% da participação no mercado global.

4.4 Algumas fragilidades da economia da China e desafios

Mesmo com todos os avanços da estrutura industrial e de inovação da China nos últimos anos, como resultado das suas políticas industriais e de inovação, muitos autores apontam para algumas fragilidades da economia chinesa a serem superadas. Uma das principais problemáticas, ponto em comum em diversos autores, é o papel do investimento estrangeiro e das multinacionais estrangeiras na China, principalmente em setores mais intensivos em tecnologia, o que faz com que o país acentue com muita proeminência a estratégia de fomentar *as indigenous capabilities* e *a indigenous innovation*.

Kroeber (2016) afirma que uma das características do desenvolvimento industrial da China que a diferencia de seus pares do Leste Asiático é o grande papel do investimento direto estrangeiro, e isso tem resultado na inserção externa da China. O modelo de IDE significou que certas indústrias foram construídas principalmente por empresas estrangeiras e que às vezes tem sido difícil para as empresas chinesas entrarem no mercado. Por exemplo, desde o início dos anos 1990, um terço ou mais das exportações foram produzidas por empresas com investimento estrangeiro, e a participação estrangeira atingiu o pico de 58% em 2005. Para exportações classificadas como de alta tecnologia pelo governo chinês, o papel estrangeiro é muito maior: desde o início dos anos 2000 até 2012, bem mais de 80% das exportações de alta tecnologia da China foram produzidas por empresas estrangeiras, e a participação estrangeira ainda está em torno de três quartos. A indústria de eletrônicos é um estudo de caso interessante que mostra essa fragilidade. Em um nível, é uma história de sucesso: a China agora responde por mais de 40% das exportações globais de produtos eletrônicos, como computadores e *smartphones*, ante 5% em 2000. Mas a grande maioria da atividade eletrônica na China permanece em um conjunto de montadoras em produto final, em que as margens de lucro são extremamente reduzidas, e até mesmo essa atividade é amplamente controlada por empresas estrangeiras, especialmente firmas taiwanesas, das quais a Foxconn – a principal montadora contratada de produtos Apple – é a mais conhecida. Os componentes de maior valor da cadeia de valor da tecnologia (*design* e *marketing* de produtos finais, *design* de ICs e desenvolvimento de *software* original) permanecem firmemente nas mãos de gigantes globais, como Apple, Samsung, Intel e Microsoft.

Zenglein e Holzmann (2019) também apontam para a mesma fragilidade de dependência externa, principalmente em setores mais intensivos em alta tecnologia. Para os autores, a dependência de componentes principais estrangeiros ainda é um grande gargalo para as ambições nacionais de tecnologia da China. Sua indústria tem pontos fracos consideráveis no domínio das tecnologias básicas essenciais para o desenvolvimento de um setor de alta tecnologia avançada em certas áreas, especialmente para a economia digital. Essa vulnerabilidade é mais evidente nos campos de novos materiais, semicondutores e componentes-chave para máquinas e ferramentas avançadas. Isso fica

mais em evidência com as restrições que as empresas chinesas de tecnologia já experimentaram, como acesso aos *chips* ou a outros componentes de alta tecnologia do exterior. A dependência da China em tecnologia estrangeira resulta em balança comercial negativa em produtos de alta tecnologia, o que inclui o espectro de ponta de biotecnologia, ciências biológicas e tecnologia, optoeletrônica, eletrônica, maquinário integrado por computador e aeroespacial. Essa vulnerabilidade é mais evidente nos campos de novos materiais, semicondutores e outros componentes-chave para máquinas e ferramentas avançadas.

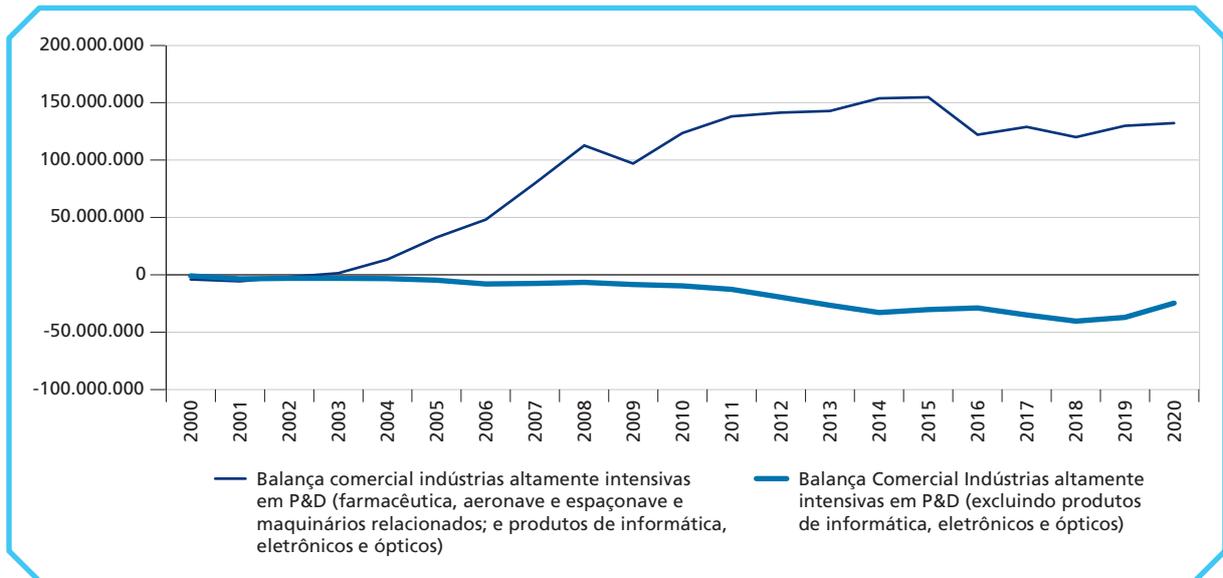
Lee, Gao e Li (2017) consideram que, até mesmo com todos os avanços na China, a fragilidade em setores intensivos em tecnologia deixa em evidência que as empresas locais/nacionais devem ser elementos estratégicos para o desenvolvimento do país, dado que as firmas estrangeiras limitam a transferência de tecnologia. Para os autores, as empresas de países de industrialização tardia, caso da China, geralmente tentam imitar os precursores e incorporam tecnologias semelhantes em seus estágios iniciais com acordos de IDE ou OEM. No entanto, para eventualmente ter sucesso nos estágios posteriores, as firmas retardatárias devem ir além das imitações para levá-las a uma trajetória nova ou diferente daquela das empresas precursoras. Além disso, as multinacionais estrangeiras tendem a interromper a transferência de tecnologia quando as empresas retardatárias desenvolvem suas capacidades. Um exemplo dessa condição é o setor de telefones celulares na China. Para tirar proveito do grande mercado, as multinacionais formaram várias *joint ventures* com empresas locais para produzir telefones celulares na China. Entretanto, em 2001, a maioria dessas firmas interrompeu suas colaborações em *joint ventures* depois que a China aderiu à Organização Mundial do Comércio (OMC). Esse evento foi uma crise e uma oportunidade, porque forçou as empresas chinesas a avançarem mais em sua capacidade tecnológica.

De fato, quando consideramos a balança comercial da China em produtos de alta intensidade tecnológica, gráfico 7, há um *superavit* na balança comercial concernente aos itens farmacêutica, aeronave e espaçonave e maquinários relacionados, bem como produtos de informática, eletrônicos e ópticos. Entretanto, quando excluimos os produtos de informática, eletrônicos e ópticos, a balança comercial chinesa é deficitária. Essa relação é o que muitos autores apontam como uma fragilidade a ser superada pela economia da China.

Se observamos a realidade de outros países, como Japão (gráfico 8), Coreia do Sul (gráfico 9), Taiwan (gráfico 10) e Estados Unidos (gráfico 11), constatamos que Coreia do Sul e Taiwan apresentam a mesma dinâmica da China – isto é, *superavit* na balança comercial em produtos de alta intensidade em P&D, incluindo-se farmacêutica, aeronave e espaçonave e maquinários relacionados, produtos de informática, eletrônicos e ópticos –, mas *deficit* quando excluimos os produtos de informática, eletrônicos e ópticos.

GRÁFICO 7

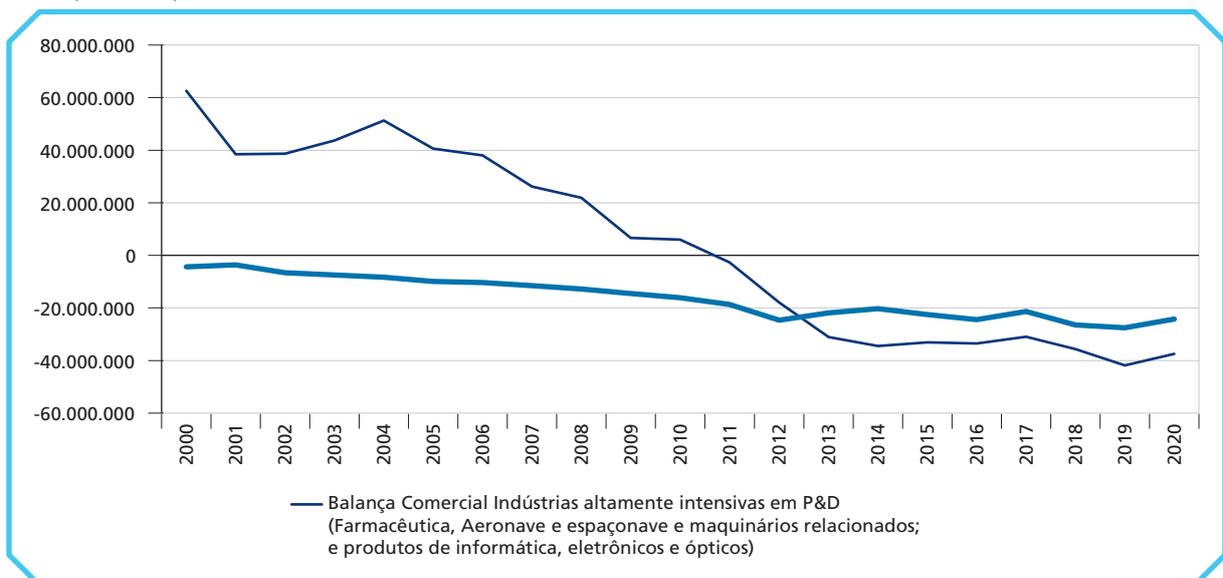
Balança comercial: indústria altamente intensiva em P&D – China (2000-2020)
(Em US\$)



Fonte: Stan Bilateral Trade Database by Industry and End-use Category (BTDIxE) da OCDE.
Elaboração do autor.

GRÁFICO 8

Balança comercial: indústria altamente intensiva em P&D – Japão (2000-2020)
(Em US\$)

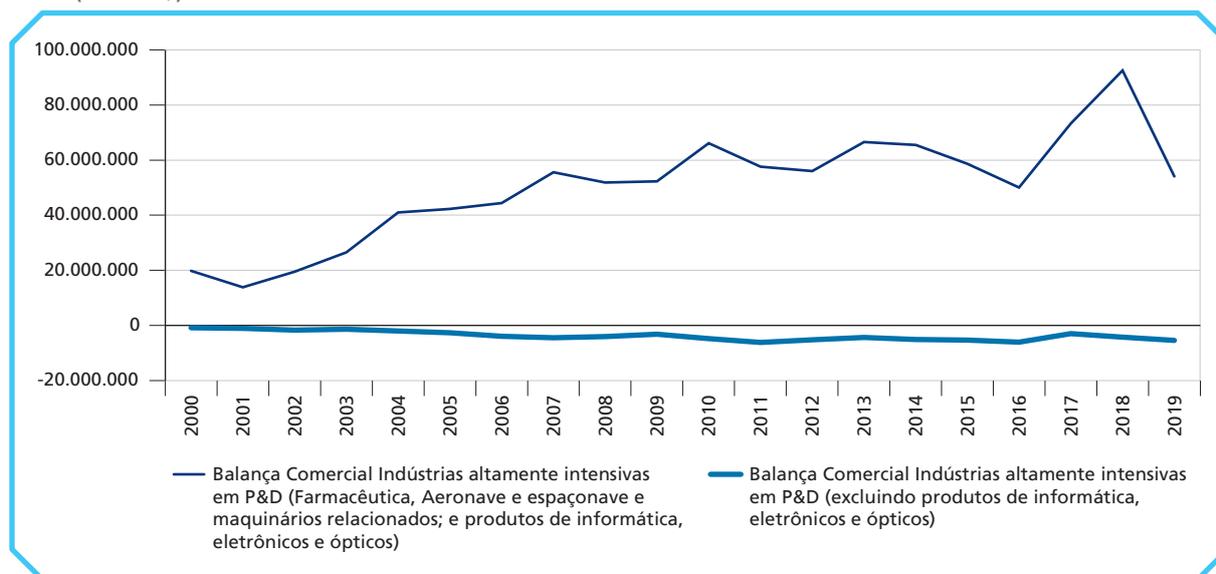


Fonte: BTDIxE/OCDE.
Elaboração do autor.

TEXTO para DISCUSSÃO

GRÁFICO 9

Balança comercial: indústria altamente intensiva em P&D – Coreia do Sul (2000-2019)
(Em US\$)

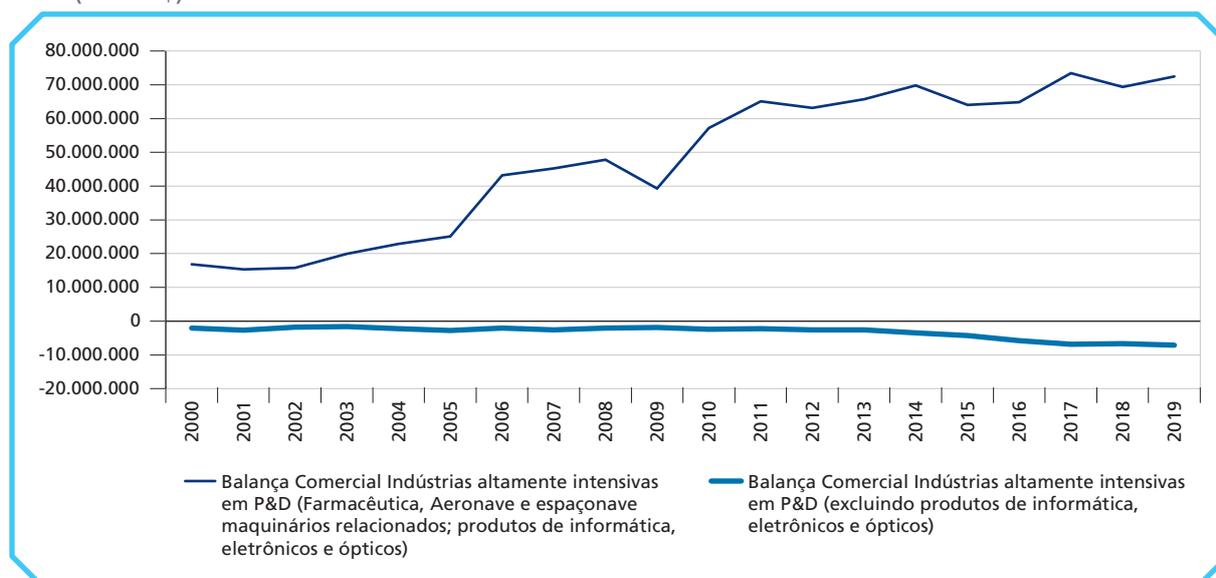


Fonte: BTDIXE/OCDE.

Elaboração do autor.

GRÁFICO 10

Balança comercial: indústria altamente intensiva em P&D – Taiwan (2000-2019)
(Em US\$)

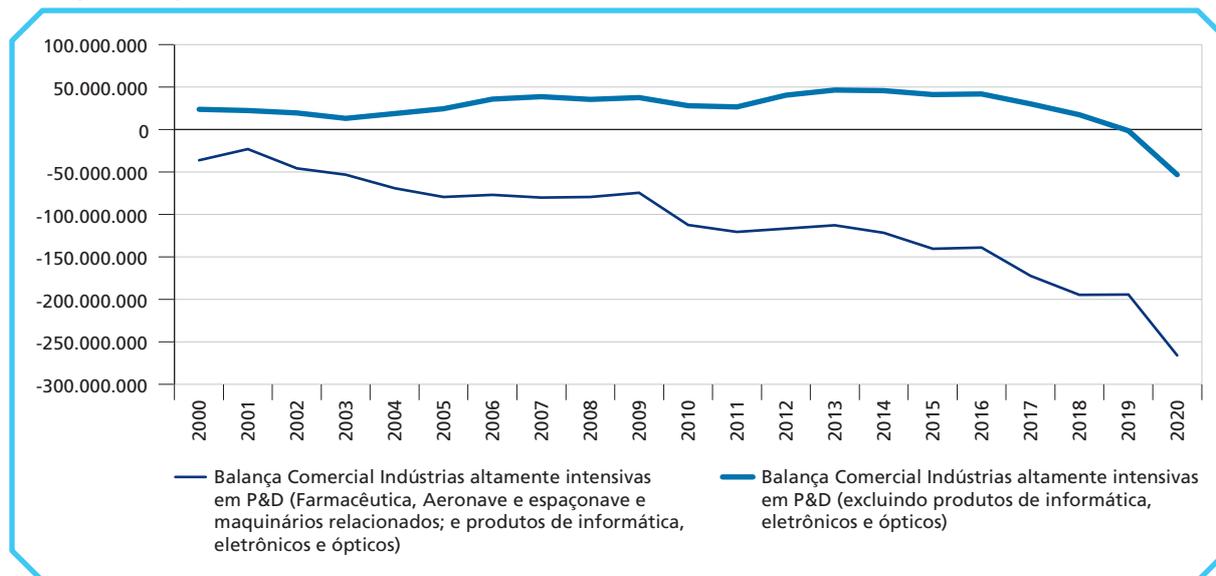


Fonte: BTDIXE/OCDE.

Elaboração do autor.

GRÁFICO 11**Balança comercial: indústria altamente intensiva em P&D – Estados Unidos (2000-2020)**

(Em US\$)



Fonte: BTDIXE/OCDE.

Elaboração do autor.

O Japão apresenta *deficit* na balança comercial em produtos de alta intensidade tecnológica (farmacêutica, aeronave e espaçonave e maquinários relacionados, produtos de informática, eletrônicos e ópticos, no gráfico 8) e também revela *deficit* quando consideramos os produtos de informática, eletrônicos e ópticos.

Por sua vez, os Estados Unidos é o único país que apresentou *deficit* na balança comercial em produtos de alta intensidade em P&D (farmacêutica, aeronave e espaçonave e maquinários relacionados, produtos de informática, eletrônicos e ópticos), mas *superavit* quando excluimos os produtos de informática, eletrônicos e ópticos, a balança comercial chinesa é deficitária, com exceção de 2020.

A diferença desses países em relação à China é que Coreia do Sul, Japão, Taiwan e Estados Unidos já têm grandes campeãs nacionais estabelecidas no mundo, com fragmentação das suas cadeias produtivas, enquanto a China não tem a mesma experiência, com suas empresas em setores mais intensivos em tecnologia ainda nos estágios iniciais do desenvolvimento, como a Semiconductor Manufacturing International Corporation – SMIC (empresa de fundição de semicondutores parcialmente estatal e listada na bolsa, e a maior da China continental) e a ChangXin Memory Technologies Inc., que se tornou a primeira empresa da China a projetar e produzir os

chips, que são um componente central da maioria dos dispositivos de computação. Isso pode fazer muita diferença em um cenário geopolítico de acirramento de conflitos, com os respectivos países impondo condições sobre suas grandes campeãs nacionais, como vem acontecendo com as sanções impostas pelos Estados Unidos. Por exemplo, quando consideramos Coreia do Sul e Taiwan, esses países têm empresas altamente internacionalizadas e com elevada participação no mercado mundial em setores como semicondutores, como a Samsung, maior fabricante mundial de memória e *chips*, e a Taiwan Semiconductor Manufacturing Co., Ltd. (TSMC), que é a empresa de fabricação de *chips* mais sofisticada do mundo, fornecedora da Apple, da Qualcomm e da TexasInstruments.

O Japão, por exemplo, também tem suas empresas campeãs nacionais, como a Hitachi, uma multinacional que atua nos mais variados segmentos, a exemplo de telecomunicações, sistemas eletrônicos e mídia digital; e a Hirose, firma especializada na fabricação de conectores de alto desempenho para aplicações que incluem computadores, equipamentos terminais, equipamentos de comunicação móvel com e sem fio, equipamento de automação de escritório e equipamento de controle e uso automotivo.

Os Estados Unidos têm empresas como a Intel, uma das principais empresas de semicondutores na economia mundial, e a GlobalFoundries, fábrica de semicondutores que surgiu após a separação de um braço da Advanced Micro Devices (AMD), uma empresa norte-americana fabricante de CIs, especialmente processadores. Ainda há a Microsoft Corporation, multinacional de tecnologia informática que desenvolve e fabrica licenças e suporta uma ampla gama de produtos *software* para dispositivos de computador.

Diante desse quadro, convergindo com a teoria do ciclo de vida do produto de curto prazo e das janelas de oportunidade como estratégia de *catch-up*, discutido no referencial teórico e metodológico deste trabalho, Lee, Gao e Li (2017) afirmam que a importância da emergência ativa de firmas domésticas/nacionais também pode ser discutida em termos da necessidade de superar as limitações impostas pelos regimes tecnológicos. Por exemplo, a alta frequência das mudanças tecnológicas ou o curto tempo de ciclo das tecnologias em um setor podem ser fonte de barreiras, em vez de oportunidade. No entanto, como mostra o caso dos sistemas sem fio na China, o crescimento das empresas domésticas/nacionais (*indigenous firms*) da era do sistema fixo fez com que essas firmas se tornassem ativas para obterem o apoio do setor governamental, com o objetivo de dar suporte para que as empresas superassem essas fragilidades. A fraca presença de firmas nacionais em *chips* na China também pode ter resultado na lentidão no ambiente de mudanças técnicas frequentes, deixando o país em situação de maior vulnerabilidade diante das sanções dos Estados Unidos.

Ao discutirem as estratégias de *catch-up* tecnológico (*path-following*, *stage-skipping* ou *path-creating*), Lee, Gao e Li (2017) afirmam que a estratégia *path-following* – que tem como elemento principal explorar as vantagens de custos de fatores como mecanismo para ter um processo gradual de *catch-up*, o que elevaria sua participação no mercado – implica processo mais lento e gradual. Entretanto, essa estratégia por si só pode não ser suficiente para um rápido *catch-up* ou até mesmo para ultrapassar os países dominadores das tecnologias de ponta. Isso leva muitos países a adotarem a estratégia chamada *leapfrogging* – que significa basicamente pular etapas do desenvolvimento tecnológico, saltando para os estágios *stage-skipping approach* ou *path-creating*.

Na estratégia *path-following*, os países retardatários movem-se ao longo das trajetórias técnicas existentes das empresas já estabelecidas. Para os autores, uma vantagem dessa situação é que essas empresas se preocupam menos com a transferência ou o vazamento de tecnologias porque os países retardatários compram suas tecnologias maduras. Com isso, as firmas de países de industrialização tardia têm menor nível de produtividade, e competir com as empresas já consolidadas nos mesmos mercados não é uma opção, de modo que essas firmas precisam entrar nos segmentos de menor valor agregado ou menor intensidade tecnológica. Outro ponto a ser considerado é que as empresas já estabelecidas tendem a ficar cada vez mais relutantes em fornecer tecnologias às empresas dos países retardatários se estas começam a surgir como ameaça competitiva no mercado. Esse cenário de surgimento de barreiras impostas por empresas líderes, além do processo mais lento de *catch-up* da estratégia *path-following*, são algumas das razões para os países retardatários recorrerem ao *leapfrogging*, como observado nas experiências em setores de países como China e Coreia do Sul. No entanto, dado o risco intrínseco no uso da estratégia do *leapfrogging* – por exemplo, incerteza na escolha de produto e setor, bem como (não) existência de mercados iniciais –, o papel do governo com políticas de suportes ao investimento privado é frequentemente exigido.

Com isso, o papel do governo é importante, mas nem sempre bem-sucedido, e deve ser diferente entre os setores. Nos setores de alta tecnologia, a simples aplicação de tarifas ou o processo de incentivo ao licenciamento ou IDE podem não ser eficazes. Em vez disso, é possível que sejam necessários subsídios de P&D e a formação de um consórcio/parceria público-privado (PPP) focados nas atividades de P&D – como as parcerias/formação de *joint ventures* em P&D entre empresas nacionais e estrangeiras e a contratação de engenheiros estrangeiros, situações estas que aconteceram no desenvolvimento dos setores de telecomunicações e automotivo na China – e também experiências de empresas que produzem *chips*, telefones celulares e TVs digitais na Coreia do Sul. Nos setores em que as inovações são infrequentes e altamente previsíveis, um *catch-up* bem-sucedido pode ser possível, em grande parte, por meio de iniciativas privadas ao longo de estratégia de *path following* ou *stage skipping*, enquanto, em setores com tecnologias que

são altamente fluidas e estão enfrentando altos riscos com grandes requisitos de investimento em capital e P&D (situação do setor de semicondutores), um *catch-up* bem-sucedido pode exigir uma PPP ao longo do tempo para a construção de estratégia mais viável para o *catch-up* tecnológico.

Para Lee, Gao e Li (2017), se o padrão da China difere de outras experiências exitosas em setores mais intensivos em tecnologia, como Coreia do Sul e Taiwan, então algumas das discrepâncias podem ser explicadas em termos da diferença de tamanho e da complexa interação do Estado com empresas privadas e estatais, assim como com as multinacionais estrangeiras. Dada a grande população da China e maior abertura ou flexibilidade na inserção do capital estrangeiro na China, o governo pode buscar estabelecer melhores acordos com empresas estrangeiras na transferência de tecnologia, por meio da adoção da chamada política de mercado de negociação de tecnologia.

Li (2017), seguindo a mesma linha de desafios a serem superados pela China, mostra que o desafio não é apenas continuar a trajetória do *made in China* de grande para mega, mas é avançar do *made in China* para o *designed in China* e o *innovated in China*, como a Alemanha e os Estados Unidos têm feito com sucesso por décadas. No MIC 2025, as metas e as ideias de implementação foram estabelecidas, incluindo-se o avanço de novas tecnologias de ponta por meio de investimentos em P&D. Dessa forma, aumentou-se o acúmulo de IP, criaram-se padrões técnicos distintos, alavancou-se o acesso ao mercado chinês ao convidar investidores estrangeiros, aprimorou-se a indústria do *internet plus* e promoveu-se o desenvolvimento industrial e de manufatura. Mas, quando se trata de tecnologias emergentes e digitalização, a China aspira dar um salto (*leapfrogging*) e ultrapassar os concorrentes estrangeiros. Em 2016, o Comitê Central do PCC e o Conselho de Estado publicaram em conjunto um documento chamado *Outline of the National Innovation Driven Development Strategy*. Neste, esclarece-se a ambição da China de usar a dinâmica do investimento em capacidades nacionais para pular/*leapfrogging* e ficar à frente de outras nações. O *gap* tecnológico nas indústrias emergentes é mais contínuo e constante, e, portanto, a China vê a oportunidade única de assumir uma posição de liderança, principalmente se considerando as janelas de oportunidades abertas pelas tecnologias emergentes de ciclo de vida de curto prazo tecnológico.

Para Herrigel (2013), em seu impulso inicial de industrialização pós-1992, a manufatura chinesa destacou-se nos mercados globais como uma plataforma para alto volume produzido, baixo custo e produção voltada para a exportação. Desde a adesão da China à OMC, em 2001, no entanto, a industrialização bem-sucedida criou as condições do mercado interno para estratégias de *upgrading* na estrutura produtiva do país. Em particular, a demanda doméstica mais sofisticada por produtos manufaturados está mudando o foco estratégico dos fabricantes chineses para uma

produção mais avançada. Estes estão aproveitando sua experiência em produção de volume – que envolve notável flexibilidade de fabricação –, com o objetivo de subir na cadeia de valor para projetar e desenvolver seus próprios produtos, cada vez mais sofisticados.

O argumento de Herrigel (2013) para os avanços tecnológicos na China é que as multinacionais de países desenvolvidos da Ásia, da Europa e dos Estados Unidos estão respondendo às mesmas possibilidades de mercado emergente, aprofundando e aprimorando seus compromissos na China. As multinacionais instaladas na China estão promovendo um *upgrading* em suas capacidades locais de produção, engenharia e *design*, bem como treinamento e infraestruturas da cadeia de suprimentos, para adaptar seus produtos às características técnicas, regulamentares e culturais específicas do mercado chinês.

Para o autor, o *upgrade* na China tem sido em duas fases: no primeiro momento, houve uma estratégia chamada de *unilateral learning relations*, com planejamento inicial de industrialização voltada para a exportação, em que os produtores chineses se aprimoraram com sucesso, ao tornarem-se aprendizes de seus clientes estrangeiros e aprenderem a se integrar a países de práticas transnacionais. O sucesso dessas relações de aprendizagem unilaterais iniciais aumentou a sofisticação do mercado chinês. No segundo momento, há uma nova fase de *upgrading*, impulsionada pelo aprendizado tecnológico mútuo (*mutual learning*), na qual as empresas nacionais chinesas e multinacionais buscam tornar suas operações mais sofisticadas. Nesse novo contexto, a aprendizagem desaparece e as principais firmas chinesas e estrangeiras aprendem umas com as outras – ou seja, em uma dinâmica de aprendizagem mútua, que é facilitada pela globalização dos sistemas de aprendizagem formal, como os sistemas de produção corporativa (CPS – em inglês, *corporate production systems*). Originalmente desenvolvidos para facilitar a inovação e a otimização contínua em operações multinacionais em mercados competitivos desenvolvidos, os princípios do CPS difundiram-se na China por meio de cadeias de suprimentos transnacionais e processos de governança intramultinacionais. Os CPS globais são arquiteturas de governança que geram reflexão, deliberação e experimentação conjuntas. Quando bem-sucedido, isso produz aprendizagem multidirecional (recursiva) entre todos os participantes.

Lee, Gao e Li (2017), Lee e Lim (2001), Mu e Lee (2005) e Lee (2013), utilizando o arcabouço do SSI e de ciclos de vida do produto, afirmam que a China segue essa estratégia de ciclos tecnológicos curtos com a finalidade de promover o *catch-up* tecnológico e superar a armadilha da renda média. Os autores analisam setores como os de telefonia celular, automobilístico e de semicondutores, apontando para alguns elementos essenciais que fortalecem e direcionam a dinâmica do *catch-up* do país.

- 1) A experiência da China mostra que as estratégias *path-following*, *stage-skipping* e *path-creation catch-up* não são padrões mutuamente exclusivos, mas podem ser adotados sequencialmente. No estágio inicial, o *catch-up* prossegue com um estágio de *path-following* que depende de mercados de baixa renda, mas o último estágio pode exigir estratégias de *leapfrogging* (*catch-up* por meio da estratégia *stage-skipping* e *path-creation*).
- 2) A essencialidade que as empresas privadas nacionais e as estatais exercem no país, principalmente se considerando a complexidade do papel do governo na China.
- 3) O tamanho do mercado e o poder de barganha da China, que afetam o acesso à tecnologia estrangeira, principalmente no processo de formação de *joint venture*, com exigências de transferência de tecnologia e conteúdo local.
- 4) A estrutura política descentralizada da China frequentemente leva ao conflito de papéis entre os governos central e local. A dinâmica divergente de *catch-up* na China tem sido frequentemente atribuída à inconsistência e à descoordenação entre os diferentes níveis de governo. Por exemplo, para a indústria automobilística, os governos locais em Xangai, Guangzhou e Pequim tendem a depender do IDE para gerar receitas fiscais, apesar de a demanda do governo central exigir um desenvolvimento tecnológico altamente orientado para atores nacionais. As inconsistências ou os conflitos entre esses governos afetam ainda mais o tamanho e a natureza do poder de barganha da China, que interfere no acesso do país ao conhecimento estrangeiro.

De acordo com Lee (2013), considerando-se a dimensão de nível micro ou empresarial da economia chinesa, pode-se observar estratégia particular de aprendizagem de capacidades tecnológicas e acesso ao conhecimento estrangeiro, principalmente quando comparados com outros países da Ásia. Conforme observado por Lee, Jee e Eun (2011), as características singulares chinesas incluem três elementos: i) ênfase na *engenharia direta* (o papel das empresas e o *spin-off* da universidade) em contraste com a *engenharia reversa* da Coreia do Sul e de Taiwan; ii) aquisição de tecnologia e marcas, por meio de fusões e aquisições internacionais; e iii) aprendizagem paralela de empresas que entraram na China via IDE para promover firmas nacionais. Esses três elementos compõem o modelo de Pequim e não foram adotados explicitamente por Coreia do Sul e Taiwan, países que são considerados exemplos de *catch-up tecnológico*.

4.5 O 14º Plano Quinquenal: um plano de superação dos gargalos tecnológicos

Nesse sentido, o 14º Plano Quinquenal pode ser compreendido como um planejamento de continuidade da busca da China por superar suas deficiências estruturais, apontadas como dependência externa em itens estratégicos para a estrutura produtiva do país, principalmente se considerando o novo cenário internacional. No próprio plano, fica em evidência a necessidade de

um plano nacional, tendo em vista o cenário geopolítico e as novas demandas para o desenvolvimento, como a inovação e a sustentabilidade, com inclusão social.

Analisando especificamente as dimensões das políticas industrial e de inovação, de acordo com o Center for Security and Emerging Technology – CSET (2020),⁴ o 14º Plano Quinquenal considera o papel central da inovação na modernização geral da China, com busca da autossuficiência e do autoaperfeiçoamento em C&T atuando como suporte estratégico para o desenvolvimento nacional, orientados para a vanguarda mundial em C&T, os principais campos de conflitos econômicos diante do cenário geopolítico atual e as principais necessidades da nação. A estratégia é revigorar a China, por meio da ciência e da educação, potencializar a estratégia de desenvolvimento voltada para a inovação – ao aprimorar-se o SNI – e acelerar o esforço para tornar a China uma potência de C&T. A partir dessa perspectiva, o plano apresenta algumas dimensões essenciais para lograr esses objetivos.

- 1) Fortalecimento da C&T como dimensão estratégica do desenvolvimento nacional: o objetivo principal é tornar a China uma potência de C&T, ao melhorar o SNI e dar ênfase à pesquisa básica e à inovação nacional, o chamado *indigenous innovations* e *indigenous capabilities*. Para isso, concentram-se objetivos em setores estratégicos, como AI, informação quântica, CIs, complexo econômico industrial da saúde, bioengenharia e tecnologia aeroespacial. Chama atenção a proposta de construir centros de ciência de inovação nacionais e regionais, tais como em Pequim, Xangai e na Grande Baía de Guangdong, em Hong Kong-Macau.
- 2) Aprimorar a capacidade de inovação tecnológica das empresas: a principal estratégia é aumentar a escala/número de empresas que inovam. Para isso, o governo contempla maiores estímulos para maior integração entre a indústria, as universidades e os institutos de pesquisa, por meio da formação de consórcios de inovação para realização de grandes projetos de pesquisa entre empresas, universidades e centros tecnológicos nacionais. O plano cita, literalmente, o uso de incentivos fiscais para estimular o aumento do investimento em P&D, tanto para as grandes empresas quanto para as pequenas e médias firmas focadas em nichos de inovação.
- 3) Estimular a vitalidade inovadora dos talentos: a proposta envolve reformas das instituições de pesquisa e universidades, com o intuito de criar mais talentos e formação de equipes especializadas em desenvolvimento tecnológico e inovação com nível de competitividade e qualidade mundial. Uma das principais propostas para lograr esse objetivo são as reformas nos mecanismos de avaliação das universidades e dos centros de C&T, assim como a ideia de construir um “exército de jovens talentos”, principalmente relacionado a engenheiros. Além disso, o 14º Plano

4. Disponível em: <<https://web.archive.org/>>. Acesso em: 5 maio 2021.

TEXTO para DISCUSSÃO

Quinquenal também aponta para o uso de incentivos fiscais e a alocação de maior volume de recursos para estimular esses avanços.

- 4) Aprimorar as instituições e os mecanismos de inovação em C&T: nessa dimensão, a proposta é fortalecer o sistema nacional de governança e avaliação de ciência e tecnologia, ao promover a alocação integrada de projetos, com a formação de talentos e a distribuição de fundos para setores considerados estratégicos, particularmente aqueles contemplados na fronteira tecnológica da Indústria 4.0. Um ponto relevante nessa dimensão é a preocupação em fortalecer a proteção da propriedade intelectual e aumentar a eficácia de transferência e conversão das realizações de C&T em aplicações práticas, ao se considerar a comercialização e a aplicação ampliada de novas tecnologias. Para isso, o plano propõe aumentar o investimento em P&D no apoio à pesquisa básica e de ponta.

Do ponto de vista da política industrial, o 14º Plano Quinquenal também está estritamente relacionado com a lógica da inovação, do desenvolvimento científico e tecnológico, considerando a necessidade do desenvolvimento de um sistema industrial moderno. De acordo com o CSET (2020), as principais dimensões na busca pela modernização da estrutura do sistema industrial chinês são as seguintes.

- 1) Modernização de cadeias produtivas: o 14º Plano Quinquenal propõe manter a participação da manufatura no PIB basicamente estável e fortalecer os alicerces da economia real. Isso será viabilizado por meio do aprofundamento dos pontos fortes das cadeias de produção e abastecimento existentes, levando-se em consideração as vantagens já estabelecidas de escala industrial e, ao mesmo tempo, criando-se cadeias de produção novas e emergentes. Desse modo, promoveu-se o aumento de escala e diversificação da cadeia produtiva, principalmente ao se considerar a *Indústria inteligente 4.0*, além de contemplar a transformação verde de indústrias tradicionais, assim como o desenvolvimento do setor de serviços. Um dos mecanismos para alcançar esse objetivo é o maior investimento em infraestrutura no país, com o objetivo de superar deficiências das cadeias de produção e abastecimento, ao se implementarem projetos de reengenharia da base industrial. Outro ponto que chama atenção nesse item é a busca por fortalecer a cooperação internacional em segurança industrial e formar elos de cadeias de produção em setores considerados com maior valor agregado e maior credibilidade no mercado internacional.
- 2) Desenvolvimento de indústrias emergentes estratégicas: o foco aqui claramente é o que se chama Indústria 4.0, o que deixa em evidência que o 14º Plano Quinquenal é uma continuidade do MIC 2025 – isto é, promover a automação industrial e a integração de diferentes tecnologias, como inteligência artificial, robótica, IoT e computação em nuvem, com o objetivo de promover a digitalização das atividades industriais, ao melhorar os processos e aumentar a produtividade. Nesse item, o setor aeroespacial e naval, pontos de forte vantagem competitiva da China, são nitidamente citados como estratégicos. A ideia do desenvolvimento de *clusters* é tratado como mecanismo importante para o desenvolvimento de indústrias de manufaturas

- avanzadas, desenvolvendo novas tecnologias, novos produtos e novos formatos industriais, bem como utilizando o mecanismo de fusões e reestruturações de empresas como mecanismo de promover escala e escopo em novos setores produtivos.
- 3) A aceleração do desenvolvimento de indústrias de serviços modernos: deve-se dar impulso ao desenvolvimento do setor de serviços como P&D e *design*, estrutura logística moderna e serviços jurídicos, ao promover a integração do setor entre o setor de serviços, com as indústrias manufatureiras avanzadas e a agricultura moderna.
 - 4) A coordenação da promoção da construção de infraestruturas: nesse item, há nitidamente uma lógica de construção de um sistema de infraestrutura associado à necessidade dos avanços em setores produtivos relacionados à Indústria 4.0, com a proposta de uma nova infraestrutura para a disseminação de redes de comunicações 5G e internet industrial, com construção de grandes centros de dados. Contempla também aprimorar o sistema de transportes e as redes de logística, bem como acelerar a rede de trânsito ferroviário de aglomerações urbanas e áreas metropolitanas, com vistas a aumentar a penetração de transporte nas zonas rurais e áreas de fronteira. A questão energética também é considerada, afirmando a necessidade de uma revolução energética que aprimore os sistemas de produção, fornecimento, armazenamento e comercialização de energia, com foco na exploração e no desenvolvimento nacional de petróleo e gás.
 - 5) O desenvolvimento baseado em digitalização: essa é mais uma dimensão incorporada na estratégia do desenvolvimento dos setores mais intensivos em tecnologia, com o objetivo de desenvolver a digitalização industrial, estimulando a integração profunda das economias digital e real, e criar *clusters* de indústria digital competitivos internacionalmente. Para isso, a meta é expandir a abertura ordenada de informações e dados públicos básicos e construir plataformas nacionais abertas para compartilhamento unificado de dados, salvaguardando-se a segurança dos dados nacionais.

Essas fases analisadas até aqui deixam em evidência a busca da China pelos avanços em estruturas produtivas mais intensivas em tecnologia e a busca de consolidação como uma nação que ultrapassou a armadilha da renda média. Uma das principais estratégias é o *catch-up* tecnológico, focando principalmente em setores considerados vitais, como os da Indústria 4.0, que fazem parte da fronteira tecnológica atual. A análise desses planos, considerando-se a metodologia da teoria do ciclo de vida de curto prazo tecnológico e o SSI, mostra que a China vem utilizando as janelas de oportunidade – geradas pelas transformações tecnológicas e econômicas – para lograr estágios mais avanzados de desenvolvimento, muitas vezes adotando a estratégia do *leapfrogging*.

As ideias dos autores que usam o arcabouço de SSI e ciclos curtos tecnológicos, que levam em consideração as peculiaridades da China, tornam-se elementos centrais para identificar como

TEXTO para DISCUSSÃO

as políticas de *catch-up* estão acontecendo diante da nova conjuntura internacional, com o acirramento dos conflitos entre Estados Unidos e China, particularmente com as sanções impostas à China para acessar os semicondutores.

A “guerra comercial” entre China e Estados Unidos talvez seja o melhor exemplo da maior necessidade do domínio tecnológico e do fortalecimento das cadeias produtivas nacionais como elementos essenciais para a soberania nacional. O novo presidente norte-americano, Joe Biden, defende claramente uma política de atração das empresas norte-americanas para o país, com o objetivo de fortalecer a cadeia produtiva nacional e, também, gerar mais empregos no próprio país.

Além de o governo norte-americano defender uma política de fortalecimento das cadeias produtivas internas e atrair as empresas norte-americanas para o país, há também a imposição de sanções contra a China, com a finalidade de impedir o desenvolvimento tecnológico do seu principal rival na economia internacional. Tudo começou em 2016, com as sanções impostas pelos Estados Unidos contra a empresa de equipamentos de telecomunicações chinesas (Zhong Xing Telecommunication Equipment Company Limited – ZTE), e tornou-se cada vez mais sério à medida que Washington aumentava a pressão sobre outras firmas chinesas, com o argumento de que estas ameaçavam a segurança nacional dos Estados Unidos. No espaço de um ano, Washington revisou suas regras de controle de exportação três vezes para atingir a Huawei⁵ – mudanças estas que afetaram os fornecedores americanos e não americanos de *microchips* e placas de circuitos avançados (Li e Ting-Fang, 2020).

Como resposta, na China, os gastos em P&D, os investimentos em parques tecnológicos e os programas de compras e financiamento de governo voltados para indústrias de alta tecnologia – tanto no setor de TI e da comunicação, na biotecnologia e energia quanto no programa espacial e militar – reafirmam a estratégia do país em lograr estruturas produtivas mais densas e diversificadas, dando ao país maior autonomia em sua trajetória de desenvolvimento.

A China também divulgou que nos próximos planos quinquenais do país haverá prioridade na estratégia chamada de Dual Circulation Strategy (Wheatley, 2020), com foco em inovação e tecnologia, como nova estratégia para enfrentar o duelo econômico contra os Estados Unidos.

5. Empresas chinesas como Huawei e ZTE estão perdendo o acesso a *microchips* e placas de circuito avançados, diante dos boicotes dos Estados Unidos. As últimas regras anunciadas, em julho de 2020, pelo Departamento de Comércio, proibiram efetivamente qualquer firma, em qualquer lugar do mundo, de fornecer *chips* para a Huawei ou qualquer uma de suas subsidiárias sem, primeiramente, obter uma licença do governo dos Estados Unidos. Ver Gill (2020b). Disponível em: <<https://bit.ly/3LLtg9X>>.

Essa nova estratégia tem duas linhas de ação: i) fortalecer o mercado interno; e ii) ampliar o investimento tecnológico.

A China importa US\$ 300 bilhões em *chips* de computador por ano, e seus esforços para construir uma indústria doméstica de fabricação desses itens até agora produziram resultados pouco satisfatórios. Os *chips* de computador, a tecnologia central da era digital, são uma prioridade no plano de cinco anos proposto pela China de US\$ 1,4 trilhão para ultrapassar os Estados Unidos e dominar o setor de semicondutores (Gala e Moreira, 2020). Na próxima seção, analisa-se a evolução desse setor na China, sua evolução e seus desafios, diante desse novo cenário internacional.

5 INDÚSTRIA 4.0 E O SETOR DE SEMICONDUCTORES NA ECONOMIA MUNDIAL: O LUGAR DA CHINA E SEUS DESAFIOS

O debate mais recente sobre as transformações na estrutura industrial da economia mundial gira em torno da chamada Indústria 4.0. Hermann, Pentek, Otto (2015) a definem como um amplo movimento de diversificação das tecnologias aplicadas à produção manufatureira, em que normalmente estão associadas à combinação das seguintes tecnologias: sistemas ciber-físicos (CPS); *big data analytics*; computação em nuvem; internet das coisas e internet dos serviços (IoS); impressão 3D; e outras formas de manufatura aditiva – AI, digitalização, colheita de energia (*energy harvesting*) e realidade aumentada. Essa indústria cria e articula fábricas inteligentes (*smart manufacturing*) em um sistema produtivo e de comercialização substancialmente diferente, no qual os sistemas de fabricação estão conectados verticalmente ao longo da cadeia produtiva e horizontalmente com outras redes de valor, podendo ser geridos em tempo real.

A ascensão dessa nova fronteira tecnológica está vinculada também à relevância do setor de semicondutores na indústria mundial, a qual é essencial para construção de fábricas mais eficientes conectadas pela IoT e com robôs, tornando o processo produtivo mais eficiente. Nuvens inteligentes com conectividade 5G fornecerão a AI necessária para operar as fábricas inteligentes.

Backer, Mancini e Sharma (2017) afirmam que a indústria de semicondutores é líder em coleção de dados, e as ferramentas da Indústria 4.0 podem ajudar as fábricas a extraírem seu vasto estoque de conhecimento, ao fornecer *insights* detalhados e práticos que são necessários para identificar soluções. A Indústria 4.0 e o setor de semicondutores podem ofertar ampla disponibilidade de opções de automação de baixo custo e robótica avançada, ajudando também os gestores a implementarem seus programas enxutos com mais rapidez e eficiência, com algumas empresas obtendo melhorias reais em custos, produção e qualidade em poucos meses.

TEXTO para DISCUSSÃO

De acordo com Gutierrez e Leal (2004), a indústria de semicondutores – por ser o elo a partir do qual são gerados a inovação e o progresso tecnológicos nos diversos ramos do complexo eletrônico, com impactos positivos em outros segmentos da economia – é um dos setores com elevado potencial de criação de vantagens competitivas e, desse modo, estratégico para países implementarem seu *catch-up* tecnológico. É um setor essencial para o desenvolvimento, a diversificação e o adensamento do setor eletroeletrônico.

O desenvolvimento da eletrônica tem como uma das principais transformações a miniaturização e o barateamento dos produtos eletrônicos. O motor dessa evolução é a integração de circuitos inteiros em apenas um componente (circuito integrado); ou seja, a construção em um diminuto pedaço de material semicondutor (silício) de um componente que simula completamente o funcionamento de todo um circuito com centenas de outros componentes. Desde a invenção do CI, em 1958, o número de transistores por *wafers*⁶ para um *chip* lógico aumentou por um fator de cerca de 10 milhões, o que resultou em ganho de 100 mil vezes na velocidade do processador e redução de custo de mais de 45% por ano em desempenho. Com inovações de engenharia, como encapsulamento avançado e tecnologia de materiais, isso permitiu que os fabricantes de dispositivos eletrônicos criassem dispositivos com poder computacional exponencialmente maior, em formatos cada vez menores. Com isso, a integração em larga escala tem tornado possível a realização de novas e mais complexas funções por apenas um componente. Isso fica em evidência quando observamos que a “inteligência” de um produto, cada vez mais, se encontra integrada em seus componentes microeletrônicos, estando o domínio sobre determinado bem final associado, mais que à sua fabricação, ao domínio sobre esse segmento (Gutierrez e Leal, 2004; Varas *et al.*, 2021).

A criação de uma indústria de CIs, portanto, fortalece a cadeia eletrônica, na medida em que reduz a dependência de elos (de projeto e produção de componentes). Como consequência, propicia o surgimento de inovações capazes de conferir maior competitividade aos produtos, bem como de novos postos de trabalho qualificados, em projetos de bens finais e componentes e em processos produtivos complexos (Gutierrez e Leal, 2004).

De acordo com Varas *et al.* (2021), semicondutores são produtos altamente complexos para *design* e fabricação, além de ser um setor intensivo em P&D e capital. Estima-se que em 2019 a indústria investiu cerca de US\$ 90 bilhões em P&D e US\$ 110 bilhões em despesas de capital em todas as atividades da cadeia de valor, o que representa quase 50% dos US\$ 419 bilhões em

6. *Wafers* são placas de semicondutores feitas de silício e usadas como base para a criação de *chips* processadores. Estas têm esse nome por se assemelharem ao alimento homônimo, levando-se em conta sua espessura e aparência quando já preenchidas por processadores.

vendas globais de semicondutores nesse ano. Além do mais, nos próximos dez anos, a indústria precisará investir cerca de US\$ 3 trilhões em P&D e despesas de capital globalmente em toda a cadeia de valor, com o objetivo de atender à crescente demanda por semicondutores. Considerando-se a relação entre receitas e investimentos em P&D e a formação de capital, nenhum outro setor industrial no mundo tem investimento alto como o setor de semicondutores. Por exemplo, em 2019, no que concerne aos investimentos feitos por empresas em toda a cadeia de valor global, o setor de semicondutores teve um investimento de 22% em P&D como proporção das receitas e de 26% em capital. Os setores que se aproximam desse percentual são o farmacêutico e o de biotecnologia, com investimentos de 22% em P&D como proporção das receitas e de 14% em capital. Esse nível extremamente alto de intensidade de investimento cria a necessidade de grande escala global e especialização.

Em relação ao investimento em P&D, 65% do investimento total da indústria é feito em *design* da cadeia de valor; há também investimentos para elos da cadeia, como concepção e *design* eletrônico (EDA – em inglês, *electronic design automation*), propriedade intelectual, equipamento de semicondutor e fabricação de *wafer*. No que concerne ao investimento em capital, 65% do total dos investimentos foi para a fabricação de *wafer*. Além disso, montagem e teste, materiais e até mesmo *design* também exigem investimentos significativos em instalações e equipamentos avançados.

O fato de a indústria de semicondutores ser intensiva em P&D e capital – e, por definição, ser um setor de inovação – exige uma profunda experiência em tecnologias complexas, necessárias para produzir semicondutores, criando barreiras naturais à entrada nas atividades principais na cadeia de abastecimento, limitando, assim, a base de fornecedores e concentrando cada atividade em poucos países na economia global. Por exemplo, a cadeia de suprimentos de semicondutores é global, mas concentrada em apenas seis regiões principais (Estados Unidos, Coreia do Sul, Japão, China continental, Taiwan e Europa), as quais contribuem cada uma com 8% ou mais do valor total agregado pela indústria de semicondutores em 2019 (Varas *et al.*, 2021).

É justamente esse papel estratégico do setor de semicondutores na nova fronteira tecnológica industrial mundial que é um dos motivos da “guerra tecnológica”, principalmente visibilizada nos confrontos entre Estados Unidos e China, envolvendo os principais *players* do setor de semicondutores no mundo, como Coreia do Sul, Taiwan, Japão e Europa. No espaço de um ano, Washington revisou suas regras de controle de exportação três vezes para atingir a Huawei – mudanças estas que afetaram os fornecedores americanos e não americanos de *microchips* e placas de circuito avançados. Esse cenário, aliado à escassez de semicondutores na economia mundial, talvez seja o melhor exemplo da maior necessidade do domínio tecnológico e do fortalecimento das cadeias

produtivas nacionais como elementos essenciais para a soberania nacional, em particular se considerando o setor de semicondutores.

Nesse sentido, nos Estados Unidos, ao anunciar a estratégia de parceria com a indústria, os aliados e os parceiros para resolver a escassez de semicondutores, o Plano Biden deixou explícito a prioridade do setor (United States, 2021). O Departamento de Comércio (DOC – em inglês, Department of Commerce) terá papel essencial na relação com a indústria, com o apoio de US\$ 75 bilhões em investimentos diretos do setor privado na fabricação nacional de semicondutores e P&D. O DOC também fortalecerá sua parceria com a indústria para facilitar o fluxo de informações entre produtores e fornecedores de semicondutores e usuários finais. Além do mais, o próprio documento reconhece que o setor de semicondutores não avançará no fortalecimento da estrutura produtiva e na inovação sem o suporte do governo:

Reconstruir as capacidades de produção e inovação dos Estados Unidos. A competitividade de longo prazo exigirá um ecossistema de produção, inovação, trabalhadores qualificados e diversos fornecedores de pequeno e médio porte. Esses elementos do ecossistema são a infraestrutura necessária para estimular o investimento do setor privado na indústria e em inovação. Mas essa infraestrutura não pode ser criada ou sustentada sem o apoio e a liderança do governo federal. As recomendações específicas para reconstruir nossa base industrial para setores críticos incluem fornecer financiamento para setores dedicados à fabricação de semicondutores e P&D. Recomendamos que o Congresso apoie pelo menos US\$ 50 bilhões em investimentos, com o objetivo de avançar na fabricação doméstica de semicondutores críticos e promover P&D de semicondutores (United States, 2021).⁷

7. Rebuild America's production and innovation capabilities. Long-term competitiveness will require an ecosystem of production, innovation, skilled workers, and diverse small and medium-sized suppliers. Those ecosystems are the infrastructure needed to spur private sector investment in manufacturing and innovation. But that infrastructure cannot be created or sustained without the support and leadership of the federal government. Specific recommendations to rebuild our industrial base for critical sectors include: Provide dedicated funding for semiconductor manufacturing and R&D: We recommend Congress support at least \$50 billion in investments to advance domestic manufacturing of critical semiconductors and promote semiconductor R&D.

5.1 A cadeia de valor do setor de semicondutores na economia mundial

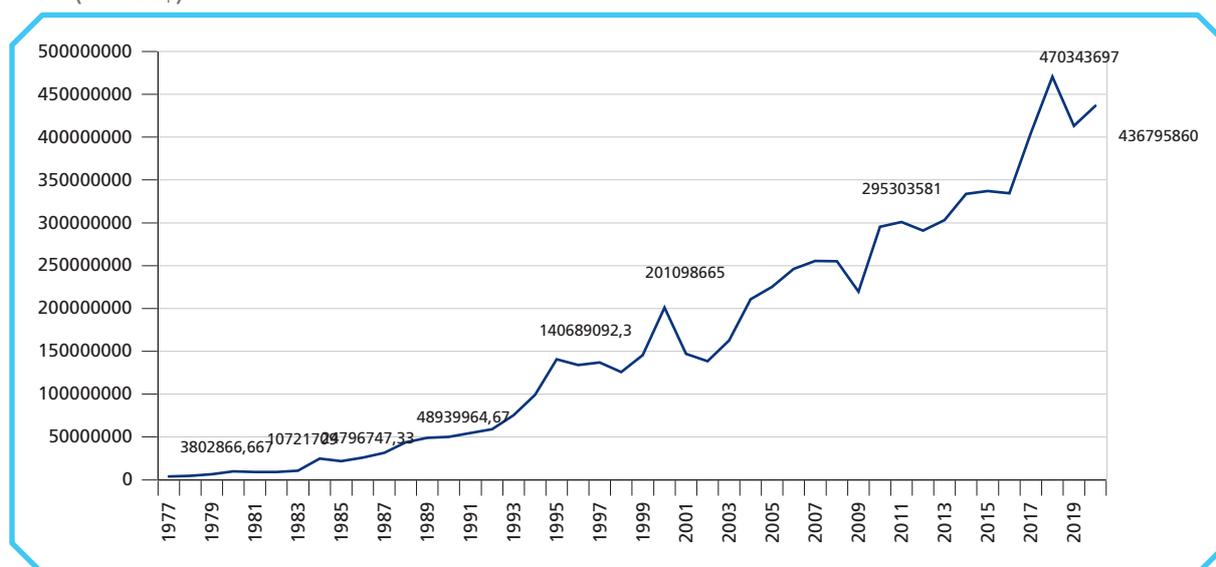
Para o IC Insights, o total de unidades de semicondutores, que incluem CIs, bem como optoeletrônica, sensor/atuador e dispositivos discretos (O-S-D – em inglês, *optoelectronics, sensor/actuator, and discrete*), deve aumentar 13% em 2021, alcançando a marca de 1.135,3 trilhão de unidades, um novo recorde. Entre 1978 e 2020 (em 43 anos), a taxa composta de crescimento anual de unidades de semicondutores foi de 8,6%.

O crescimento da produção das unidades de semicondutores reflete-se na trajetória de crescimento do faturamento no mercado mundial (gráfico 12). Em 2020, o faturamento do setor foi de US\$ 436 bilhões. Chama atenção que esse crescimento tenha se intensificado muito após os anos 1990, fato atribuído à relevância que o setor ganhou na economia internacional e que ficou mais em evidência com a escassez generalizada de semicondutores, que começou no final de 2020 e se acentuou no mundo em 2021. Estima-se que a inovação no setor de semicondutores proporcionou um adicional de US\$ 3 trilhões no PIB global entre 1995 a 2015, com incremento de US\$ 11 trilhões em impacto indireto. Daqui em diante, mais avanços na tecnologia de semicondutores serão essenciais para permitir uma nova onda de tecnologias transformadoras, incluindo-se AI, 5G, veículos elétricos autônomos ou soluções de IoT implantadas em escala, com uma infinidade de dispositivos inteligentes conectados (Varas *et al.*, 2021).

Os semicondutores são usados para alimentar uma vasta gama de dispositivos eletrônicos – desde *smartphones* e servidores em nuvem, até carros modernos, automação industrial, infraestrutura e sistemas de defesa. O aprofundamento da crise global de *chips* já está atingindo fabricantes de *smartphones*, televisores e eletrodomésticos e a indústria automobilística. Dois motivos principais explicam essa escassez: i) o crescimento da demanda na economia mundial; e ii) a política de estoque, principalmente da China, como consequência das sanções impostas pelos Estados Unidos.

GRÁFICO 12**Faturamento do mercado mundial de semicondutores (1977-2020)**

(Em US\$)



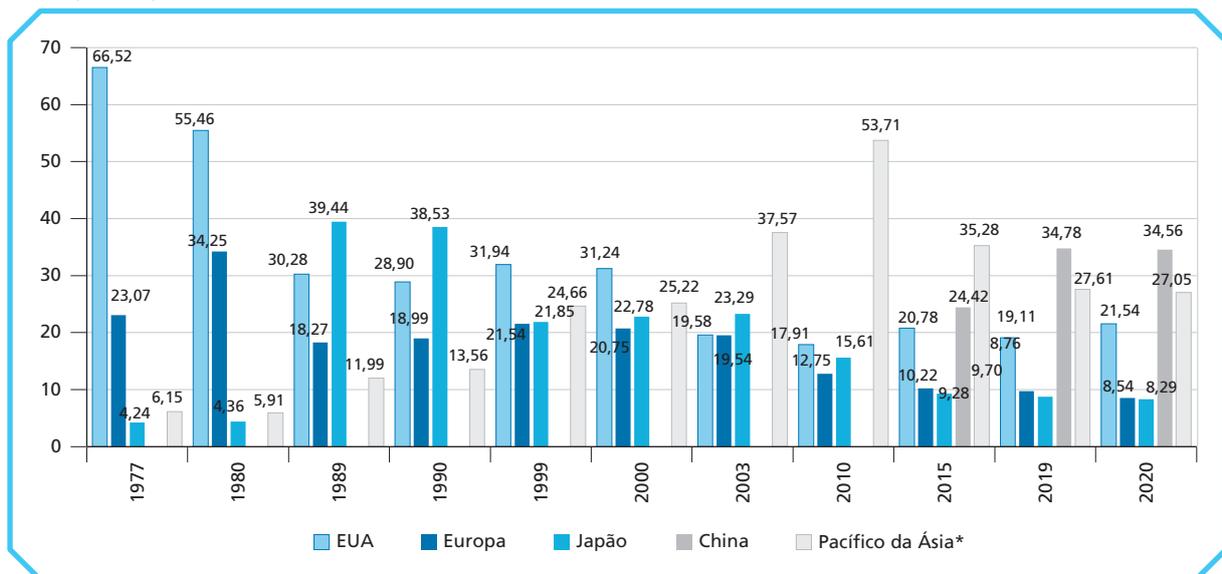
Fontes: Semiconductor Industry Association (SIA) e Boston Consulting Group (BCG).

Elaboração do autor.

Considerando-se a participação de países e regiões no faturamento mundial de semicondutores, a figura 2 mostra que os Estados Unidos vêm perdendo participação no faturamento, com a China ascendendo. Em 2020, a participação dos Estados Unidos foi de 21,5%; enquanto a da China foi de 34,6%; a do Japão, de 8,3%; a da Europa, de 8,5%; e a do Pacífico da Ásia, de 27,1%, tendo Coreia do Sul e Taiwan como principais representantes dessa região.

GRÁFICO 13

Faturamento do mercado mundial de semicondutores (1977-2020)¹
(Em %)



Fontes: SIA e BCG.

Elaboração do autor.

Nota: ¹ A partir de 2015, com a desagregação e tirando-se a China da Ásia, passou-se a chamar *todos os outros do Pacífico da Ásia*.

O interessante é que, embora a China tenha maior participação no faturamento mundial de semicondutores, de acordo com o SIA (2020), a indústria de semicondutores dos Estados Unidos é a líder em participação no mercado de vendas/receitas global, com quase 50% de participação, seguido por Coreia do Sul (19%), Japão (10%), Europa (10%), Taiwan (6%) e China (5%). Além disso, as empresas de semicondutores dos Estados Unidos mantêm uma posição de liderança ou altamente competitiva em P&D, *design* e tecnologia de processo de fabricação.

5.2 Modelo de negócios e a cadeia produtiva do setor de semicondutores

Para entender essa lógica, é necessário compreender como funciona a cadeia global do setor de semicondutores e dos modelos de negócio.⁸ Como mostram Rivera *et al.* (2015), os CIs são o principal segmento dos componentes semicondutores – incluindo-se circuitos analógicos, microprocessadores, memórias e dispositivos lógicos – e representam mais de 81% das receitas.

8 . Para uma compreensão melhor da cadeia e do modelo de negócio do setor, ver Varas *et al.* (2021).

TEXTO para DISCUSSÃO

Existem mais de trinta tipos de categorias de produtos semicondutores, cada uma otimizada para uma função específica em um subsistema eletrônico. O desenvolvimento de um *chip* moderno requer profundo conhecimento técnico em *hardware* e *software* e conta com ferramentas de *design* avançadas e IPs fornecidos por empresas especializadas. A fabricação normalmente requer até trezentos insumos diferentes, incluindo-se *wafers* brutos, *commodities* químicas, especialidades químicas etc. Esses insumos são processados por mais de cinquenta classes de equipamentos de alta precisão na engenharia (Varas *et al.*, 2021).

Os semicondutores podem ser classificados em três grandes categorias amplas: lógico (42% das receitas da indústria); memória (26% das receitas da indústria); e discreto, analógico e outro (DAO – em inglês, *discrete, analog, and other*), que consistem em 32% das receitas da indústria (figura 3). Esse grupo é altamente complexo, no qual as empresas envolvidas no projeto desenvolvem os CIs em escala nanométrica, que executam as tarefas críticas que fazem os dispositivos eletrônicos funcionarem, tais como computação, armazenamento, conectividade com redes e gerenciamento de energia (Varas *et al.*, 2021).

Na dimensão de manufatura e equipamentos, temos as dimensões chamadas de *front end* e *back end*. *Front end* é altamente intensiva em capital devido à escala e aos equipamentos complexos necessários para produzir semicondutores (figura 3). Produz equipamentos, materiais e fabricação de *wafers*. *Back end* é relativamente menos intensivo em capital e emprega mais mão de obra que os setores *front end*. Essa dimensão opera no encapsulamento, na montagem e nos testes de energia (Varas *et al.*, 2021).

Em relação às etapas da cadeia produtiva/segmentos dos componentes de semicondutores, conforme a figura 3 (lado direito), os Estados Unidos lideram nas atividades mais intensivas em P&D – EDA e Core IP, com 74%; lógico, com 67%; e *design* de *chips* e equipamentos de manufatura avançados, com 41% (Varas *et al.*, 2021). Na dimensão de equipamentos e material, os Estados Unidos também têm elevada participação no setor de equipamentos. Por exemplo, esse poder do país pode ser verificado na tecnologia de transistor (*fin field-effect transistor* – FinFET), que permitiu a fabricação do transistor de 22 nanômetros (nm), projeto dominante para os *chips* de ponta de hoje em 5 nm. Os Estados Unidos foram os pioneiros no desenvolvimento da tecnologia FinFET e são a fonte de 48% das patentes relacionadas. Nesse caso, Taiwan – que hospeda várias

das principais *foundries* (modelos de negócio⁹ – lado esquerdo da figura 3) do mundo – contribuiu com 20% das patentes FinFET, mas a liderança e o domínio dos Estados Unidos na cadeia permitem ao país ter maior participação nas receitas mundiais de semicondutores e, ao mesmo tempo, impor sanções à China.

FIGURA 3

Modelos de negócio e cadeia produtiva de semicondutores (2019)



Fonte: BCG Analysis.

Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

9. O modelo de negócios representa o ciclo de desenvolvimento e produção de um semicondutor, desde seu projeto até o encapsulamento e o teste. No início da década de 1970, todas as etapas da produção da microeletrônica eram realizadas em um modelo vertical denominado fabricantes de dispositivos integrados (IDM – em inglês, *integrated device manufacturer*). Até então, os CIs desenvolvidos e fabricados eram geralmente consumidos pela própria empresa. Com o processo de fragmentação produtiva, a partir dos anos 1980, surgiram as empresas especializadas nas etapas de produção e *design* nos modelos conhecidos como *foundry* e *fabless*. As *foundries* são a etapa de maior valor agregado da cadeia de semicondutores, pois geram mais empregos, apresentam maior volume de faturamento, oferecem maiores margens operacionais e, em regra, atraem as demais etapas de produção. A fragmentação dessa cadeia também resulta na etapa de encapsulamento e testes (ATS – em inglês, *assembly and test services*), que é o estágio final da fabricação de dispositivos semicondutores, quando o bloco de material semicondutor é encapsulado em um invólucro de suporte que evita danos físicos e corrosão. Posteriormente, vem o teste do circuito integrado.

TEXTO para DISCUSSÃO

O Leste Asiático está na vanguarda na fabricação de *wafers* (componente dos CIs), o que requer investimentos maciços de capital, apoiados por incentivos governamentais, bem como acesso à infraestrutura robusta e força de trabalho qualificada. A China é líder em montagem, encapsulamento e teste (participação de 38% na produção mundial), setor este que exige menos qualificação e capital. O país está investindo agressivamente para expandir-se em toda a cadeia de valor.

A manufatura surge como um importante ponto quando se trata da resiliência da cadeia global de suprimentos de semicondutores. Cerca de 75% da capacidade de fabricação de semicondutores, bem como muitos fornecedores de materiais essenciais – como *wafers* de silício, fotorresiste e outros produtos químicos especiais –, está concentrado na China e no Leste Asiático. Além disso, toda a capacidade de fabricação de semicondutores mais avançada do mundo – em nodes abaixo de 10 nm – está atualmente localizada na Coreia do Sul (8%) e em Taiwan, 92% (Varas *et al.*, 2021).

Taiwan tem investido no desenvolvimento de sua indústria nacional de fabricação de semicondutores desde 1974, quando o governo selecionou os semicondutores como uma indústria de foco principal para expandir a economia além da agricultura. As políticas adotadas pelo governo incluíram apoio direto na forma de criação de laboratórios de P&D, parques industriais e incentivos para a construção de novas fábricas, como generosos créditos fiscais que poderiam cobrir até 35% de suas despesas de capital e 13% de suas compras de equipamentos, bem como incentivos indiretos, como a reforma do setor financeiro e do mercado de capitais para facilitar o acesso ao financiamento. Isso resultou na criação da TSMC. Embora vários programas de incentivos tenham sido reduzidos após o período 2009-2010, estima-se que Taiwan ainda oferece incentivos para novas fábricas no valor de 25% a 30% de seu custo total geral de propriedade em um período de dez anos (Varas *et al.*, 2021).

No final dos anos 1980 e 1990, as empresas taiwanesas foram as pioneiras no modelo de fundição, especializando-se na fabricação de *chips* projetados por empresas de outras regiões. Hoje, Taiwan é o país em que duas das cinco maiores *foundries* do mundo estão operando e responde por 20% da capacidade global total de produção. Com a Intel (Estados Unidos) e a Samsung (Coreia do Sul), a TSMC é uma das três empresas que podem produzir *chips* lógicos em nodes avançados (10 nm ou menos), que são necessários para dispositivos de computação intensiva, como *data center/servidores de AI*, *personal computers (PCs)* e *smartphones*. Na verdade, quase toda a capacidade mundial de nodes/nós (5 e 7 nm) está localizada em Taiwan (Varas *et al.*, 2021).

Na Coreia do Sul, as empresas de semicondutores surgiram na década de 1960, mas foi a partir dos anos 1970 que o setor ganhou mais impulso, principalmente com o governo sul-coreano atribuindo uma concepção de projeto nacional e soberania, fortalecendo a política de incentivos

e subsídios, assim como consolidando o SNI, por meio da formação de consórcios entre grandes *chaebols* (oligopólios sul-coreanos) com as universidades. Por exemplo, nos anos 1980, o governo contribuiu com 57% do total das despesas em investimento em P&D para o desenvolvimento de memória dinâmica de acesso aleatório (Dram – em inglês, *dynamic random access memory*) de 4 MB (Kim, 2005). Atualmente, estimam-se que o governo sul-coreano oferece incentivos para novas fábricas no valor de 25% a 30% de seu custo total de investimento em P&D e capital. Além do mais, a Coreia do Sul tem uma posição proeminente na cadeia global de suprimentos de semicondutores (é o segundo maior fabricante de semicondutores do mundo, com 44% do mercado global de memória).

Em relação aos modelos de negócios (figura 3, lado esquerdo), as empresas de semicondutores podem concentrar-se em um elo da cadeia de suprimentos ou integrar-se verticalmente em várias dimensões. Nenhuma empresa – ou até mesmo nação – está verticalmente integrada em todas as dimensões. Existem, portanto, quatro tipos de empresas de semicondutores, dependendo de seu nível de integração e modelo de negócios: i) IDMs; ii) *fabless* (empresas de *design*); iii) *foundries*; e iv) empresas terceirizadas de montagem e teste – Osats; em inglês, *outsourced assembly and test companies* (Varas *et al.*, 2021).

As *foundries* compõem a etapa de maior valor agregado da cadeia de semicondutores, pois geram mais empregos, apresentam maior volume de faturamento, oferecem maiores margens operacionais e, via de regra, atraem as demais etapas de produção. As empresas de projetos, quando proprietárias dos CIs e controladoras do ciclo de desenvolvimento e comercialização, passaram a ser denominadas de *fabless* (Rivera *et al.*, 2015).

Em 2019, a fabricação de *wafer* (*front-end*) responde por aproximadamente 65% das despesas de capital totais da indústria e 25% do valor agregado. Está concentrada principalmente no Leste Asiático (Taiwan, Coreia do Sul e Japão) e na China (figura 3). O estágio de *back-end* (figura 3), em geral, é responsável por 13% do total de despesas de capital da indústria e contribuiu com 6% do valor agregado total pela indústria. Esta está concentrada principalmente em Taiwan e na China, com novas instalações também sendo construídas recentemente no Sudeste Asiático (Malásia, Vietnã e Filipinas).

A estrutura da cadeia produtiva e o modelo de negócio do setor de semicondutores mostram a dispersão geográfica da atividade produtiva, mas com predomínio dos Estados Unidos e dos países asiáticos. As empresas sediadas nos Estados Unidos representaram cerca de 45% da participação de mercado nos grandes PCs e mercados de aplicativos de infraestrutura de informação e comunicação – o que inclui centros de dados e equipamentos de rede –, e uma participação de 30% no mercado de *smartphones* e equipamentos industriais. A China emergiu claramente

como a segunda região, depois de triplicar sua participação nos últimos dez anos. A ascensão da China como grande fonte de demanda de semicondutores foi impulsionada pela força de suas empresas locais em *smartphones*, PCs e eletrônicos de consumo: empresas como Huawei, Lenovo, Xiaomi e Oppo/Vivo não apenas vendem seus produtos para o mercado doméstico, mas também são concorrentes importantes em outros mercados.

Essa disputa pelo domínio do setor de semicondutores tem levado os países a adotarem várias políticas de estímulos para a ampliação da capacidade produtiva e a internalização da cadeia produtiva. Nos Estados Unidos, estimulados pelo programa do presidente Biden para fortalecer a cadeia produtiva do setor, a Intel investirá US\$ 20 bilhões em novas fábricas de *chips* no país (Duffy, 2021). Na Coreia do Sul, o governo anunciou um plano de estímulos de 510 trilhões de won (US\$ 451 bilhões) e incentivos fiscais para impulsionar a competitividade dos fabricantes de *chips* sul-coreanas, principalmente Samsung e SK Hynix (Jaewon, 2021). A TSMC, estimulada por incentivos do governo, anunciou um planejamento de investir US\$ 100 bilhões nos próximos três anos, com o objetivo de aumentar a capacidade de suas fábricas (Blanchard e Ghosh, 2021).

Esse fato recente é interessante porque mostra que o setor de semicondutores sempre esteve associado a políticas de incentivos e subsídios. Varas *et al.* (2021) mostram que há na Ásia uma deliberada política de incentivos ao setor, que gira em torno de 25% a 30% do investimento realizado em novas fábricas e em investimento em P&D. Nos Estados Unidos e na Europa, esse percentual é de 10% e 15%. É importante citar que todos os países que têm suas empresas inseridas na cadeia de semicondutores (Coreia do Sul, Japão, Taiwan, Estados Unidos, Alemanha e China), historicamente, tiveram políticas de estímulos, que incluíam a imposição de condicionalidades de transferência de tecnologias das multinacionais como contrapartida para explorar o mercado local, proteção tarifária, subsídios à implantação de novas fábricas e investimento em tecnologia e apoio a grandes grupos verticalizados (Morris, 2008; Amsden e Chu, 2003).

5.3 Os avanços da China no setor de semicondutores e os desafios

O setor de semicondutores e seu desenvolvimento na China ganhou mais relevância com a “guerra tecnológica” entre Estados Unidos e China, que colocou em evidência o papel do setor e os limites para a continuidade do desenvolvimento industrial e de inovação na China. Entretanto, é importante levar em consideração que a tentativa do desenvolvimento do setor de semicondutores no país não é recente. Pelo contrário, desde os anos 1960, a China vem implementando políticas voltadas para a construção e o fortalecimento do setor de semicondutores. Nesse sentido, para entender o estágio atual do setor de semicondutores na China

e seus desafios, é importante fazer uma breve discussão sobre a trajetória das políticas e das tentativas do país de desenvolver a indústria de semicondutores.

5.3.1 Uma síntese dos programas para o desenvolvimento do setor de semicondutores entre 1960 e 1990

A tentativa da China de desenvolver o setor de semicondutores já vem desde os anos 1960, quando, em 1965, criou seu primeiro sistema de CI por uma estatal. De acordo com Verwey (2019), o desenvolvimento industrial de semicondutores da China pode ser dividido em quatro períodos: o primeiro período (1956-1990) foi caracterizado por um sistema de organização industrial ao estilo soviético, que enfatizou o desenvolvimento nacional (*indigenous*), a autossuficiência e o forte planejamento estatal. O segundo período (1990-2002) é quando a indústria chinesa de semicondutores tentou alcançar os líderes mundiais, fazendo parcerias com empresas internacionais e participando de *joint ventures* com sucesso limitado. Na terceira fase, entre 2002 e 2014, houve o surgimento de várias firmas de semicondutores, com sede na China, que perseguiram objetivos bem articulados, enquanto exploravam o crescente mercado doméstico da China. A quarta fase inicia-se após 2014 até o momento, quando o governo chinês anunciou os planos mais ambiciosos – como o MIC 2025 e o 14º Plano Quinquenal –, com definições de objetivos e estruturas de financiamento, os quais apontam para perspectivas maiores de sucesso já vistas até então.

Na primeira fase (1956-1990), a indústria chinesa de semicondutores foi caracterizada por um planejamento estatal que enfatizava a inovação local. O setor de semicondutores na China ganhou *status* estratégico quando os computadores e os dispositivos semicondutores se tornaram parte da indústria nacional, durante a liderança de Mao Ze Dong, período também em que o MEI foi criado. O primeiro dispositivo de circuito integrado de semicondutor, chamado circuito de lógica digital, foi desenvolvido com sucesso em 1965, o que levou ao desenvolvimento bem-sucedido de semicondutor de óxido de metal complementar. O Conselho de Estado da China reuniu um grupo de cientistas para desenvolver o estudo, conhecido como *Outline for Science and Technology Development, 1956-1967*, que identificou a tecnologia de semicondutores como uma prioridade-chave. Logo depois disso, cinco grandes universidades chinesas começaram a oferecer cursos relacionados a semicondutores. Além do investimento em educação para a formação de força de trabalho especializada, várias fábricas começaram a operar, a mais notável sendo a fábrica Wuxi, do Grupo Huajing. Essa fábrica treinou muitos dos especialistas nascentes da indústria chinesa e seria fundamental em planos industriais estratégicos posteriores. Em 1965, quando a Chinese Academy of Science iniciou as pesquisas de CIs, a indústria estava muito à frente das de Taiwan e da Coreia do Sul e pelo menos tão sofisticada quanto as do Japão (Verwey, 2019; Rasiah *et al.*, 2012).

Rho, Lee e Kim (2015) mostram que, em 1956, o governo selecionou computador, semicondutor, automação e tecnologia elétrica sem fio como as quatro tecnologias nacionais de emergência para serem desenvolvidas na China. No que concerne à tecnologia de semicondutores, estabeleceram-se planos para aquisição de tecnologia de materiais e instalações, assim como a formação de recursos humanos, o que se tornou a primeira política de tecnologia científica do país. Em 1956, o Institute of Applied Physics, da Chinese Academy of Sciences, adquiriu tecnologia relacionada a semicondutores da União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) e usou o centro de formação de capital humano, com o objetivo de convidar cientistas que tinham retornado do exterior para coordenar as políticas de pesquisa e desenvolvimento, o que resultou na fabricação do primeiro transistor na China. No entanto, quando as relações diplomáticas com a URSS cessaram, houve o isolamento tecnológico e tornou-se impossível adotar a tecnologia de fabricação de semicondutores externa no sistema de gestão econômica da autarquia. Na década de 1960, as pesquisas eram realizadas principalmente por meio das instituições públicas, e a indústria de semicondutores ficou limitada a produzir transistores usados principalmente para rádios. Depois disso, dois centros de projetos de P&D para o setor de semicondutores tiveram destaque: em 1968, houve o projeto 878Fab; e em 1970, o Shanghai 19Fab, criado em 1970.

Durante a Revolução Cultural chinesa, algumas políticas sobre indústria de semicondutores foram implementadas. Durante a década de 1970, divulgou-se na China o lema “todas as pessoas devem fazer semicondutores”, quando surgiram cerca de quarenta fábricas de semicondutores. Por causa disso, o 878Fab, que tinha uma tecnologia relativamente avançada, caiu em produtividade, com menores taxas de rendimento. Esse período da Revolução Cultural impediu o desenvolvimento da indústria de semicondutores da China mais tarde; isso porque a acumulação de tecnologia das instituições de pesquisa financiadas pelo governo da China parou e, portanto, limitou os esforços do governo para o desenvolvimento da indústria. Mesmo se considerando que em 1972 as relações diplomáticas entre a China e o Japão tenham começado a recuperar-se – o que permitiu à China observar o avanço das grandes empresas japonesas, e isso corroborou para o país implementar três instalações de produção de 3 polegadas nos centros de P&D 878Fab de Pequim, 771Fab de Shaanxi e 4433Fab –, era muito difícil alcançar o desenvolvimento da produção de circuitos integrados sob um sistema fechado, como consequência das ideias da Revolução Cultural. Por exemplo, em 1977 e 1978, o governo chinês tentou, mas não conseguiu, estabelecer três empresas a partir de uma conta pessoal em Hong Kong, com dinheiro do governo para adquirir tecnologia de fabricação de CI, mas sem êxito (Rho, Lee e Kim, 2015).

Verwey (2019) também endossa essa análise sobre os limites do desenvolvimento do setor de semicondutores no período da Revolução Cultural, a qual interrompeu efetivamente o progresso que havia sido feito pela indústria do país. Para o autor, nesse período, as atividades da indústria foram divididas da seguinte forma: a P&D era conduzida em laboratórios estatais, e a fabricação era feita também por fábricas estatais, com as atividades raramente localizadas no mesmo local. Essa separação dificultou que a tecnologia desenvolvida nos laboratórios estaduais fosse transferida e produzida nas fábricas. Além disso, das cerca de quarenta fábricas envolvidas na fabricação de semicondutores na década de 1970, a maioria estava produzindo diodos e transistores simples, em vez de CIs.

Em 1978, inicia-se o período de reforma e “abertura” por Deng Xiaoping, promovendo mudanças essenciais na economia chinesa e na indústria de *chips* da China. No início dos anos 1980, o Conselho de Estado, sob os auspícios do 6º Plano Quinquenal (1981-1985), criou um *grupo de circuitos integrados de grande escala e computadores*, com a intenção de modernizar a indústria doméstica de semicondutores. Em 1985, fábricas estatais importaram 24 linhas de fabricação de semicondutores de segunda mão a um custo de 1,3 bilhão de renminbi (RMB). Entretanto, das 47 empresas atuando no setor, apenas uma fábrica (a Wuxi Factory nº 742) cumpriu as metas de produção. O resultado desse sucesso muito limitado foi uma mudança das autoridades da indústria chinesa para estreitar e aprofundar os esforços de *catch-up* liderados pelo Estado de mais de trinta empresas, com resultados e reveses cumulativos, com uma indústria que nunca alcançou os líderes mundiais (Verwey, 2019).

Rho, Lee e Kim (2015) afirmam que, no início da década de 1980, houve uma corrida para as instalações de semicondutores pelos governos locais. Existiam 24 linhas de instalações de produção de circuitos integrados em 33 unidades em todo o país, que eram principalmente instalações antigas de países desenvolvidos. A maioria das instalações que chegaram à China não funcionava bem, e o número de produção mensal de *wafer* estava apenas na faixa de 2 mil unidades. Isso ocorria porque os governos locais não tinham nenhuma tecnologia ou capital humano para o gerenciamento de instalações e faltou recursos para comprar equipamentos de manufatura. Há uma razão por trás desse caso, que é o fato de o governo central ter delegado os direitos de importação de instalações aos governos locais. Os governos locais, sem qualquer acúmulo de tecnologia relacionada aos semicondutores e com limites orçamentários, fracassaram para a construção de instalações e infraestrutura para o desenvolvimento do setor. Houve um caso de pouco sucesso, que foi a 742Fab, de Jiangsu Wuxi. Essa fábrica introduziu uma linha de

TEXTO para DISCUSSÃO

wafer de 3 polegadas¹⁰ para produzir CIs para serem colocados em TVs e fabricou mais de 10 mil *wafers* por mês, o que foi possível devido à transferência bem-sucedida da tecnologia da Toshiba, necessária para o gerenciamento de instalações.

A partir de 1986, o governo central implementou uma estratégia para superar essa situação. Um plano representativo é o Plano 531, que foi formado durante o 7º Plano Quinquenal (1981-1985), o qual tinha como objetivo disseminar a tecnologia de 5 mm, adquirir tecnologia de fabricação de 3 mm para os principais *players* e iniciar P&D para a tecnologia de 1 mm. No período 1985-1986, o MEI do governo central fez um esforço para promover uma reforma estrutural e de descentralização, como delegação de propriedades de fabricantes de peças – exceto 742Fab de Wuxi e 4400 Fab de Shaanxi – para cidades, províncias e governos locais, submetendo as empresas a uma reestruturação organizacional. Com isso, em 1986, houve incentivo às empresas de circuitos integrados por meio de políticas, tais como a eliminação do imposto de produção e o corte do imposto de renda, apoiando 10% dos custos de P&D e concedendo incentivos fiscais em impostos de importação de instalações para projetos considerados relevantes. Além disso, em 1989, Wuxi Huajing, ShaoxingHuayue, Shanghai Beiling, Shanghai Philips e Beijing Shougang-Nippon Electric Company (NEC) foram selecionados como *players* para o desenvolvimento de semicondutores no país. Entre estas, havia *joint ventures* sino-estrangeiras, como Shanghai Beiling, Shanghai Philips e Beijing Shougang-NEC. O esforço para estabelecer *joint-venture* sino-estrangeira foi um dos meios para obter tecnologia, o que refletia o objetivo do governo chinês por aquisição de tecnologia de CIs. O governo central, que detinha exclusivamente os direitos de negociação, exigiu transferência de tecnologia de seus parceiros estrangeiros para que estes tivessem os direitos de acesso ao mercado chinês e ofereceu as oportunidades de formação de *joint ventures* na indústria de circuito integrado (Rho, Lee e Kim, 2015).

10. Uma das maneiras mais fáceis de reduzir os custos do transistor é aumentar o rendimento do transistor dos *wafers* de silício em que foram gravados. O futuro dos diâmetros das pastilhas de silício pode ser determinado pela facilidade de manuseio e transporte. *Wafers* de silício estão disponíveis em uma variedade de tamanhos de 25,4 mm (1 polegada) até 300 mm (11,8 polegadas). Usinas de fabricação de semicondutores (*fabs*) são definidas pelo tamanho dos biscoitos que estão trabalhando para produzir. O tamanho aumentou gradualmente, para melhorar o rendimento e reduzir o custo de uma *fab*, utilizando-se 300 mm (12 polegadas), com o próximo padrão projetado para ser de 450 mm (18 polegadas). Intel, TSMC e Samsung estão separadamente conduzindo pesquisas para o advento de *fabs* “protótipo” de 450 mm, mas sérios obstáculos permanecem. Síntese da evolução das polegadas: i) 1 polegada (25,4 mm) (1960); ii) 2 polegadas (50,8 mm), espessura de 275 µm (1969); iii) 3 polegadas (76,2 mm), espessura de 375 µm (1972); iv) 4 polegadas (100 mm), espessura de 525 µm (1976); v) 5 polegadas (127 mm), espessura de 625 µm (1981); vi) 6 polegadas (150 mm), espessura de 675 µm (1983); vii) 8 polegadas (200 mm), espessura de 725 µm (1992); viii) 12 polegadas (300 mm), espessura de 775 µm (2002); e ix) 18 polegadas (450 mm), espessura 925 µm (futuro). Disponível em: <<https://bit.ly/3p2QT43>>.

Durante essa fase, houve um processo de ampla concentração do desenvolvimento de CIs no governo central, o que não apenas limitou o espaço de ação das empresas nacionais na produção de semicondutores, como também restringiu o desenvolvimento das instituições de pesquisa e universidades, as quais tinham baixa capacidade de P&D. No entanto, nas circunstâncias em que as organizações mudavam constantemente devido à reforma do setor público, era difícil manter políticas estáveis de desenvolvimento do setor, criando, assim, um ambiente de instabilidade e disputas constantes sobre quais bens produzir e como seria o processo de alocação de capital (Rho, Lee e Kim, 2015).

De acordo com Rasiah *et al.* (2012), os elementos básicos de P&D relacionados a materiais, equipamentos, manufatura e técnicas foram amplamente desenvolvidos antes da década de 1980, e isso aconteceu por intermédio do Ministry of Electronics Industry, da Chinese Academy of Social Sciences e do Ministry of Spaceflights. Além dos microprocessadores, antes de 1980, a tecnologia chinesa de circuitos integrados era próxima à fronteira tecnológica mundial. No entanto, no período 1980-1995, o desenvolvimento industrial dos CIs começou a ficar para trás em relação às empresas na fronteira tecnológica. Os produtos nacionais eram principalmente produtos de nível médio ou baixo, de 0,8 micron. A maioria dos produtos de alta tecnologia, como a unidade central de processamento (CPU – em inglês, *central process unit*), para uso civil, e o *digital signal processor* (DSP), para telecomunicações móveis, foi importada de países estrangeiros.

Existem várias explicações para a estagnação do setor relacionado aos anos 1980. Uma destas é o fato de que o foco do governo em P&D de semicondutores diminuiu à medida que as empresas estrangeiras de semicondutores realocaram as operações de montagem e teste na China, a partir da década de 1980. A China desfrutou de sua primeira fabricação em grande escala de semicondutores após a transferência de fábricas americanas em zonas de processamento de exportação (ZPEs). Grandes empresas do setor, como Intel, National Semiconductor (Fairchild), Motorola (Freescale) e Chippac, realocaram operações na China.

Enquanto uma forte plataforma, liderada pelo IDE, estava evoluindo, a partir da década de 1980, o governo chinês também lançou instrumentos para estimular P&D em semicondutores e auxiliar a abertura de empresas locais em indústrias estratégicas, que incluíam semicondutores, computadores e equipamentos de telecomunicações. A aquisição da divisão de fabricação de computadores da International Business Machines Corporation (IBM) em todo o mundo pela empresa chinesa Lenova e a expansão da Acer de Taiwan, da Dell e da HP dos Estados Unidos na China apontavam para um grande avanço para as empresas chinesas de semicondutores (Rasiah *et al.*, 2012).

Rasiah *et al.* (2012) afirmam que as firmas estrangeiras foram o canal de transmissão inicial para o movimento de tecnologias de processo para as empresas chinesas de semicondutores. A primeira onda de firmas de semicondutores instaladas na China, na década de 1980, foi um período em que os sistemas de produção flexíveis, *benchmarks* de automação e *upgrading* contínuo foram absorvidos por empresas europeias e americanas, de modo que essas técnicas já foram aplicadas desde o início entre as firmas voltadas para a exportação no mercado chinês. Embora as principais máquinas e equipamentos de montagem, teste e fabricação ainda sejam importados, algumas adaptações foram iniciadas na China. No final da década de 1990, as empresas chinesas já começaram a fornecer robótica e maquinário automatizado para firmas de semicondutores estrangeiras e locais. Entretanto, ao contrário da tecnologia de processo, o processo de *catch-up* em tecnologia de produto é muito mais difícil, devido à introdução de direitos de propriedade intelectual, que exige enorme investimento e aos saltos no conhecimento dependente do caminho necessário para sustentar a participação no desenvolvimento de produtos que enfrentam ciclos de vida dos produtos cada vez mais curtos. Esse é um ponto que ainda hoje precisa ser superado na China em relação ao setor de semicondutores.

No início dos anos 1990, com o 8º Plano Quinquenal (1991-1995), o Estado escolheu a Huajing, uma empresa estatal originária da Wuxi Factory nº 742, como fábrica que desempenharia um papel importante no treinamento da primeira geração de engenheiros de CIs da China, cuja finalidade era liderar o Projeto 908. Este consistiu na construção de linhas de produção de 6 polegadas e na obtenção de tecnologia de fabricação de 0,8-1 mm, com financiamento de 2,5 bilhões de RMB. Esse projeto levou oito anos para obter a permissão do governo central para investimento de capital e, também, teve disputas constantes sobre quais produtos produzir. Apenas em 1995, começaram a construir linhas de produção; em janeiro de 1998, iniciaram a produção de produtos. Entretanto, esse projeto é considerado um fracasso, porque, à época, era impossível manter a competitividade com linhas de produção de 6 polegadas (Rho, Lee e Kim, 2015; Fuller, 2019).

Fuller (2019) também mostra que, apesar da transferência de tecnologia da Lucent Technology e das ambições tecnológicas relativamente modestas de construir uma fábrica de geração madura com tecnologia de processo mais antiga (uma fábrica de 150 mm usando tecnologia de processo de 1,2 micron), a estatal Huajing foi um fracasso. A fábrica somente começou a produzir em 1998 e já foi confrontada com a falta de produtos adequados para ofertar ao mercado. A única coisa que salvou o Projeto 908 de ser um desastre completo foi o aparecimento da empresa Central Semiconductor Manufacturing Corporation (CSMC), uma empresa registrada em Hong Kong, com fortes ligações com a Mosel-Vitellic de Taiwan, empresa de circuitos integrados. A CSMC concordou originalmente em alugar a fábrica 908 da Huajing em 1998 e, posteriormente, formou uma

joint venture na qual tinha o controle. A CSMC foi a primeira de uma linha de empresas mistas registradas e fortemente financiadas fora da China, mas lideradas por empresários chineses que se tornaram ativos na indústria de CIs.

De acordo com Rho, Lee e Kim (2015), as políticas industriais lideradas pelo governo falharam, devido à ausência de um sistema de inovação e a fatores institucionais relacionados ao setor de semicondutores. A primeira causa do fracasso foi a inexistência de empresas e organizações de P&D confiáveis. As universidades e as organizações públicas de pesquisa da China tinham baixa competitividade, devido à falta de oportunidades de aprendizado e intercâmbio com o mundo externo. Além disso, um dos legados da Revolução Cultural da China foi a interrupção no processo de investimentos em muitos centros de P&D. Nesse cenário, o *catch-up* da indústria não seria alcançado com esforço unilateral do governo.

Além do mais, os autores apontam para as limitações do governo como líder em inovações do setor de semicondutores. Rho, Lee e Kim (2015) citam um trabalho de Chen (2005), o qual fez entrevistas com vários *making policies* que participaram de decisões políticas relacionadas ao setor de CIs na época. O estudo mostra que, durante o processo de implementação do Projeto 908, 28 departamentos governamentais concorreram pela aprovação dos projetos. No início, os governos locais entraram em disputa pela localização das instalações da linha de produção; posteriormente, os países e as empresas disputavam de onde importar a tecnologia necessária para o desenvolvimento das empresas. Por fim, escolher entre o circuito integrado específico de aplicação (Asic – em inglês, *application specific integrated circuit*)¹¹ e a memória dinâmica de

11. Um circuito integrado específico de aplicação pode ser definido, no sentido mais amplo, como um CI projetado para uma aplicação particular ou uso final, como em um *CD player* ou um sistema de telecomunicações. Os Asics contrastam fortemente com os produtos de circuitos integrados padrão, como memórias ou microprocessadores, que são normalmente projetados para uso em uma ampla gama de aplicações. Além de ser uma classe de produtos de CIs, os Asics também definem um estilo ou uma metodologia de *design* que se baseia no uso extensivo de ferramentas e sistemas de *computer-aided design* (CAD).

TEXTO para DISCUSSÃO

acesso aleatório¹² foi um desafio, pois alguns expressaram preocupações de que as produções de Dram não eram competitivas. Depois de uma série de debates acirrados, a conclusão não foi escolher uma estratégia em vez de outra, mas uma decisão ineficiente de manufaturar produtos de Dram e Asic com igual ênfase em ambos. Para os autores, esse exemplo ilustra as limitações do governo de funcionar como um ator de inovação em termos de capacidade e eficiência de tomada de decisão no momento.

Outro ponto destacado pelos autores como origem do não sucesso do Projeto 908 foram fatores institucionais externos, relacionados à acessibilidade ao conhecimento externo, fato este que dificultava o avanço do sistema de inovação. A adoção de tecnologia de fontes estrangeiras era limitada para a China, pois o Coordinating Committee for Multilateral Export Controls (Cocom), formado em 1949, proibia as exportações de materiais e tecnologia dos países-membros para cerca de trinta países comunistas do Leste Europeu que tinham a possibilidade de usá-los. Após a Guerra da Coreia, em 1950, a China foi incluída na lista. Esse acordo restringia a exportação de *wafers* maiores que 5 polegadas e instalações de produção menores que 2 nm aos países sancionados, o que se tornou uma das razões para as importações em massa de instalações antigas da

12. A memória dinâmica de acesso aleatório é uma sucessora da *static random access memory* (SRAM). Os *designers* de memória reduziram o número de elementos por *bit*, menos transistores; assim, economizaram área do *chip* para criar a Dram. O resultado é que a produção desta é mais barata que a SRAM. A Dram é uma memória dinâmica de acesso remoto e é dinâmica, porque necessita constantemente de atualização nos pulsos para manter os dados ativos enquanto trabalha. Essa característica faz com que a Dram seja mais lenta que a SRAM.

Os *designers* de sistemas digitais, confrontados com um grande e crescente *gap* na largura de banda (*bandwidth*) de *input/output* (I/O), que é o tempo gasto para processar as informações de entrada e saída, vinculada à CPU – do *chip* disponível e da demanda por *bandwidth* –, tentam encontrar esquemas de particionamento de sistema inteligentes para reduzir a demanda. Em um ambiente de *design* no qual milhões de dispositivos podem ser economicamente integrados em um *chip*, mas apenas algumas centenas de pinos de I/O podem ser suportados, o particionamento eficiente do sistema requer cada vez mais armazenamento no *chip*. Os *designs* de Asic agora geralmente requerem grandes quantidades de memória no *chip*, geralmente implementada como memória de acesso aleatório estática *static random-access memory*, com cargas de par de transistores de efeito de campo de canal P (PFET – em inglês, *first pair of P channel field effect transistors*). Essa memória pode ser suportada em qualquer processo de *complementary metal-oxid semiconductor* (CMOS), mas requer cerca de 1 mil h² de área por *bit*. Alguns fornecedores oferecem processos especiais, adaptados da fabricação comercial de SRAM, que incluem cargas de resistor de polissilício; as células SRAM de carga de resistor podem ser feitas tão pequenas quanto algumas centenas de k². Os Dram, embora potencialmente muito mais compactos do que as SRAMs, caíram em desgraça entre os projetistas de Asic. Isso se deve parcialmente à complexidade percebida do projeto do circuito Dram e em parte à escala desfavorável das correntes de fuga, ou transistor de efeito de campo semiconductor de óxido de metal (FET – em inglês, *metal-oxide-semiconductor field-effect transistor*), em CMOS submícron, que tornam os circuitos dinâmicos mais problemáticos (Poulton, 1997).

China durante o estágio inicial da reforma. Depois de 1994, quando esse acordo foi rescindido, este foi sucedido pelo Wassenaar Arrangement, em 1996, sob a liderança dos Estados Unidos. Esse arranjo também restringia a exportação de materiais e tecnologias dos países-membros que poderiam ser de uso estratégico para os países comunistas. Por causa desse acordo, a adoção da tecnologia de fabricação de CIs pela China foi restringida – ou seja, era uma barreira institucional externa de acesso do país à tecnologia estrangeira.

Para Verwey (2019), ao longo da década de 1990, o governo chinês buscou um modelo híbrido de desenvolvimento industrial, dotando algumas grandes empresas com a maior parte dos fundos disponíveis, com o objetivo de que pudessem buscar parcerias com empresas estrangeiras, em um esforço para acelerar o progresso. A formação de *joint ventures* entre a Nortel (Canadá), a Philips (Holanda), a NEC (Japão) e a ITT (Bélgica) começou entre o final dos anos 1980 e o início dos anos 1990. A tentativa de desenvolver a Huajing (empresa estatal Wuxi nº 742) em líder no segmento de IDM – dotando-a de 2 bilhões de RMB e negociando uma relação de *joint-venture* com a Lucent Technologies (Estados Unidos) para facilitar a transferência de tecnologia – teve como principal problemática os erros do Projeto 908, o qual levou oito anos para ir da ideia até realidade, o que resultou em uma *joint venture* que usava equipamentos de fabricação antigos e tecnologias de processo para produzir *chips* que estavam atrás dos líderes do setor quando foram lançados no mercado.

Mesmo com os erros e as limitações do Projeto 908, é importante levar em consideração que vários novos atores inovadores começaram a evoluir e fizeram um esforço para desenvolver sistemas de inovação da indústria chinesa. Nesse sentido, com o 9º Plano Quinquenal (1996-2000), foi implementado o Projeto 909, o qual tinha como objetivo o desenvolvimento de *chips* domésticos feitos por uma empresa internacionalmente competitiva usando propriedade intelectual e engenheiros chineses. O projeto planejava construir uma linha de produção de 8 polegadas que produzia principalmente Drams. Aprendendo com o fracasso do Projeto 908, as figuras políticas do governo chinês lideraram ativamente a construção de empresas de manufatura de CIs, criando uma parceria com a NEC (Japão), com o objetivo de entrar em produção no prazo estabelecido – evitando-se os atrasos do Projeto 908 – e trazer *chips* de memória de acesso aleatório dinâmico (Dram) para o mercado. No processo do acordo de *joint venture*, estabeleceram-se claramente as condições para as transferências de tecnologia, o que resultou em transferências de tecnologia detalhadas nas operações da linha de produção da NEC. Graças a esses esforços, as taxas de rendimento de seus produtos dispararam em um curto período. Huahong/NEC (HHNEC), construído durante o projeto, ficou em segundo lugar em termos de vendas entre os fabricantes de circuito integrado na China por dez anos (Verwey, 2019; Rho, Lee e Kim, 2015).

A formação de *joint venture* entre NEC e empresas chinesas constituiu-se em uma estratégia que foi se consolidando como estratégia da China em absorver e internalizar tecnologia, principalmente criando suas grandes campeãs nacionais. O Projeto 909 formou essa parceria com a NEC, tendo inicialmente uma participação de 28,6%, enquanto o parceiro estatal chinês, Huahong, teve sua propriedade dividida entre a China Electronics Corporation (CEC), do então Ministry of Information Industry's (MII), e o governo de Xangai em uma divisão de 60/40. No acordo inicial de 1997, a NEC administraria a fábrica por cinco anos e depois entregaria a gestão de Huahong. O objetivo da *joint venture* HHNEC era criar um campeão nacional de circuito integrado chinês viável. Entretanto, a NEC teve o cuidado de manter o controle da tecnologia nas mãos dos japoneses. A fábrica começou a produção-piloto em 1999, mas os engenheiros japoneses continuaram a controlar a produção em 2002 e até mesmo em 2003 (Fuller, 2019).

Como lamentou um especialista da indústria chinesa próximo à empresa em 2002, ao comparar desfavoravelmente os engenheiros chineses na HHNEC com a habilidade tecnológica dos engenheiros de fabricação de CIs de Taiwan, "os taiwaneses podem construir *wafers*; nós não podemos. Não temos tecnologia de processo. Nossos engenheiros – em Huahong – podem lidar com um processo único, mas não têm capacidade de integração". Como resultado desse limite de domínio da tecnologia, em 2003, identificou-se que a tecnologia da HHNEC estava mais atrasada que seu *marketing* corporativo afirmava – apenas se podia executar um processo de 0,35 micron, e não de 0,25 micron. Além disso, os clientes teriam de ir ao Japão para se reunir com os funcionários japoneses da NEC, a fim de verificar se a HHNEC poderia realmente fabricar o *chip*. Em outras palavras, apesar de a fábrica ser equipada com tecnologia mais antiga, os japoneses estavam relutantes em entregar o controle dessa tecnologia madura para seus parceiros de *joint venture* chineses, até mesmo seis anos após a conclusão do acordo de parceria. Outra limitação é que a HHNEC dependia profundamente das compras governamentais chinesas, na forma de vários tipos de cartões inteligentes, para manter-se no mercado (Fuller, 2019).

5.3.2 As políticas para o desenvolvimento do setor de semicondutores a partir dos anos 2000: os desafios a serem superados

O colapso dos projetos 908 e 909 nos anos 1990 não impediu as ambições chinesas para o setor de semicondutores, especialmente porque a participação da China no consumo global de semicondutores cresceu muito nos últimos anos. A ascensão desse país como uma grande fonte de demanda de semicondutores foi impulsionada pela força de suas empresas locais em *smartphones*, PCs e eletrônicos de consumo: empresas como Huawei, Lenovo, Xiaomi e Oppo/Vivo não apenas vendem seus produtos para os chineses no mercado doméstico, mas também são concorrentes importantes em outros mercados. Como principal centro de manufatura do mundo, a China foi o

destino de aproximadamente 35% do total das vendas globais de *chips* em 2019 (Varas *et al.*, 2021). Os principais meios do governo chinês para adquirir tecnologia e desenvolver sistemas de inovação são estabelecer empresas via *joint venture*, atrair capital estrangeiro e promover firmas nacionais.

Após a China também aderir à OMC, em 2001, tornando-a um destino mais atraente para as principais empresas internacionais estabelecerem operações locais simultaneamente a esse crescimento no consumo. O fracasso da *joint venture* HHNEC, em 2002, ocorreu no momento em que outra firma notável estava iniciando a produção. A SMIC foi fundada por um veterano taiwanês da Texas Instruments (Estados Unidos) e da Worldwide Semiconductor Manufacturing Company (Taiwan), em 2000, como uma *foundry* totalmente estrangeira com sede em Xangai. Desde o início da produção, em 2002, emergiu como o maior e mais avançado fabricante de *chips* da China e atualmente está entre as cinco principais *foundries* do mundo. Aproveitando o apoio do governo central e local chinês, incluindo-se isenção de impostos de cinco anos – e outra redução de impostos de cinco anos em 50% das taxas padrão –, isenções tarifárias, taxas de imposto de valor agregado reduzidas e empréstimos de bancos estatais, a SMIC tem buscado uma estratégia de *fast-follower* amplamente bem-sucedida. Em particular, essa firma usou parcerias com empresas estrangeiras e recrutou engenheiros chineses – principalmente repatriados dos Estados Unidos, de Taiwan e de Singapura –, com o objetivo de manter a firma apenas um a dois anos atrás das empresas líderes da indústria (Verwey, 2019).

Com o apoio do governo chinês, a SMIC cresceu rapidamente e foi listada na Bolsa de Valores de Hong Kong e posteriormente na Associação Nacional de Corretores de Títulos de Cotações Automáticas (Nasdaq – em inglês, National Association of Securities Dealers Automated Quotations). A empresa, acumulando fundos com sucesso, construiu uma fábrica de 12 polegadas pela primeira vez na China. Em 2005, concluiu a construção de uma fábrica de 12 polegadas em Pequim; e em 2007, começou a operar uma linha de produção de 12 polegadas em Xangai. Além disso, a SMIC é uma administradora consignada de uma linha de 12 polegadas construída em Wuhan, depois que os direitos de decisão de investimento em alta tecnologia foram transferidos para os governos locais. Entre as empresas na China, esta tem as tecnologias de processo de *wafers* mais atualizadas, incluindo-se a tecnologia de 90 nm da Quimonda e 45 nm da IBM. O estabelecimento e o rápido crescimento do SMIC na década de 2000 têm implicações importantes para o desenvolvimento dos sistemas de inovação da China. Primeiro, o país adquiriu capacidade de produção de *wafers* de 12 polegadas. A SMIC possui três linhas de produção de 12 polegadas e gerencia uma das cinco linhas de 12 polegadas na China. Ao se excluírem as empresas estrangeiras, esta tem as melhores instalações no país. Em outras palavras, lidera o *catch-up* de tecnologia de toda a indústria de CIs da China. O segundo aspecto é que a SMIC demonstrou

o caminho de desenvolvimento que se adapta bem às estratégias de *catch-up* da indústria do governo – promoção das *indigenous companies* (Rho, Lee e Kim, 2015).

Verwey (2019) afirma que, em 2005, o Conselho de Estado da China anunciou o National Medium and Long-Term Science and Technology Development Plan Outline for 2006-2020, que articulou uma análise ampla do ecossistema de tecnologia, que reconheceu a importância dos semicondutores como tecnologia essencial para avanços futuros. Esse plano estimulou a criação de projetos e políticas de apoio subsequentes, um dos quais promoveu o conceito de *introducing, digesting, absorbing, and re-innovating intellectual property and technologies* (Idar), como um meio de *catch-up* industrial. Esse conceito enfatizou aquisições direcionadas de tecnologia estrangeira, bem como a colaboração do Estado e da indústria para analisar, distribuir e desenvolver produtos usando a tecnologia adquirida a partir dessas aquisições, com o objetivo final sendo a inovação local (*indigenous innovation*). Os esforços atuais da China para promover sua indústria de semicondutores ilustram como o conceito do Idar tem sido estratégico e muito presente; por exemplo, no MIC 2025 e no 14º Plano Quinquenal.

Além disso, desde a década de 2000, as empresas líderes, como Hynix e Intel, decidiram investir nas linhas de produção da China e destacaram-se como mais um ator de inovação que afeta os sistemas de inovação setoriais desse país. À medida que o mercado chinês ganha importância e investe em avanços em suas infraestruturas, a China é considerada um local de produção viável. As empresas estrangeiras contribuíram com uma grande proporção no investimento em ativos fixos da indústria de semicondutores nos últimos anos. Mas o próprio governo chinês também quer atrair o IDE na indústria de manufatura de CIs e tem como objetivo completar as cadeias de valor na China, mesmo que as empresas estrangeiras se tornem participantes principais. Na verdade, o governo da China tem dado ênfase ao desenvolvimento da indústria de *design* de circuito integrado, com a finalidade de dominar segmentos superiores da cadeia produtiva. Em termos de produção de *wafer*, prefere-se que se estabeleçam firmas nacionais competitivas, fato este que se torna mais delicado, dada a forte presença de empresas estrangeiras no setor. Entretanto, o governo chinês tem usado seu mercado interno como elemento para exigir das empresas estrangeiras instaladas no país transferência de tecnologia. Essa tendência, com os esforços dos governos locais para promover a indústria de alta tecnologia, atrai o investimento de empresas estrangeiras na China, até mesmo diante de condicionalidades impostas (Rho, Lee e Kim, 2015).

Fuller (2019) chama atenção para o fato de que o governo emitiu a Circular Estadual nº 18, de janeiro de 2000, com o intuito de oferecer mais apoio ao setor. Essa circular cortou os impostos sobre valor agregado de 17% para 3% para circuitos integrados fabricados ou projetados na China. A política também ofereceu o chamado *liang mian san jian bandois*, que significa

basicamente dois anos sem impostos e três anos com metade da alíquota, além da dedução de impostos e direitos de importação para as indústrias de *software* e CIs. A implementação dessa política não foi muito eficaz, pois, em meados de 2004, os pagamentos de subsídios totalizaram apenas 200 milhões de RMB, montante equivalente a apenas 0,3% da produção interna total de circuitos integrados da China em 2004. As empresas reclamaram que os obstáculos burocráticos para receber os incentivos relacionados aos impostos sobre valor agregado eram tão onerosos e lentos que dificilmente valeria a pena solicitar esses subsídios. Apesar da fraqueza real na implementação dessa política, o governo dos Estados Unidos, a pedido da SIA desse país, processou a China no tribunal da OMC, porque essas isenções fiscais dos impostos sobre valor agregado exigindo a produção na China eram claramente ilegais de acordo com o Trade-Related Investment Measures (Trim). A China não contestou a ação e retirou oficialmente as políticas de incentivos dos impostos sobre valor agregado.

Apesar de a China recuar do processo da OMC, a política industrial teve continuidade, pois as medidas da Circular nº 18/2000 que não entraram em conflito com as regulamentações dessa organização continuaram, e os governos central e local da China gastaram grandes somas de dinheiro promovendo a indústria, principalmente por meio de aquisições, investimentos e subsídios à pesquisa. Estimativas de especialistas da indústria colocam a faixa de apoio governamental entre 10 bilhões de RMB e 100 bilhões de RMB. Ademais, um ponto relevante na continuidade de implementação de políticas para fortalecer o setor de semicondutores no país foi o foco na concepção de *indigenous Chinese firms*. O governo chinês também enfatizou a *indigenous innovation*, desde os anos 2000, e tem apoiado a inovação tecnológica, liderada por empresas chinesas, ao intensificar o investimento em P&D no nível da empresa, o acúmulo de conhecimento e o aprendizado organizacional das empresas, como já discutido neste trabalho na seção 4 (Fuller, 2019; Rho, Lee e Kim, 2015; Li *et al.*, 2019).

De acordo com Fuller (2019), visto que as políticas da Circular nº 18/2000 expiraram em 2010, em 2011 o governo anuncia a Circular nº 4, deixando claro o apoio contínuo para a indústria de circuitos integrados. Houve muita continuidade de medidas da Circular nº 18/2000, embora alguns incentivos fiscais fossem mais convincentes. Na Circular nº 4/2011, o governo apontou para a continuidade de incentivos e subsídios para o setor, principalmente para fortalecer as empresas nacionais. O governo reforçou as políticas de compras públicas e forneceu os principais mercados para a maioria das firmas de *design* vinculadas ao Estado. Grande parte dessa aquisição estatal ocorreu por meio da série de projetos conhecidos como *golden projects*, os quais tinham a finalidade de garantir demanda para promover vários bens intensivos em tecnologia. O mais importante foi o Golden Card Project, para promover a adoção de cartões de CIs por intermédio de compras estaduais das empresas nacionais. Os cartões de circuitos integrados eram cartões com *chips* que

TEXTO para DISCUSSÃO

contêm informações ajustáveis, usadas, por exemplo, em cartões telefônicos e cartões de transporte na China. Na verdade, foi uma estratégia de construção de um mercado consumidor, chamado de *government-guided market*, eufemismo para compras governamentais. Esse fenômeno de compras públicas canalizadas para empresas ligadas ao Estado é amplamente conhecido no setor na China. Esses mercados são extremamente grandes. Por exemplo, somente o mercado de cartões bancários de CIs foi estimado em 30 bilhões de RMB (quase US\$ 5 bilhões) em 2012.

Na verdade, os megaprojetos da indústria de semicondutores tiveram origem no lançamento do National Long-Term Scientific and Technological Development Plan (2006-2020), que inclui dezesseis grandes projetos nacionais de C&T e considerou o setor de semicondutores como um dos mais essenciais, tendo um fundo especial de quase US\$ 100 bilhões para apoiar a inovação e o desenvolvimento na indústria de semicondutores, com planos para fundos complementares regionais e locais para apoiar a indústria em suas respectivas regiões. O esboço exigia a obtenção de produção em escala usando 14/16 nm e tecnologia de montagem similar a empresas líderes mundiais e materiais internacionalmente competitivos, além do desenvolvimento de setores de equipamentos de capital de semicondutores até 2020, com a finalidade de alcançar o nível de tecnologia internacional em todos os segmentos da cadeia de valor da indústria de CIs (*design*, fabricação, montagem e testes, capital, equipamentos e materiais) até 2030 (Fuller, 2019; Rho, Lee e Kim, 2015; Li *et al.*, 2019).

Para Kong, Zhang e Ramu (2014), após as experiências até os anos 1990, houve uma estrutura de política abrangente, estabelecida para apoiar o desenvolvimento de semicondutores e indústrias correlatas. Entre 2000 e 2014, vários pilares de política foram determinados pelo State Council of the Software and Integrated Circuit Industries. Por exemplo, em 2000, houve o lançamento do Long-Term Development Plan for Strategic Emerging Industries, que foi ainda mais fortalecido com o 12º Plano Quinquenal (2011-2015). Implementaram-se políticas com mais incentivos ao desenvolvimento das indústrias de *software* e circuito integrado em 2011, com estímulos financeiros, políticas de investimento preferencial, promoção de P&D, subsídios de importação e exportação, iniciativas de recursos humanos e proteção dos direitos de propriedade intelectual. O aspecto de recursos humanos incluiu políticas detalhadas para apoiar a atração e o cultivo de talentos relacionados a CIs, por meio da colaboração entre academia e indústria, ao se estabelecer o instituto de microeletrônica e ao se reformarem os métodos educacionais e as políticas de estímulo de talentos. No que concerne à IP, ampliou-se o incentivo para o registro de direitos autorais de empresas de *software* e o sistema de proteção de propriedade intelectual de circuito integrado.

Em 2014, o governo chinês divulgou o Guidelines to Promote National Integrated Circuit Industry. O plano articulava uma estratégia bem definida que identificava “campeões nacionais”

apoiados por amplos fundos e amparados por políticas que promovem a entrada e a saída do investimento estrangeiro, os quais são projetados para acelerar a transferência de tecnologia e colocar a indústria de semicondutores da China em pé de igualdade com os principais concorrentes internacionais. Embora algumas ideias fossem recicladas de propostas anteriores, o documento representou um afastamento destas tanto no nível de detalhe quanto no foco no IDE de entrada e saída, pois as diretrizes de 2014 exigiam o estabelecimento do Fundo Nacional de Circuitos Integrados (National Integrated Circuit Investment Fund), dotado de US\$ 150 bilhões em fundos dos governos central e provincial, com a finalidade de adquirir empresas em toda a cadeia de suprimentos de semicondutores (Verwey, 2019).

De acordo com Verwey (2019), desde que foi lançado, em setembro de 2014, o Fundo Nacional de Circuitos Integrados tinha uma estratégia de duas frentes. Por um lado, este financia a saída do investimento direto estrangeiro para adquirir empresas estrangeiras. Por outro lado, fornece fundos para facilitar a entrada de IDE no país, como investimentos em novos campos e *joint ventures* entre empresas chinesas e estrangeiras, com o objetivo de ajudar a concretizar a visão do Plano Nacional de Circuitos Integrados de internalizar a tecnologia, fortalecendo as empresas nacionais. O Fundo Nacional de Circuitos Integrados é amplamente financiado por empresas estatais e instituições financeiras chinesas. Por exemplo, o Ministério das Finanças é o maior acionista do fundo, com 36,74% das ações, seguido pelo CDB, com 22,29%, e pelo China Tobacco, com 11,14%.

Além do Fundo Nacional de Circuitos Integrados, vários governos locais e regionais estabeleceram seus próprios fundos relacionados ao setor, recebendo capital do fundo ou investindo neste. Por exemplo, a Beijing E-Town International Investment and Development Co. (um veículo de investimento de propriedade do município de Pequim) e o Shanghai Guosheng Group (um veículo de investimento de propriedade do município de Xangai) investiram no fundo. Outros governos regionais, como nas províncias de Hubei, Fujian e Anhui, criaram seus próprios fundos de investimento concernentes a CIs. A SIA estimou que, a partir de 2017, enquanto o Fundo Nacional de Circuitos Integrados havia garantido cerca de US\$ 21 bilhões em financiamento, os fundos de CIs de províncias e municípios levantaram mais de US\$ 80 bilhões, e estão a caminho de atingir a meta de US\$ 150 bilhões. Em 2018, as notícias indicavam que o fundo estava em negociações com o governo chinês, com o objetivo de determinar o segundo instrumento de investimento, avaliado em US\$ 47 bilhões (Verwey, 2019).

A evolução dos planos relacionados ao setor de semicondutores, principalmente a partir dos anos 2000, tem resultado em impactos no crescimento da produção e do consumo de circuitos integrados na China. O crescimento da produção apresenta um salto mais relevante justamente após o lançamento do National Long-Term Scientific and Technological Development Plan (2006-2020)

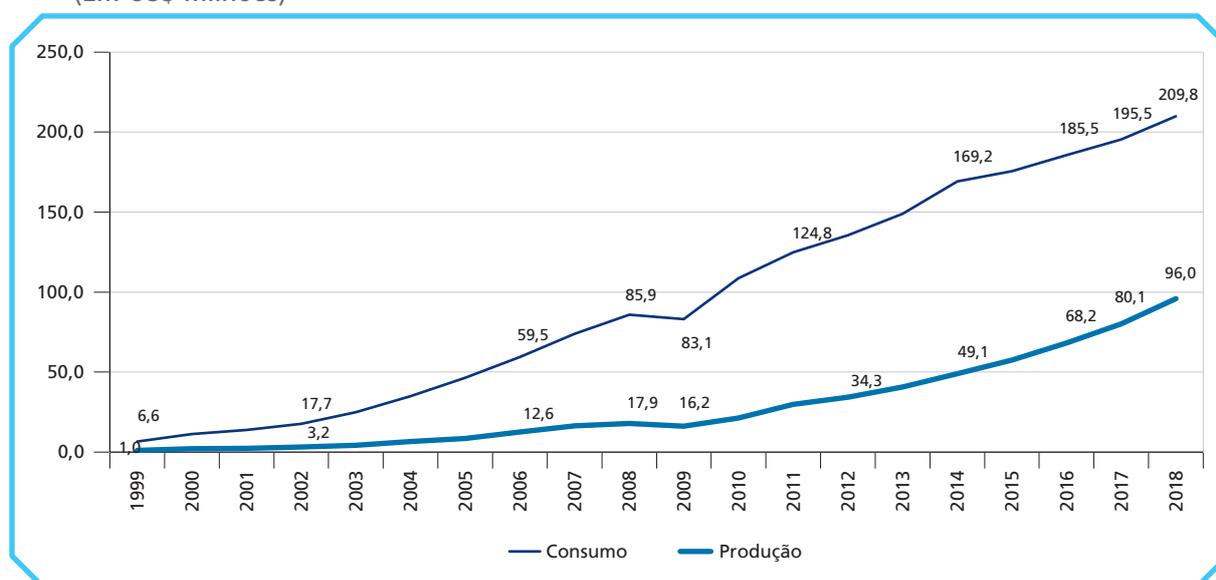
TEXTO para DISCUSSÃO

e do Guidelines to Promote National Integrated Circuit Industry em 2014, quando a produção era de US\$ 12,6 bilhões em 2006, passando para US\$ 96 bilhões em 2018, crescimento de 661,9% (gráfico 14). A trajetória do consumo de CIs é muito superior à produção, pois, em 2006, o consumo era de US\$ 59,5 bilhões e, em 2018, foi de US\$ 209,8 bilhões, crescimento de 252,6%. Mesmo se considerando o elevado *gap* entre consumo e produção, a produção apresenta uma taxa de crescimento nesse espaço temporal muito superior à taxa de crescimento do consumo. Isso implica reversão notável de crescimento no *gap* entre consumo/produção de circuitos integrados. A relação entre a receita de produção de CIs da China e o consumo de circuitos integrados continua apresentando melhoria, uma vez que cresceu de 17%, em 2001, para um pico de 33%, em 2015, e agora se espera que aumente para 38% até 2018 – aumento no que concerne aos 36% (PWC, 2017).

GRÁFICO 14

Consumo e produção de CIs (1999-2018)

(Em US\$ milhões)



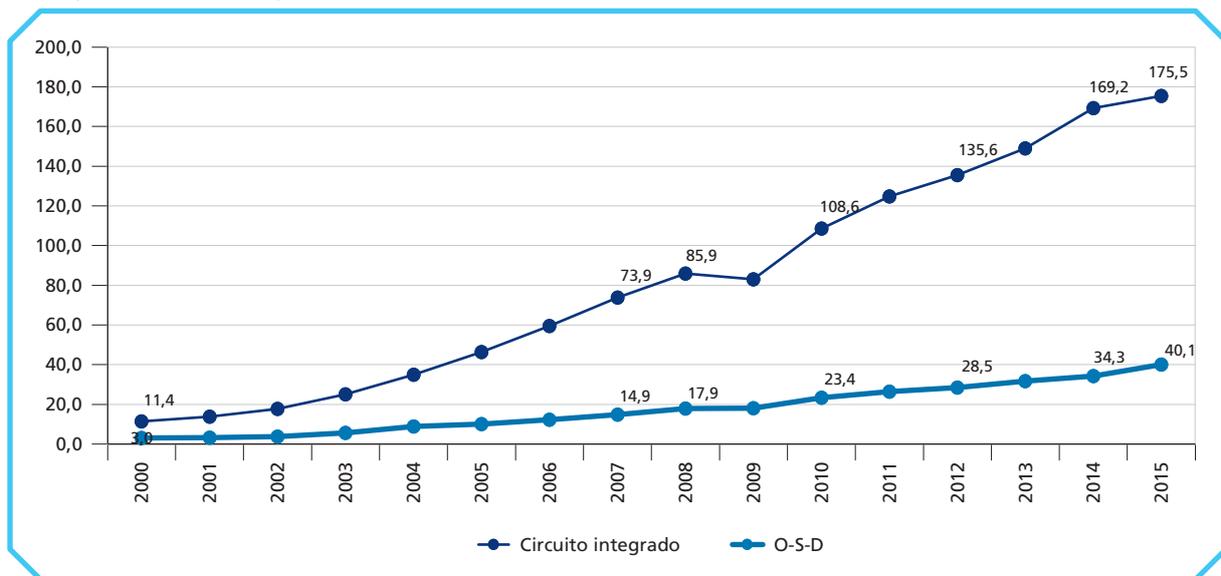
Fonte: PwC/China's Impact on the Semiconductor Industry: 2016 update. Disponível em: <<https://is.gd/NI9yHK>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Elaboração do autor.

O consumo no setor de semicondutores da China é predominantemente em circuitos integrados (participação de 81,4%). O-S-D tem crescimento mais moderado, que representa 18,6% do consumo em semicondutores (gráfico 15). Além disso, durante os últimos dez anos, o consumo de CIs da China cresceu US\$ 129 bilhões, enquanto o mercado mundial aumentou apenas US\$ 83 bilhões. Nos últimos dez anos, o consumo de O-S-D na China cresceu US\$ 30 bilhões, e o mercado mundial aumentou apenas US\$ 26 bilhões.

GRÁFICO 15**Mercado de consumo CIs e O-S-D (2000-2015)**

(Em US\$ milhões)



Fonte: PwC/China's Impact on the Semiconductor Industry: 2016 update. Disponível em: <<https://is.gd/NI9yHK>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Elaboração do autor.

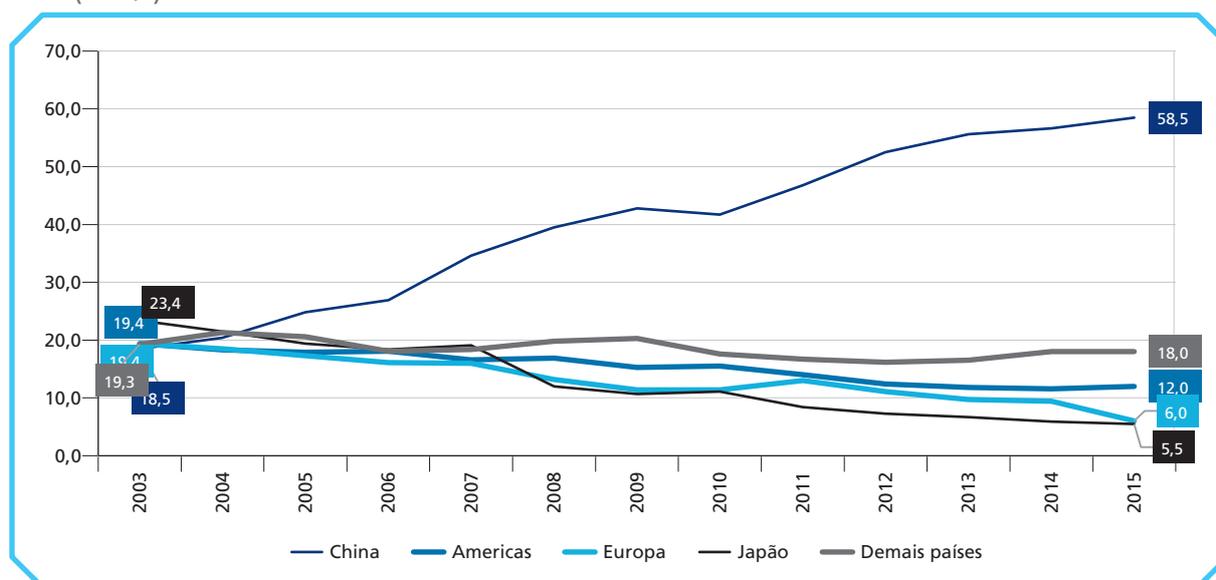
A trajetória de crescimento do consumo de semicondutores da China coloca o país como o maior consumidor mundial (gráfico 16). O crescimento do consumo de semicondutores da China continuou a exceder em muito o crescimento do mercado mundial pelo quinto ano consecutivo em 2015. Considerando-se os dados até 2015, antes da crise de escassez de semicondutores no mercado mundial, em 2021, o mercado de consumo de semicondutores do país cresceu 5,9% em 2015, para atingir um novo recorde de 58,5% do mercado global, enquanto o mercado mundial de semicondutores diminuiu ligeiramente em 2015. Durante os últimos dez anos, o consumo de semicondutores da China elevou-se a uma taxa de crescimento anual composta de 14,3%, enquanto o consumo mundial total cresceu apenas a uma taxa de 4,0%. Quando comparamos com indicadores de 2015 com as Américas (participação de 12%), a Europa (6%), o Japão (5,5%) e os demais países (18%), os 58,5% da China apontam para o elevado potencial do seu mercado interno, principalmente como variável estratégica de imposição de condicionalidades na formação de *joint ventures* entre empresas nacionais e estrangeiras.

TEXTO para DISCUSSÃO

GRÁFICO 16

Mercado mundial de consumo de semicondutores (2003-2015)

(Em %)



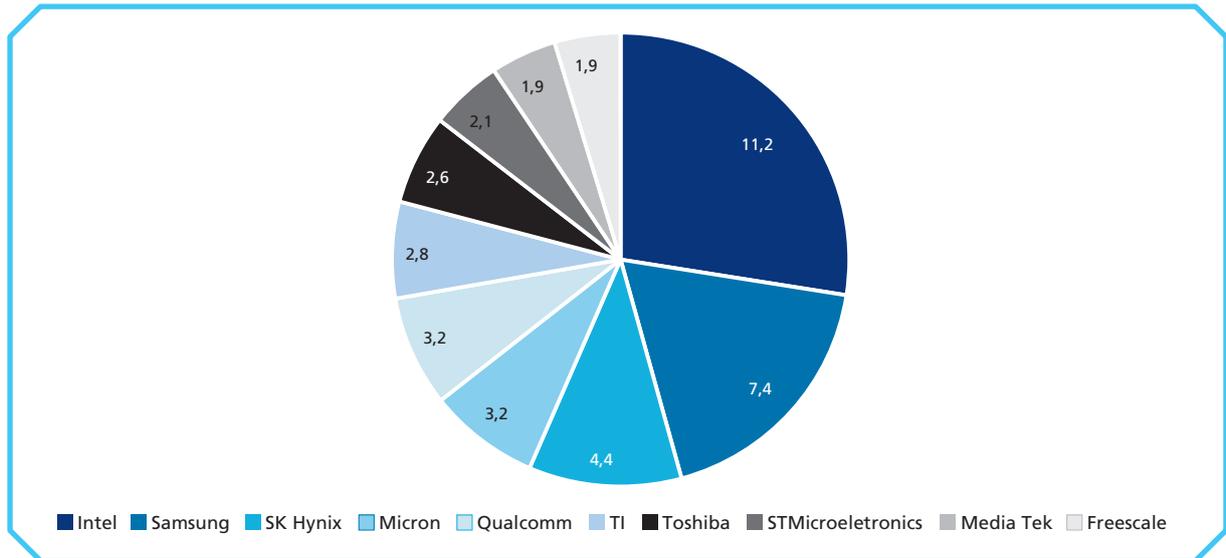
Fonte: PwC/China's Impact on the Semiconductor Industry: 2016 update. Disponível em: <<https://is.gd/NI9yHK>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Elaboração do autor.

O crescente consumo da China tem dez principais fornecedores que correspondem a pouco mais de 40,7% da oferta do país, com a liderança da empresa norte-americana Intel (participação de 11,2%), seguido pela Samsung (7,4%) e pela SK Hynix (4,4%), ambas sul-coreanas (gráfico 17). As principais empresas globais de semicondutores continuam a dominar o mercado chinês. Seis empresas estiveram entre os dez principais fornecedores para a China no período 2003-2015: Intel, Samsung, TI, Toshiba, SK Hynix e STMicroelectronics. Mas é importante observar que, durante 2015, o consumo de produtos de CI da China desses dez maiores fornecedores diminuiu um pouco mais de 4%, enquanto o consumo total de produtos semicondutores do país aumentou quase 6%. O mercado de consumo de semicondutores chinês continuou sua tendência de tornar-se menos concentrado que o mercado mundial, uma vez que a participação dos dez principais fornecedores no consumo de semicondutores da China caiu para 40,7%, em 2015, ante 42,4%, em 2014, e 45%, em 2011. Isso é visivelmente menor que a participação de 53,3% dos dez principais fornecedores no mercado mundial (PWC, 2017). Ademais, mesmo se considerando a presença das empresas estrangeiras, como veremos na lista dos principais fabricantes de semicondutores na China, empresas chinesas vêm ganhando cada vez mais espaço.

GRÁFICO 17**Principais fornecedores de semicondutores para o mercado chinês: *ranking* do top 10 (2015)**

(Em %)



Fonte: PwC/China's Impact on the Semiconductor Industry: 2016 update. Disponível em: <<https://is.gd/NI9yHK>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Elaboração do autor.

Como mostra o gráfico 14, ao mesmo tempo que há um crescimento do consumo, a produção de semicondutores também apresenta crescimento, inclusive com a produção obtendo taxas de crescimento muito superiores ao crescimento do consumo, não obstante permaneça o elevado *gap* entre produção e consumo. Do ponto de vista da produção, chama atenção o crescimento da participação da produção de setores mais intensivos em tecnologia entre 2005 e 2015 (gráfico 18). Nos últimos dez anos, de 2005 a 2015, o setor de *design* de circuitos integrados teve uma taxa composta anual de crescimento de 30%, enquanto o setor de ATS cresceu 18% e o de manufatura cresceu 17,6%. O setor O-S-D teve taxa composta anual de crescimento de 15,6%. Como resultado, os três setores da indústria de CIs (*design*, O-S-D e manufatura) apresentaram crescimento em sua participação no total da produção de semicondutores de 53,4% para 64,4%, com *design* saltando de 6,5%, em 2005, para 23,6%, em 2015, manufatura que aumentou a participação de 9,1% para 16,1%, e encapsulamento e testes de CI, que diminuíram sua participação de 35,5% para 24,7%. O-S-D também apresentou redução em sua participação nesse período, de 48,9% para 35,6%.

A evolução da produção de semicondutores, de acordo com a cadeia produtiva/segmentos de produção do setor de semicondutores, aponta para um processo de transformação estrutural na China, com os setores mais intensivos em tecnologia ganhando maior participação no total da

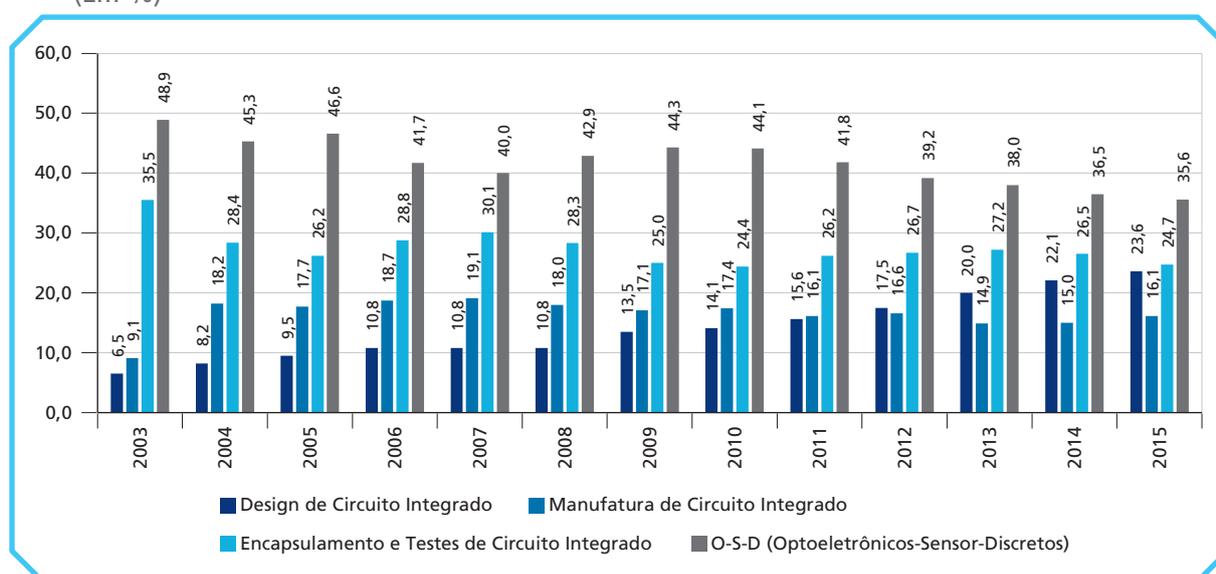
TEXTO para DISCUSSÃO

produção (*design* e manufatura), enquanto o segmento de menor intensidade tecnológica reduz sua participação (ATS). Ou seja, há crescimento da produção de semicondutores, com avanços qualitativos da estrutura produtiva do setor na China.

GRÁFICO 18

Indústria de semicondutores por segmentos (2000-2015)

(Em %)



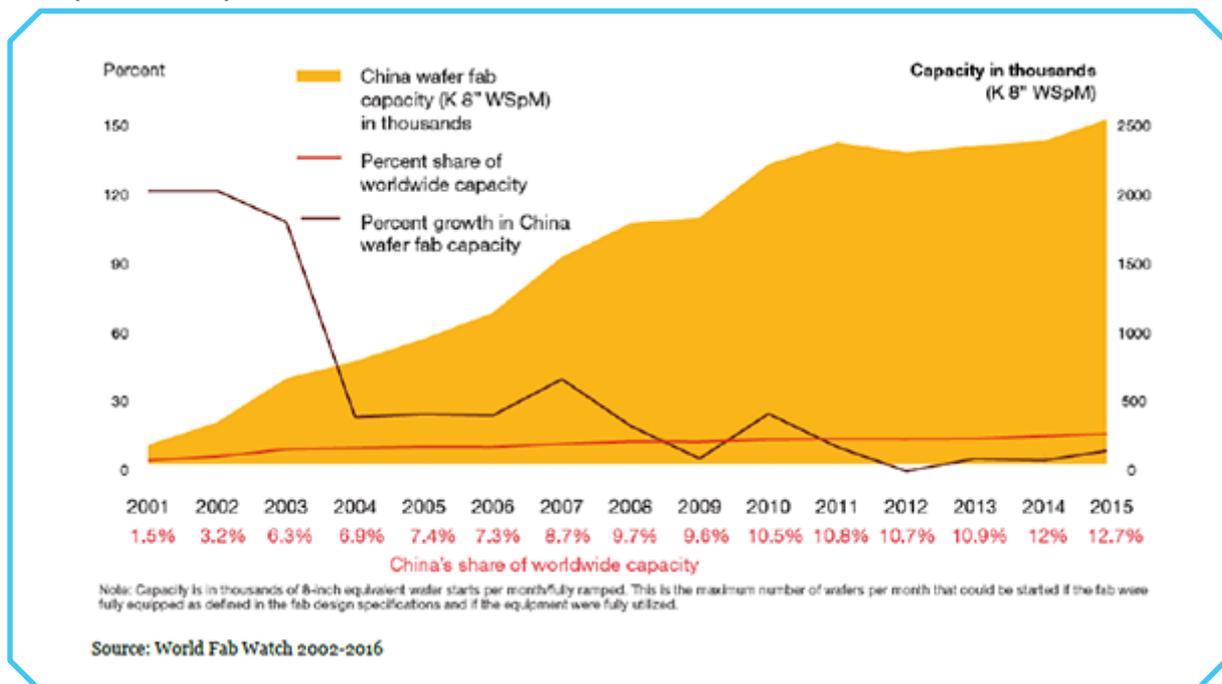
Fonte: PwC/China's impact on the semiconductor industry: 2016 update. Disponível em: <<https://is.gd/NI9yHK>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Elaboração do autor.

Em consonância com o crescimento da produção de semicondutores da China, observa-se que a capacidade de produção de *wafer* do país entre 2001 e 2015 apresentou considerável crescimento (gráfico 19). De acordo com PwC (2017), mesmo se admitindo que houve redução da taxa de crescimento da produção de *wafer* na China, é importante levar em consideração que, em 2001, sua capacidade de fabricação da China era de 300 *wafer* e, em 2015, foi para pouco mais de 2.500 *wafer*, equivalente de 8 polegadas por mês – ou seja, considerando-se a produção de 2001 e a de 2015, a taxa de crescimento da produção foi de 733,33%. Com esse crescimento da capacidade de produção, a participação da China na produção de *wafer* na produção mundial logrou um salto considerável, passando de 1,5%, em 2001, para 12,7%, em 2015.

GRÁFICO 19

Capacidade de fabricação de *wafer* da China e participação na capacidade mundial (2002-2015)



Fonte: PwC/China's Impact on the Semiconductor Industry: 2016 update. Disponível em: <<https://is.gd/NI9yHK>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

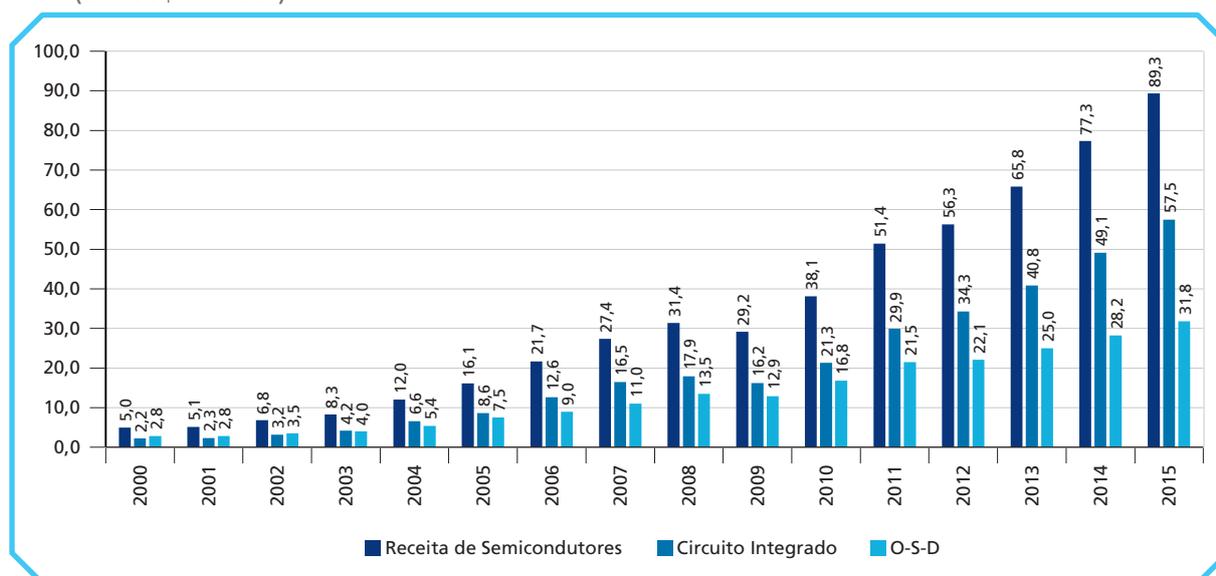
Como resultado do crescimento da produção, as receitas da indústria de semicondutores também vêm apresentando crescimento considerável, saindo de US\$ 5 bilhões, em 2000, para US\$ 89,3 bilhões, em 2015 (gráfico 20). De acordo com o PwC (2017), a taxa de crescimento da receita da indústria de semicondutores vem sendo maior que a taxa de crescimento do consumo de semicondutores no país, como também em relação à taxa de crescimento do mercado mundial de semicondutores. De 2005 a 2015, a taxa de crescimento composta da receita da indústria de semicondutores da China cresceu 18,7%, enquanto seu consumo de semicondutores aumentou 14,3% e no mercado mundial de semicondutores, 4,0%. A participação do país na indústria mundial de semicondutores continua crescendo e tornando-se significativa. Em comparação com a soma da receita mundial de vendas de dispositivos semicondutores, mais o valor de toda a fabricação e encapsulamento de *wafer*, montagem e produção de teste, as receitas da indústria de semicondutores da China em 2015 representaram 16,2% da indústria mundial de semicondutores, ante 13,4%, em 2014, 12%, em 2013, e 11,6%, em 2012.

TEXTO para DISCUSSÃO

GRÁFICO 20

Receita da indústria de semicondutores – China (2000-2015)

(Em US\$ milhões)



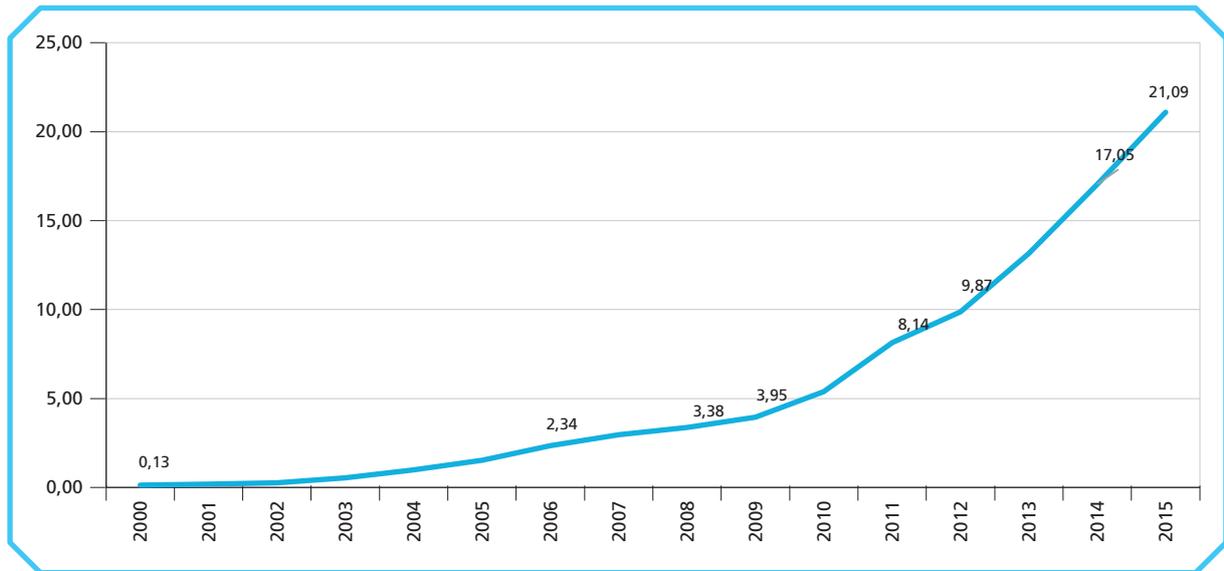
Fonte: PwC/China's Impact on the Semiconductor Industry: 2016 update. Disponível em: <<https://is.gd/NI9yHK>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Elaboração do autor.

O crescimento da produção de semicondutores, associado à transformação estrutural do setor, com o segmento de *design* aumentando sua participação na produção total na China (gráfico 18), tem resultado também no crescimento da receita de *design* continuamente. Durante dez anos, de 2005 a 2015, a indústria de *design* de circuitos integrados da China (*fabless*) apresentou maior expressão, em razão de uma taxa composta de crescimento anual de 30,1%, de US\$ 1,52 bilhão, em 2005, para pouco mais de US\$ 21 bilhões, em 2015. De acordo com o China Center of Information Industry Development (CCID) e a China Semiconductor Industry Association (CSIA), a receita do setor de *design* de CIs contribuiu com mais de 38% para o crescimento da receita da indústria de semicondutores da China em 2015 e elevou-se de 9,5%, em 2005, para representar quase 24% do total da indústria de semicondutores da China. Durante os últimos dez anos, a indústria de *design* de circuitos integrados representava apenas 0,4% do mercado mundial de CIs e 2,5% da indústria mundial de *fabless* em 2003, passando a equivaler a quase 7,5% do mercado mundial de circuitos integrados e 25% das *fabless* no mercado global em 2015 (PWC, 2017).

GRÁFICO 21**Receita da indústria de *design* de CI (2000-2015)**

(Em US\$ milhões)



Fonte: PwC/China's Impact on the Semiconductor Industry: 2016 update. Disponível em: <<https://is.gd/NI9yHK>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Elaboração do autor.

Para Kong, Zhang e Ramu (2014), com um forte apoio político, por meio de isenções fiscais, subsídios e para P&D, o governo conseguiu promover capacidades tecnológicas, inclusive em empresas de *design* de circuitos integrados nacionais (*indigenous design firms*). O objetivo de tal esquema é tornar a China um *player* importante na indústria global de CIs, com marcas nacionais e direitos de propriedade intelectual nacionais. O governo tem feito isso por meio de um roteiro de desenvolvimento com cronograma, metas de desenvolvimento, iniciativas de ação e regulamentações, consubstanciados nos projetos já mencionados voltados estritamente para o setor, tais como o National Long-Term Scientific and Technological Development Plan (2006-2020), o Guidelines to Promote National Integrated Circuit Industry e o Fundo Nacional de Circuitos Integrados.

A política de desenvolvimento setorial estimulou o *upgrading* industrial na indústria de semicondutores de duas maneiras: em primeiro lugar, promoveu uma mudança do apoio de segmentos específicos, passando a estimular toda a cadeia de valor, com ênfase especial na interação entre os diferentes participantes da indústria da cadeia de valor, o que beneficiou o *upgrading* de forma mais rápida. Um exemplo disso é a reforma do imposto sobre valor agregado (IVA), que, desde então, beneficiou todas as empresas na cadeia de valor, incluindo-se projeto, fabricação, montagem, teste e fabricação de materiais e equipamentos para fins especiais. Em segundo lugar, a política incentiva a integração industrial regional cruzada, fusões e aquisições. Para isso, o governo exerceu

uma estratégia dupla: primeiramente, atraiu empresas de baixo custo para expandir a absorção de empregos, que levou a uma expansão das ZPEs com forte especialização, liderada por estrangeiros, em atividades de montagem e teste. A segunda estratégia foi a oferta de incentivos e subsídios para estimular empresas localizadas em parques de alta tecnologia a participarem de atividades mais intensivas em tecnologia no setor de semicondutores, como fabricação e *design*. Comparando-se a evolução da indústria de circuitos integrados na China com o mundo, o desenvolvimento de CIs no país foi promovido por interações ativas entre diferentes níveis de governo e empresas, por meio de incentivos a P&D (Kong, Zhang e Ramu, 2014).

O crescimento da produção de semicondutores na China sempre esteve associado à ideia do *indigenous company* – isto é, à lógica de criar grandes empresas nacionais para lograr maior adensamento na indústria eletroeletrônica, com o fortalecimento da produção do setor via firmas nacionais. Entretanto, como mostra Fuller (2019), a rápida evolução das características de ponta de produtos e processos de manufatura típicos dos líderes globais de semicondutores significa que o investimento em grande escala e o *upgrading* substancial nos países seguidores podem falhar em reduzir a lacuna que separa os produtores domésticos dos líderes globais. Isso faz parte da experiência chinesa. Para o autor, as multinacionais construíram instalações de produção na China, mas geralmente se abstêm de comprometer-se com operações de produção e pesquisa de ponta, em parte devido a preocupações com a proteção da propriedade intelectual. Apesar da expansão massiva e do forte apoio do governo, as empresas estatais domésticas geralmente não conseguiram gerar o dinamismo tecnológico desejado pelas políticas implementadas pelo governo chinês.

De fato, as políticas de incentivo ao desenvolvimento do setor de semicondutores estão associadas ao crescimento do número de empresas chinesas no setor, saltando de onze empresas, em 2004, para cinquenta empresas, em 2012, e permanecendo com esse mesmo número até 2016 (tabela 3). O crescimento do número de empresas chinesas no setor de semicondutores está vinculado ao crescimento das suas receitas – em 2004, era de US\$ 37 milhões; e em 2016, foi de US\$ 3.518 bilhões – e, também, à sua participação na produção total do setor, saltando de 8,4%, em 2004, para 19%, em 2016.

TABELA 3**Empresas chinesas listadas no setor de semicondutores (2004-2016)**

| Ano | Número de empresas | Receita média (US\$ milhões) | Receita máxima (US\$ milhões) | Participação na indústria de semicondutores (%) |
|------|--------------------|------------------------------|-------------------------------|---|
| 2004 | 11 | 37 | 75 | - |
| 2005 | 26 | 39 | 93 | 8,4 |
| 2006 | 30 | 47 | 155 | 8,5 |

(Continua)

(Continuação)

| Ano | Número de empresas | Receita média (US\$ milhões) | Receita máxima (US\$ milhões) | Participação na indústria de semicondutores (%) |
|------|--------------------|------------------------------|-------------------------------|---|
| 2007 | 27 | 71 | 169 | 8,3 |
| 2008 | 29 | 78 | 170 | 8,6 |
| 2009 | 33 | 87 | 445 | 8,8 |
| 2010 | 38 | 82 | 572 | 11,2 |
| 2011 | 43 | 107 | 652 | 12,2 |
| 2012 | 50 | 140 | 1,032 | 13,0 |
| 2013 | 50 | 154 | 1,178 | 13,7 |
| 2014 | 50 | 215 | 2,12 | 16,3 |
| 2015 | 50 | 262 | 2,378 | 16,9 |
| 2016 | 50 | 338 | 3,518 | 19,0 |

Fonte: PwC/China's Impact on the Semiconductor Industry: 2016 update. Disponível em: <<https://is.gd/NI9yHK>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Elaboração do autor.

Mesmo se considerando a crítica de Fuller (2019) ao papel elevado das empresas estrangeiras no setor de semicondutores na China, é relevante levar em consideração o crescimento do número de empresas de semicondutores chinesas, inclusive com crescimento das receitas e da sua participação no valor total da produção do setor, ao considerarmos os principais fabricantes do setor no país, as empresas chinesas ainda têm pouca representatividade. Na tabela 4, consta o histórico de classificação relativa dos dez principais fabricantes de semicondutores da China entre 2003 a 2015. Nesse período, houve 23 grupos diferentes de empresas que estiveram entre os dez principais fabricantes da China. Apenas dois (SMIC e Xinchao Group) estiveram entre os dez principais para cada ano durante esse período, enquanto dois outros (ASMC e Advanced Semiconductor Engineering Inc. – ASE) estiveram entre os dez primeiros em apenas um ano. Entre as dez primeiras empresas de semicondutores operando no país, quatro empresas são chinesas: HiSilicon Technologies Co., Ltd., SMIC, Unisplendor (Spreadtrum Communications Inc.)¹³ e Xinchao

13. A UniSpreadtrum/Unisoc é uma empresa de semicondutores que fabrica plataformas de *chipsets* móveis, os quais oferecem suporte aos padrões de comunicação sem fio 2G, 3G e 4G para produtos eletrônicos de consumo, como *smartphones* e *feature phones*. A UniSpreadtrum foi formada em 2013, quando a Spreadtrum, uma fabricante chinesa de *chips*, foi adquirida pela Tsinghua Unigroup. Disponível em: <<https://bit.ly/3hbNhbr>>.

TEXTO para DISCUSSÃO

Group.¹⁴ Chama atenção a ascensão da empresa chinesa HiSilicon Technologies,¹⁵ que saiu da 24ª posição, em 2007, para a 1ª posição, em 2015, e a SMIC,¹⁶ a qual sempre ficou entre as três principais empresas de semicondutores do país.

As demais seis empresas que completam o *ranking* das dez principais empresas de semicondutores na China são duas sul-coreanas (Samsung e SK Hynix), três dos Estados Unidos (Micron Semiconductor, Huizhou Cree e a Intel) e uma empresa taiwanesa (Everlight Eletronics).

Ou seja, mesmo se considerando que, entre os dez principais fabricantes de semicondutores do país, há uma maioria de empresas estrangeiras, o crescimento das quatro empresas nacionais chinesas (*indigenous companies*) no *top 10* – inclusive ocupando as duas primeiras posições como líderes na produção de semicondutores na China – aponta para uma evolução relevante nos últimos anos, principalmente em decorrência das políticas governamentais de estímulo ao desenvolvimento das campeãs nacionais.

TABELA 4

Principais fabricantes de semicondutores na China (2004-2015)

| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| HiSilicon Technologies | - | - | - | 24 | 11 | 7 | 8 | 5 | 4 | 1 | 2 | 1 |
| SMIC | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Samsung | - | 18 | 21 | 18 | 15 | 15 | 18 | 7 | 8 | 9 | 6 | 3 |
| SK Hynix | - | - | 11 | 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 4 |
| Spadtrum | - | - | - | - | - | - | 15 | 8 | 12 | 8 | 7 | 5 |
| Micron | - | - | - | - | - | - | - | - | 6 | 6 | 4 | 6 |
| Xinchao Group | 7 | 5 | 7 | 7 | 8 | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 | 8 | 7 |

(Continua)

14. O Grupo Xinchao é especializado em encapsulamentos em testes de CIs, P&D, produção e vendas de equipamentos de automação e investimento em empresas que atuam em eletrônica, engenharia elétrica, mecatrônica e outros campos. Disponível em: <<https://bit.ly/3Im0Dhy>>.

15. HiSilicon é uma *fabless* de semicondutores. A empresa foi fundada em 1991, como Asic Design Center da Huawei. A HiSilicon tornou-se uma subsidiária independente e de propriedade total da Huawei em 2004. Disponível em: <<https://bit.ly/3sdVJNM>>.

16. A Semiconductor Manufacturing International Corporation e suas subsidiárias são uma *foudry* com ampla cobertura de tecnologia e fabricação de semicondutores no continente chinês. O SMIC Group fornece serviços de fundição e tecnologia de CI em nós de processo de 0,35 micron a 14 nm. Disponível em: <<https://bit.ly/3sbaMYr>>.

(Continuação)

| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Hangzhou Cree | - | - | - | - | - | - | - | 12 | 10 | 11 | 9 | 8 |
| Everlight Electronics | - | - | - | - | - | - | - | 24 | 26 | 22 | 11 | 9 |
| Intel | 8 | 10 | 9 | 17 | 17 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 5 | 10 |
| RF Micro Devices Co., Ltd. (RFMD) | 4 | 4 | 4 | 5 | 7 | 5 | 5 | 16 | 11 | 10 | 10 | 11 |
| Natong Huada Micro | 9 | 12 | 13 | 12 | 13 | 13 | 9 | 13 | 14 | 13 | 13 | 12 |
| Freescale | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 4 | 4 | 4 | 7 | 7 | 12 | 14 |
| Renesas | 5 | 6 | 10 | 9 | 5 | 9 | 10 | 15 | 18 | 15 | 17 | 16 |
| China Resources Micro | 13 | 15 | 16 | 6 | 6 | 8 | 7 | 11 | 15 | 14 | 14 | 19 |
| ASE | - | - | - | 20 | 18 | 16 | 14 | 10 | 13 | 12 | 16 | 21 |
| Huahong Group | 3 | 7 | 5 | 8 | 12 | 11 | 12 | 9 | 9 | 20 | 21 | 24 |
| Panasonic | 16 | 11 | 8 | 10 | 9 | 10 | 11 | 14 | 17 | 24 | 32 | 31 |
| Leshan Radio | 10 | 13 | 15 | 15 | 16 | 14 | 15 | - | - | - | - | - |
| STMicroelectronics | 11 | 3 | 6 | 11 | 10 | 12 | 13 | 18 | - | - | 36 | 37 |
| ASMC | 12 | 19 | 17 | 25 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| HeJian Technology | 6 | 8 | 12 | 14 | 23 | 22 | 25 | - | - | - | 44 | 46 |
| Infineon | - | 9 | 3 | 3 | 4 | 17 | 17 | 22 | 23 | 25 | 28 | 27 |
| Receita da indústria de semicondutores na China – total (US\$) | 12,006 | 16,053 | 21,660 | 27,431 | 31,434 | 29,171 | 38,053 | 51,402 | 56,325 | 65,758 | 77,303 | 89,300 |
| Valor produzido pelas fabricantes – top 10 (US\$) | 3,752 | 4,354 | 6,709 | 8,954 | 9,605 | 9,409 | 12,015 | 14,503 | 16,048 | 13,724 | 15,022 | 18,195 |
| Participação do top 10 na produção total de semicondutores (%) | 31,3 | 27,1 | 31,0 | 32,6 | 30,6 | 32,3 | 31,6 | 28,2 | 28,5 | 20,9 | 19,4 | 20,4 |

Fonte: PwC/China's Impact on the Semiconductor Industry: 2016 update. Disponível em: <<https://is.gd/NI9yHK>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Elaboração do autor.

É importante também chamar atenção para o fato de que, durante o período 2003-2015, os dez maiores fabricantes de semicondutores da China responderam por uma média de 26% das receitas totais da indústria de semicondutores no país. Outro ponto relevante é que a participação

TEXTO para DISCUSSÃO

do *top 10* no valor total da produção é declinante ao longo do tempo, saindo de um percentual de 31,3%, em 2004, para 20,4%, em 2015, o que aponta para diluição da produção total por mais empresas instaladas no país, principalmente com firmas nacionais chinesas ganhando mais espaço.

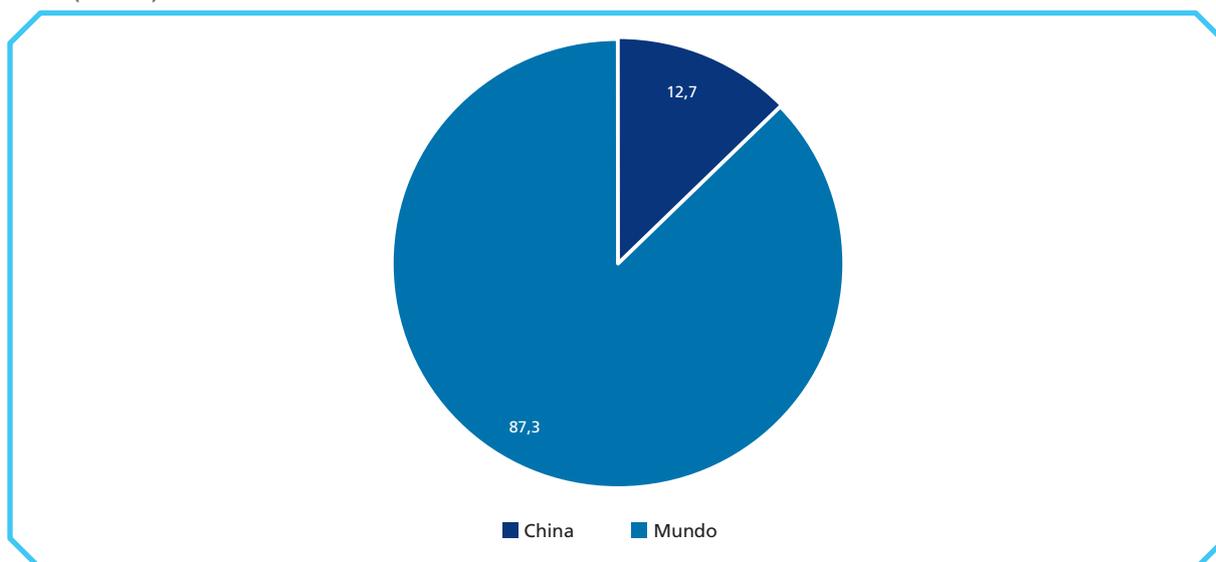
Como resultado do crescimento da produção de semicondutores da China, em 2015, a capacidade de fabricação de *wafer* na China passou a representar uma capacidade de 2,5 milhões, ou 12,7% do mundo (gráfico 22). De acordo com o PwC (2016), em 2015, a capacidade de fabricação de *wafer* da China continua a ser notavelmente diferente do mundo, dado que 26% da estrutura produtiva de *wafer* na China é de IDM e no mundo é de 48%. Dessa forma, 39% são dedicados à produção de *foundry* (IDM *foundries* com participação de 2% e *dedicated foundries* com 37%),¹⁷ *versus* 29% em todo o mundo. Em relação ao segmento de O-S-D, a China tem 35% em sua produção total, enquanto o mundo apresenta percentual de 18%. Ademais, apenas dez fábricas têm 300 mm de um total de 118 em todo o mundo. Ou seja, a estrutura produtiva da China, até mesmo obtendo avanços no período recente, ao buscar operar nos setores mais intensivos em tecnologia de semicondutores (IDM e *foundries*), ainda tem como predomínio os setores com menos complexidade tecnológica, como encapsulamentos e testes.

Como a China representa uma parcela desproporcionalmente grande de *light-emitting diode* (LED) em todo o mundo (29%) e capacidade de fabricação discreta (22%), esta continua a ter uma mistura muito maior de tamanho de *wafer* menor (150 mm ou menos) e nanômetros de tecnologia madura (0,7 μm ou maior) do que em todo o mundo. Sua participação na capacidade do nó de tecnologia madura e intermediária mundial (0,2 a 0,028 μm) aumentou quase 2% cada para 20% e 15%, respectivamente, enquanto sua participação na capacidade do nó de tecnologia avançada (28 nm ou menos) diminuiu fracionalmente, mas permaneceu por volta de 5%.

17. *Dedicated foundries* ou *pure-play foundries* realizam apenas a etapa de fabricação (*front-end*) sob contratação de outras empresas; as principais *dedicated foundries* no mundo são a TSMC (Taiwan), a GlobalFoundries (Estados Unidos) e a United Microelectronics Corporation – UMC (Taiwan).

GRÁFICO 22**Capacidade de fabricação de wafer – China e mundo (2015)**

(Em %)

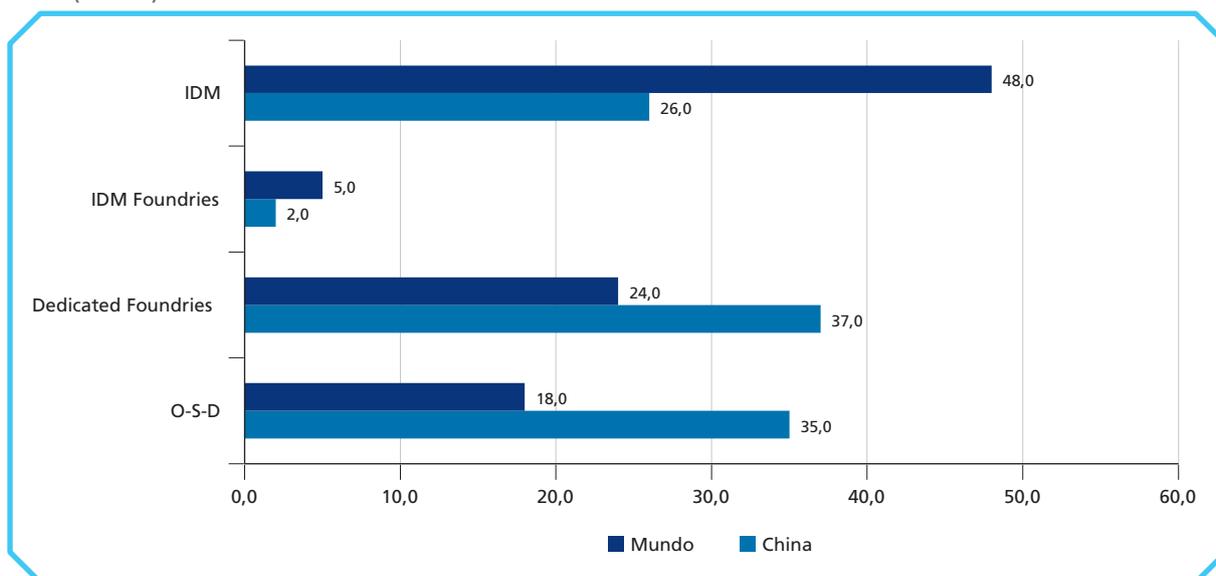


Fonte: PwC/China's Impact on the Semiconductor Industry: 2016 update. Disponível em: <<https://is.gd/NI9yHK>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Elaboração do autor.

GRÁFICO 23**Capacidade de fabricação de wafer por segmento – China e mundo (2015)**

(Em %)



Fonte: PwC/China's Impact on the Semiconductor Industry: 2016 update. Disponível em: <<https://is.gd/NI9yHK>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Elaboração do autor.

Rho, Lee e Kim (2015) afirmam que a indústria de semicondutores da China alcançou o *catch-up*, mas ainda é limitada. O governo chinês enfatizou a estratégia *indigenous innovation* e *indigenous companies* desde os anos 2000 e tem apoiado a inovação tecnológica, ao enfatizar o investimento em P&D no nível da empresa, o acúmulo de conhecimento e o aprendizado organizacional das firmas. O segmento de manufatura de CIs apresenta importância crucial na indústria de semicondutores, mas a China tem enfrentado uma problemática de boicotes, pois os países desenvolvidos não querem que essa cadeia de valor seja transferida para a China e, portanto, tendem a tentar restringir a transferência de tecnologia, o que fica mais ainda em evidência com as sanções dos Estados Unidos impostas às empresas chinesas no setor de semicondutores, como já mencionado anteriormente. Dessa forma, o desafio da China é muito grande em superar as próprias barreiras do setor e também as barreiras criadas pelos países desenvolvidos.

Para os autores, mesmo se considerando os avanços do setor de semicondutores na China, as *indigenous companies* ainda não detêm grande participação no mercado e têm capacidade limitada de *catch-up* tecnológico. Em termos de participação de mercado, as empresas nacionais ficam para trás no mercado de circuitos integrados padrão. A velocidade de inovação do produto também é muito rápida. CPU e Dram são alguns dos principais produtos no mercado de CIs padrão. Nesse mercado, a participação das empresas domésticas da China apresentou arrefecimento em seu crescimento, inclusive queda.

Usando dados de 2012 e 2013, Rho, Lee e Kim (2015) afirmam que a margem de lucro dos produtos Dram da SMIC, por exemplo, caiu devido à concorrência com empresas sul-coreanas, taiwanesas e japonesas. No caso da HHNEC, a firma falhou em entrar no mercado de Dram em seu estágio inicial e tem se concentrado no mercado de Asic (circuitos integrados de aplicativos específicos). Além disso, no mercado de *foundry* – ou seja, o de Asic –, o crescimento da participação de mercado das empresas nacionais também permanece estagnado devido às firmas taiwanesas. Para os autores, todas as dez principais empresas que dominavam a indústria de semicondutores da China eram estrangeiras. Essas dez firmas principais são todas do segmento de CIs padrão. O mercado de semicondutores do país é responsável por metade do mercado mundial, e esses dez primeiros dominavam 42,9% do mercado chinês de circuitos integrados em 2013.

A afirmação dos autores dos desafios para a China desenvolver o setor de semicondutores permanece, mas eles fizeram essas análises com base no cenário de 2013. Os indicadores mais recentes usados neste trabalho – até 2015 – mostram uma evolução considerável do setor de semicondutores na China, principalmente se considerando a evolução do *indigenous innovation*, com o crescimento do SNI, como mostrado na seção 4 deste estudo, como também o crescimento de empresas nacionais – *indigenous companies* (tabelas 3 e 4). Como os indicadores revelam, entre

as *top 10*, a China atualmente tem quatro empresas, com uma firma chinesa ficando em primeiro lugar (HiSilicon Technologies Co., Ltd.) e a outra ocupando o segundo ou terceiro lugar (SMIC).

Essas quatro empresas chinesas que constam no *top 10* correspondem a 22,7% das receitas das cinquenta maiores fabricantes de semicondutores na China, e as seis empresas estrangeiras respondem por 45%. Mesmo se levando em consideração que as empresas estrangeiras ainda têm maior percentual de participação entre as dez principais empresas de semicondutores na China, indubitavelmente houve avanços substanciais das empresas chinesas, principalmente se considerando que o estudo de Rho, Lee e Kim (2015) apresentou dados de 2012 e 2013. Ou seja, em três anos, utilizando os dados de 2015, a China saiu de uma condição sem nenhuma empresa nacional entre as dez principais empresas, para ter quatro firmas, com duas empresas na liderança do volume de receitas no setor de semicondutores. Ademais, esse crescimento está associado a mudanças estruturais do setor, com os segmentos de *design* e manufatura ganhando mais espaço na estrutura produtiva, conforme os indicadores do gráfico 18, o que aponta para o rápido *catch-up* tecnológico que o setor de semicondutores na China vem alcançando.

Nos dados da tabela 5, os cinquenta maiores fabricantes de semicondutores da China – aqueles que relatam receitas de US\$ 281 milhões ou mais em 2015 – têm receita combinada informada de US\$ 39,9 bilhões, o que representa 44,7% da receita total da indústria de semicondutores da China em 2015, de um total de US\$ 89,3 bilhões. Essas cinquenta maiores empresas responderam por 48% das receitas de fabricação de *chips* da China (*foundries* e IDM); 62% das receitas de ATS; 54% das receitas de *fabless* de *design*; e 25% das receitas O-S-D.

Para as *fabless* de *design* mistas (parceria entre Estado e setor privado), a verdadeira bonança veio quando o investimento de capital de risco estrangeiro começou a aumentar nos primeiros anos deste século. De 2000 a 2001, o número de empresas de *design fabless* mais que dobrou, de 98 para 200; em 2002, quase dobrou novamente para 389. A maioria das firmas mistas que cresceram para tornarem-se grandes empresas, como Spreadtrum, RDA, Vimicro e Galaxycore, foi fundada entre 2000 e 2003. Além disso, as empresas mistas contribuíram mais em termos de treinamento de *designers* de circuitos integrados do que as firmas nacionais e multinacionais combinadas durante o período 2001-2011. As empresas mistas representaram a maior parte das firmas de orientação comercial que não dependiam de aquisições estaduais para a maioria de sua receita. No final de 2012, os canais de aquisição estaduais dos quais muitas empresas estatais dependiam eram grandes o suficiente para abranger mais da metade da receita doméstica de projetos de CIs.

TABELA 5

Principais fabricantes chineses de semicondutores – incluindo-se grupos: receitas de vendas (2015)

| Ranking | | RMB: 100 mn | US\$ | % |
|---------|---|-------------|-------|-----|
| 1 | HiSilicon Technologies Co., Ltd. | 221.00 | 3.518 | 8,8 |
| 2 | SMIC | 145.20 | 2.311 | 5,8 |
| 3 | Samsung Eletronic (Suzhou Semi & LED) Co., Ltd. | 144.70 | 2.303 | 5,8 |
| 4 | SK Hynix Semiconductor (China – Incl Hitech JV) | 127.00 | 2.021 | 5,1 |
| 5 | Unisplendor (Spreadtrum Communications Inc.) | 109.90 | 1.749 | 4,4 |
| 6 | Micron Semiconductor (Xi'na) Co., Ltd. | 97.64 | 1.554 | 3,9 |
| 7 | Xinchao Group | 92.20 | 1.468 | 3,7 |
| 8 | Huizhou Cree | 63.00 | 1.003 | 2,5 |
| 9 | Everlight Eletronics | 63.00 | 1.015 | 2,5 |
| 10 | Intel Products/Semiconductor (Chengdu/Dalian) Co., Ltd. | 62.60 | 996 | 2,5 |
| 11 | RFMD | 62.00 | 987 | 2,5 |
| 12 | Nantong Huada Microeletronics Group Co., Ltd. | 56.40 | 898 | 2,3 |
| 13 | TianJin Zhoghuan Semiconductor Co., Ltd. | 55.63 | 886 | 2,2 |
| 14 | Freesclase Semiconductor (China) & (Tianjin) Co., Ltd. | 54.20 | 863 | 2,2 |
| 15 | Shenzhen ZTE Microeletronics Technology Co., Ltd. | 51.00 | 812 | 2,0 |
| 16 | Renesas Semiconductor (Beijing & Suzhou) Co., Ltd. | 50.52 | 804 | 2,0 |
| 17 | Sanan Optoeletronics | 43.60 | 694 | 1,7 |
| 18 | Tianshui Huatian Technology Co., Ltd. | 47.80 | 761 | 1,9 |
| 19 | China Resources Microeletronics (Holdings) Ltd. | 47.80 | 761 | 1,9 |
| 20 | MLS Co., Ltd. | 46.67 | 743 | 1,9 |
| 21 | ASE Ass. & Test (Shanghai, Khunshan, WiHai e Suzhou) Ltd. | 55.12 | 710 | 1,8 |
| 22 | Liteon Technology | 33.70 | 536 | 1,3 |
| 23 | TSMC (Shanghai) Co., Ltd. | 43.60 | 694 | 1,7 |
| 24 | Shanghai Huahong (Group) Co, Ltd. | 42.70 | 680 | 1,7 |
| 25 | MLS Co., Ltd. (Forest Lighting) | 41.70 | 664 | 1,7 |
| 26 | China Huada Integrated Circuits Design (Group) Co., Ltd. | 37.46 | 596 | 1,5 |
| 27 | Hitech Semiconductor (Wuxi) Co., Ltd. | 37.20 | 592 | 1,5 |
| 28 | Infineon Technologies (Wuxi) Co., Ltd. | 36.01 | 573 | 1,4 |
| 29 | Huada Semiconductor Co. | 33.80 | 538 | 1,3 |
| 30 | Datang Semiconductor Design Co., Ltd. | 31.00 | 493 | 1,2 |

(Continua)

(Continuação)

| Ranking | | RMB: 100 mn | US\$ | % |
|--------------|--|-------------|---------------|-----|
| 31 | Diodes Shanghai Co., Ltd. | 30.10 | 479 | 1,2 |
| 32 | Shanghai Panasonic Semiconductor Co. Ltd. | 29.75 | 474 | 1,2 |
| 33 | Amkor Technology China, Ltd. | 29.50 | 470 | 1,2 |
| 34 | Beijing Nari Smart Chip Microelectronics Co., Ltd. | 29.20 | 465 | 1,2 |
| 35 | No. 55 Research Institute of China Electronics Tech. Group Corp. | 27.72 | 441 | 1,1 |
| 36 | SanDisk Semiconductor (Shanghai) Co., Ltd. | 27.60 | 439 | 1,1 |
| 37 | STATS ChipPAC | 27.19 | 433 | 1,1 |
| 38 | ST Microelectronics | 26.65 | 424 | 1,1 |
| 39 | RDA Microelectronics, Inc. | 25.67 | 409 | 1,0 |
| 40 | Siliconware Technology (Suzhou) Co., Ltd. | 24.30 | 387 | 1,0 |
| 41 | Duntai Technology (Shenzhen) Co., Ltd. (FocalTech Systems) | 24.20 | 385 | 1,0 |
| 42 | Shenzhen National Holdings Co., Ltd. | 22.61 | 360 | 0,9 |
| 43 | Xi'na Microelectronics Technology Institute | 22.00 | 350 | 0,9 |
| 44 | Hangzhou Silan Microelectronics Co., Ltd. | 20.10 | 320 | 0,8 |
| 45 | Beijing Vimicro Co., Ltd. | 18.50 | 294 | 0,7 |
| 46 | Shenzhen Netcom Electronics Co., Ltd. | 18.42 | 293 | 0,7 |
| 47 | HeJian Technology (Suzhou) Co., Ltd. | 18.10 | 288 | 0,7 |
| 48 | Galaxycore Inc. | 17.90 | 285 | 0,7 |
| 49 | Leshan Phoenix Semiconductor Co., Ltd. (On Semi JV) | 17.68 | 281 | 0,7 |
| 50 | Allwinner Technology | 17.66 | 281 | 0,7 |
| Total | | - | 39.900 | - |

Fonte: PwC/China's Impact on the Semiconductor Industry: 2016 update. Disponível em: <<https://is.gd/NI9yHK>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

Elaboração do autor.

O crescimento da SMIC é um exemplo clássico da aliança entre Estado, empresas nacionais e institutos de pesquisa – ou seja, o resultado do fortalecimento do SNI da China para lograr maiores avanços no setor de semicondutores. De acordo com Fuller (2019), a SMIC começou com uma equipe altamente qualificada de gerenciamento de fundição, que incluía vários executivos de alto nível da TSMC; entre eles, Richard Chang como CEO da empresa e, sem dúvida, muito mais importante, a T. Y. Chiu, um respeitado guru de operações de fábricas. A SMIC utilizou um grande número de engenheiros chineses para empurrar a fabricação da China para mais perto da fronteira tecnológica e, ao mesmo tempo, expandir sua capacidade de fabricação no país. De 2003 em diante, a empresa, como uma seguidora rápida clássica, permaneceu no período de dois

anos do International Technology Roadmap of Semiconductors (ITRS) para tecnologia de processo lógico. Mais importante, a SMIC treinou milhares de engenheiros locais e montou fábricas em várias cidades além de Xangai, incluindo Chengdu, Wuhan, Shenzhen, Pequim e Tianjin.

A SMIC teve maior capacidade do que qualquer operadora de fabricação na China desde 2002. Essa empresa teve seu período de maior expansão sob a administração de Richard Chang; em 2009, um novo CEO, David N. K. Wang, um taiwanês americano que anteriormente chefiava as operações da Applied Materials na China, instituiu uma racionalização que incluía a venda de algumas de suas fábricas. Supostas fraudes cometidas pela SMIC em seu processo de expansão – manipulando informações sobre compra de equipamentos usados e declarando como novos – foram identificadas como mecanismos de fraudar as prestações de conta da empresa com o governo chinês, o qual concede incentivos e exige como contrapartidas metas a serem cumpridas. Como resultado das novas regras estabelecidas pelo governo, a empresa passou a reduzir sua capacidade eliminando fábricas; por exemplo, vendendo sua fábrica de Chengdu para a Texas Instruments em 2010 e, também, vendendo sua participação na fábrica de Wuhan em 2013 para seu parceiro JV12, a XMC do governo de Wuhan. A própria XMC agora faz parte da empresa estatal Yangtze Memory Technology Corporation (YMTC). Esse processo é o que explica, em parte, a SMIC sair da primeira posição e ficar na terceira, depois retornando para o segundo lugar como principal empresa de semicondutores do país.

Mais recentemente, o governo passou a fazer parte da SMIC. O veículo de investimento do governo central para o megaprojeto de CIs, Sino IC Capital, comprou 11% da SMIC em fevereiro de 2015 e em junho comprou mais 6%. Em fevereiro de 2016, a Sino IC Capital nomeou seu segundo representante para o conselho da SMIC. Desde então, os representantes estaduais, incluindo-se os dois burocratas estaduais, que agora são diretores executivos, superaram em número os diretores que não são burocratas estaduais. Algumas evidências apontam para a interferência do Estado na gestão do SMIC, a fim de perseguir os próprios objetivos de sua política. Por exemplo, em maio de 2016, a SMIC comprou uma participação de 14,3% na Jiangsu Changjiang Electronics Technology (JCET), uma empresa estatal de A&T.

Para Fuller (2019), o ponto principal é que a indústria chinesa de semicondutores ainda estava muito atrás da fronteira tecnológica da indústria até o surgimento das empresas mistas, CSMC e SMIC. Com o advento dessas firmas, assim como da HiSilicon Technologies (subsidiária da Huawei), o *catch-up* tecnológico no setor de semicondutores passou a apresentar maiores avanços.

Em estudo de Li *et al.* (2019), os indicadores analisados apontam para o ganho de eficiência técnica em todos os segmentos do setor de semicondutores na China. Entre os segmentos, o *design* é caracterizado por alta eficiência e alto *input* e mostra a maior eficiência técnica de

inovação. As inovações de *design* também carregam a maior demanda de mão de obra. Além disso, a atividade de patentes no segmento de *design* é o mais dinâmico dos cinco segmentos, o que significa que o *input* correspondente é relativamente alto. No entanto, a jusante, o segmento de *design* também se beneficia significativamente das aplicações de mercado, como mostrado pelo rápido desenvolvimento do segmento de *design* em nível tecnológico e valores de produção nos últimos anos. Esses fatores levam a altos níveis de eficiência da inovação no segmento de *design*.

Encapsulamento e teste têm alta eficiência e baixo consumo. Devido ao baixo limite técnico de ATS, os *inputs* para mão de obra e despesas de capital são menores que os outros segmentos. O segmento de encapsulamentos e teste manteve um crescimento relativamente estável e um tanto rápido nos últimos anos. Na verdade, em algumas áreas, as empresas de ATS da China excederam os padrões internacionais. Isso resultou em níveis relativamente altos de eficiência técnica de inovação (Li *et al.*, 2019).

Por sua vez, os segmentos de manufatura e equipamentos apresentam baixa eficiência e altos *inputs*. Ambos são essenciais para a indústria de semicondutores, mas sua forte dependência do capital é óbvia em seus resultados de eficiência. O governo chinês tem feito grandes esforços para apoiar esses dois segmentos. O esquema do National Science and Technology Major Project e uma série de fundos da indústria são apenas alguns dos exemplos projetados para apoiar a fabricação e os equipamentos de semicondutores. Como resultado das iniciativas, as empresas do segmento de manufatura e equipamentos apresentam alguns dos maiores *inputs*. Entretanto, seu desempenho em vendas e pedidos de patentes não é compatível com o volume de investimentos, uma vez que a eficiência técnica na fabricação e nos equipamentos é inferior à de qualquer outro segmento. A tecnologia de fabricação chinesa mais avançada ainda está duas a três gerações atrás do resto do mundo, e o segmento de equipamentos ainda é altamente dependente de importações estrangeiras. Em algumas das áreas mais sofisticadas, esse setor depende inteiramente de importações. O segmento de materiais é caracterizado por baixa eficiência e baixo consumo, o que pode ser impulsionado pela ampla gama de níveis de tecnologia dos produtos chineses (Li *et al.*, 2019).

Ao utilizar o arcabouço teórico/metodológico do SSI, já apresentado nas seções 2 e 3, observamos avanços, limites e desafios, descritos a seguir.

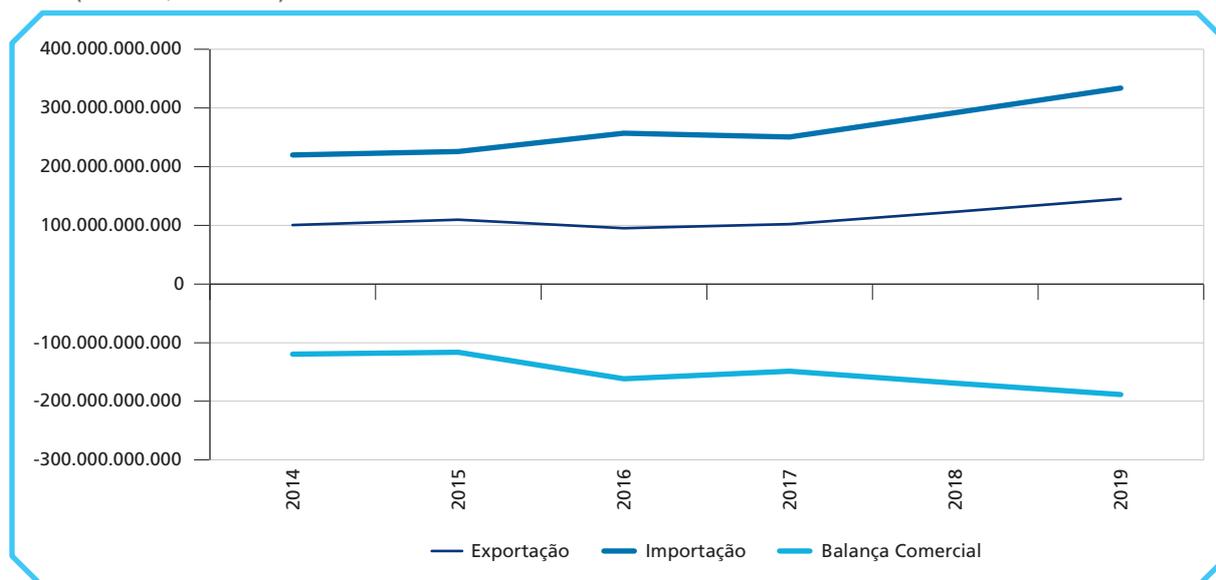
- 1) O acesso à tecnologia estrangeira/conhecimento: passou por diferentes momentos, os quais mostram a articulação entre a estratégia de fortalecimento da relação entre o sistema de inovação e o papel da articulação na formação de *joint ventures* como mecanismo de transferência e internalização de tecnologia. Inicialmente, as empresas estrangeiras dominaram o setor, mas principalmente nos segmentos de produção de baixo valor agregado de operações de montagem, encapsulamento e teste. Mas, a partir dos anos 1990, com o fortalecimento do conhecimento

tecnológico, as firmas locais e estrangeiras conseguiram atrair incentivos para iniciar operações de P&D e fabricação de *wafer*, com empresas nacionais apresentando um crescimento relevante. Na indústria de manufatura de circuitos integrados, muitas firmas estrangeiras ocidentais não estavam fazendo investimentos diretos, porque estrategicamente optaram por não transferir cadeias de valor importantes para a China. Entretanto, desde a década de 2000, as empresas líderes, como Hynix e Intel, decidiram investir nas linhas de produção da China e destacaram-se como mais um ator de inovação que afeta os sistemas de inovação setoriais da China. À medida que o mercado chinês ganha importância e suas infraestruturas avançam, a China é considerada um local de produção viável. As empresas estrangeiras contribuíram com uma grande proporção no investimento em ativos fixos da indústria de semicondutores nos últimos anos. O próprio governo chinês também quer atrair o IDE na indústria de manufatura de CIs e tem como objetivo completar as cadeias de valor na China, mesmo que as firmas estrangeiras se tornem participantes principais. Na verdade, o governo chinês coloca ênfase no desenvolvimento da indústria de *design* de circuitos integrados. Em termos de produção de *wafer*, prefere-se que se estabeleçam firmas nacionais competitivas e, portanto, exige-se um papel ativo das empresas estrangeiras no processo de internalização de tecnologia. Essa tendência, com os esforços dos governos locais para promover a indústria de alta tecnologia, acolhe o investimento de empresas estrangeiras na China, mas determinando condicionalidades para a transferência tecnológica (Rho, Lee e Kim, 2015).

- 2) As condições de demanda e os regimes de mercado e tecnológico: o mercado de semicondutores da China tornou-se o terceiro maior do mundo já no final da década de 1990. Isso fez com que o *deficit* da China continuasse muito alto, devido às pesadas importações de componentes por empresas de eletrônicos de consumo e industriais, como mostra o gráfico 24. Na verdade, desde 2017, até mesmo com o crescimento das exportações, o das importações é maior, o que amplia o *deficit* na balança comercial de semicondutores no país, um limite a ser superado.

GRÁFICO 24**Balança comercial de semicondutores – China (2014-2019)**

(Em US\$ milhões)



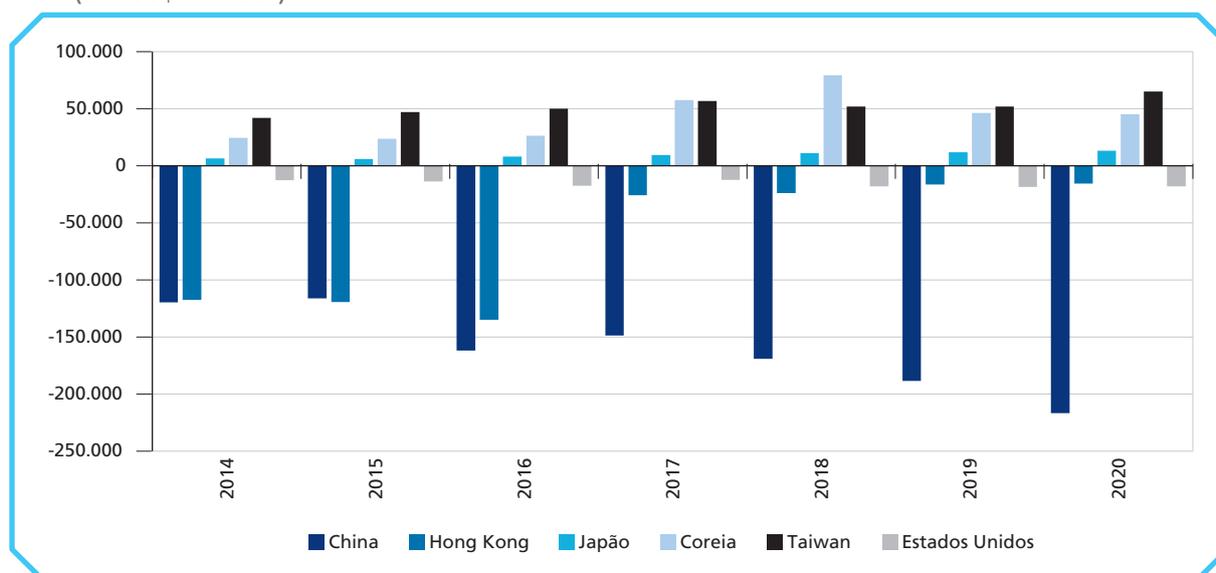
Fonte: World Integrated Trade Solution (WITS).

Elaboração do autor.

Esse limite a ser superado, relacionado ao resultado da balança comercial, se torna mais necessário ainda quando comparamos a realidade do setor de semicondutores com os principais *players* mundiais no setor, conforme o gráfico 25.

GRÁFICO 25**Balança comercial de semicondutores – países selecionados (2014-2019)**

(Em US\$ milhões)



Fonte: WITS.

Elaboração do autor.

O *deficit* na balança comercial chinesa é único no mundo. Japão, Coreia do Sul e Taiwan apresentam *superavit* na balança comercial, principalmente por serem países exportadores para China e Estados Unidos. Os únicos países que apresentam *deficit* na balança comercial são China e Estados Unidos, mas o segundo tem a particularidade de ter o domínio da cadeia produtiva do setor, conforme mostrado nas subseções 5.1 e 5.2, com suas empresas nacionais atuando em várias partes do mundo, inclusive na China. No caso chinês, o *deficit* na balança comercial ainda é resultado da fragilidade da sua cadeia produtiva de semicondutores, dependente de importações.

Do ponto de vista dos regimes de mercado e tecnológico, em muitos países, a indústria de semicondutores é protegida como a indústria estratégica do país, e, portanto, não é fácil adquirir tecnologia de fabricação. E, como os fabricantes de semicondutores têm forte competição entre si, com processos de patentes ou direitos de propriedade intelectual sendo usados de forma constante, a acessibilidade torna-se relativamente baixa, principalmente quando consideramos os segmentos do elo superior da cadeia produtiva com nível tecnológico mais sofisticado. Frequentemente, uma empresa líder domina os portfólios de patentes e, portanto, pode restringir as empresas retardatárias em seus esforços de entrada tardia, como vem acontecendo com a China, por meio das sanções impostas pelos Estados Unidos (Rho, Lee e Kim, 2015).

À medida que o investimento aumenta, uma empresa assume riscos mais elevados, o que permite que as empresas estabelecidas concorram em posição mais vantajosa do que as empresas recém-chegadas. Além disso, em termos de capacidade cognitiva para tecnologia de próxima geração e capacidade organizacional para produção e planejamento, as grandes corporações consolidadas estão em vantagem, em comparação com as empresas retardatárias, que enfrentam cada vez mais dificuldades para o *catch-up*. Além disso, à medida que o *catch-up* avança para estágios posteriores, a tacitude do conhecimento envolvido tende a aumentar e o acesso à tecnologia de próxima geração torna-se mais importante e provavelmente mais difícil, o que coloca os países e empresas retardatários em uma posição difícil de *catch-up*. Essa situação pode ser verificada pelo índice de concentração do setor. Os principais fabricantes de semicondutores, como Intel e Samsung, dominam os principais setores da indústria de semicondutores, microprocessador e Dram, respectivamente, com cada vez mais potência de inovação e liderança na cadeia produtiva (Rho, Lee e Kim, 2015).

Isso resulta em que as empresas seguidoras de pequena escala da China enfrentarão dificuldades para o *catch-up* e, assim, para eliminar o atraso, principalmente com as mudanças nos regimes de tecnologia que são mais contínuos e curtos no setor de semicondutores. Tal observação deve ser mais para os *chips* de memória e menos para os *Asics*, devido ao tamanho menor do montante necessário de gastos da instalação e ciclos de tecnologia mais longos, além da natureza menos uniforme dos produtos.

Uma característica importante das condições de demanda de *chips* de memória é que os produtos da próxima geração podem substituir completamente os produtos existentes. Por essa razão, após o lançamento de produtos de circuitos integrados de próxima geração, os preços dos produtos de CIs anteriores caíram drasticamente, pois tornaram-se baratos, devido a uma queda repentina na demanda. Além disso, como os produtos são pequenos e leves e, portanto, fáceis de transportar, desde que a barreira tarifária não interfira no comércio, o grau de integração do mercado mundial e local é alto. Em outras palavras, o mercado de *chips* de memória não pode ser dividido em mercado de gama alta ou gama baixa (Rho, Lee e Kim, 2015).

Essas condições de demanda afetam os negócios dos *chips* de memória em vários aspectos. Em primeiro lugar, como empresa, é importante implementar um *marketing* rápido para maximizar os lucros quando os preços estão altos imediatamente após o lançamento de seu produto. Portanto, uma firma que possui capacidade de P&D líder e tecnologia de fabricação de ponta pode manter sua competitividade e sobreviver. Assim, mesmo se a empresa seguidora entrar nesse setor com a introdução inicial de instalações e transferências de tecnologia, a chance de *catch-up* no longo prazo não é fácil (Rho, Lee e Kim, 2015).

TEXTO para DISCUSSÃO

As empresas domésticas da China terão dificuldade no *catch-up* no mercado de *chips* de memória, no qual os mercados são mais unificados que segmentados. Em outras palavras, não existe um mercado inferior que funcione como um mercado protegido para produtos nacionais (Rho, Lee e Kim, 2015).

Em contraste, as condições de demanda para *chips* Asic são diferentes. Estes são menos uniformes, pois os *chips* são produzidos para atender a demandas específicas em funções e usos determinados. Pode haver mais espaço para a entrada e a sobrevivência das empresas retardatárias. Na verdade, algumas empresas da China, como a SMIC e a HHNEC, reduziram gradualmente a participação nos negócios de memória e estão mudando para negócios de fundição mais orientados para Asics (Rho, Lee e Kim, 2015).

Dessa forma, expõem-se os seguintes atores (a relação entre governo, universidades e institutos de pesquisa), e o plano nacional de C&T tem começado a desempenhar papéis importantes para aprimorar os vínculos entre a indústria e a academia. Por exemplo, os principais planos de C&T – como o 863, o 973 e o plano de incentivos ao desenvolvimento do Sistema Nacional de Inovação, no âmbito da industrialização de conteúdos relativos – passaram a estimular a aproximação entre empresas, institutos de pesquisa e universidades. Especialmente, desde 2000, a China emitiu doze projetos específicos de C&T, que incluem circuitos integrados e *software* de grande escala. Esse projeto aprofundou a colaboração acadêmica e indústria, via financiamento governamental, e se tornou a base de industrialização do país. Até agora, sete bases nacionais de industrialização de CIs foram estabelecidas, incluindo-se Xangai, Xi'an, Pequim, Wuxi, Chengdu, Hangzhou e Shenzhen. Nessas bases, diferentes modos por meio de financiamento industrial e intercâmbio de informações de mercado, treinamento e agências foram adotados para melhorar a rede de relações entre os atores do SNI (Rasiah *et al.*, 2012).

A China tem uma política de atração de IDE, assim como Taiwan, no *catch-up* de semicondutores. Sua grande força de trabalho apoia operações de montagem e teste de multinacionais em locais como Pearl River Valley e Shenzhen, bem como empresas locais integradas em parques de alta tecnologia, a exemplo de GanSu, Shanghai e Tianjin. Os laboratórios públicos de P&D desempenham um papel importante no apoio à base de conhecimento das empresas locais na China. A aquisição da divisão de fabricação de computadores da IBM pela Lenovo proporcionou fortes oportunidades de aprendizado horizontal para empresas de semicondutores na China (Rasiah *et al.*, 2012).

Há também avanços significativos na formação da mão de obra especializada, suficiente para impulsionar o *catch-up* em tecnologias de produto e processo. A intensidade da engenharia do GanSu High Tech Park, na China, é relatada como superior à do Hsinchu Science Park em Taiwan, em 2005. A China teve o maior número de cientistas e engenheiros de P&D, considerando-se outros três países asiáticos – Coreia do Sul, Taiwan e Malásia, com 800 mil, em 2000, e 1 milhão, em 2004 (Rasiah *et al.*, 2012).

Para Rhoo, Lee e Kim (2015), não se pode ignorar a influência de *holdings* estrangeiras estabelecidas na China no sistema de inovação da indústria de semicondutores, como já mencionado anteriormente. As empresas estrangeiras funcionam de acordo com os sistemas de inovação de seu país de origem e, por razões estratégicas, os efeitos da transferência de tecnologia para a China são mais limitados. Além disso, deve-se ter cuidado ao discutir o governo chinês, uma vez que o governo central e os governos locais são entidades diferentes que funcionam no Sistema Nacional de Inovação. O governo central e os governos locais têm sistemas de motivação diferentes e frequentes interesses conflitantes, o que exige uma análise mais cuidadosa, avaliando a ação do governo central e dos governos locais de forma separada para compreender como isso impacta na evolução do SNI.

Para os autores, a razão para as dificuldades da China em fechar o *gap* é que, fundamentalmente, a indústria de semicondutores passou por mudanças importantes em termos de tecnologia e regimes de conhecimento. Conforme mencionado anteriormente, as tecnologias na indústria de semicondutores apresentam alto grau de cumulatividade e alta frequência de inovações, o que permite alguma vantagem para corporações maiores que já possuem certo grau de acumulação. Pode-se argumentar que, para as empresas chinesas, é mais difícil entrar no setor, ainda mais com as barreiras impostas pelos Estados Unidos. Em outras palavras, os fundamentos da fabricação de semicondutores já foram formados e os padrões de inovação foram estabelecidos, o que torna difícil, para as empresas chinesas, acompanhar as tendências de inovação rápida.

Aliando as dimensões do SSI com a dinâmica do ciclo de vida do produto, nota-se que, à medida que as competições de tecnologia no setor se tornaram mais acirradas, os ciclos de substituição de instalações e os ciclos de vida dos produtos estão se tornando mais curtos, o que significaria maiores riscos para as empresas. Para gerenciar esses riscos, são necessários sistemas de inovação internos, que reduzem o tempo de P&D à construção de linhas de produção e à melhoria das taxas de rendimento. No entanto, a maioria das empresas chinesas já está atrás dos concorrentes estrangeiros que fazem investimentos agressivos em instalações. Até mesmo para empresas como a SMIC, que realiza investimentos mais elevados no país, sua própria capacidade de P&D e capacidade de gestão da produtividade ainda não são comparáveis às das empresas

no mercado mundial. Além disso, como as competições ferozes na indústria levam a um aumento nos processos de patentes e uma baixa acessibilidade às altas tecnologias recentes, as empresas domésticas chinesas estão enfrentando dificuldades para o *catch-up*, como fica evidente com as sanções dos Estados Unidos impostas às empresas chinesas (Rho, Lee e Kim, 2015). Entretanto, deve-se ter ciência também que os indicadores dos últimos anos apontam para avanços consideráveis no *catch-up* tecnológico das empresas nacionais chinesas, levando-as à condição de figurar entre as dez principais empresas produtoras de semicondutores do país.

Em uma situação em que o acesso ao conhecimento externo é restrito, as universidades e os institutos de pesquisa passam a desempenhar um papel importante. No entanto, são atores que, por si só, não são competentes o suficiente para atuar como um ator de inovação. Nos Estados Unidos, no Japão, na Coreia do Sul e em Taiwan, universidades e instituições de pesquisa foram pioneiras no desenvolvimento da indústria de semicondutores. Mas, na China, por causa de sua história peculiar, as universidades e os centros de pesquisa ainda não apresentam maior capacidade de P&D que as empresas. Universidades e instituições de pesquisa chinesas ainda carecem de mais recursos humanos profissionais que possam liderar a indústria de semicondutores e executar profissionalmente o orçamento de P&D (Rho, Lee e Kim, 2015). Este tem sido um gargalo que o governo chinês vem tentando superar, como discutido na seção 4, ao investir elevados recursos no fortalecimento do SNI, além de enviar estudantes chineses para outros países para acelerar o processo de construção da curva de aprendizagem, assim como contratar engenheiros de Taiwan (Goldman, 2020), Coreia do Sul (Shujing e Yelin, 2020) e países europeus (Ting-Fang e Li, 2021), pagando salários altos. Por exemplo, as empresas chinesas já haviam contratado 3 mil engenheiros de *chips* taiwaneses no final de 2019, de acordo com vários relatórios. No início de 2020, a China atraiu cem dos principais engenheiros da TSMC (Goldman, 2020).

Pensando em avanços e limites a partir da perspectiva do SSI, Verwey (2019) afirma que as políticas para a superação dos limites no setor de semicondutores na China ficam muito claras no MIC 2025. O Conselho de Estado emitiu um roteiro de área técnica, que estabeleceu metas não vinculativas para o setor de TI de próxima geração, com o objetivo de desenvolver a indústria de *design* e acelerar o desenvolvimento da indústria de fabricação de circuitos integrados. Dessa forma, promove-se o *catch-up* também nos segmentos de ATS. Em 2020, o roteiro sugere que os setores de *design* e de fabricação de semicondutores da China devem estar uma a duas gerações atrás dos líderes da indústria e ser apoiado por uma robusta cadeia de suprimentos doméstica de equipamentos e fornecedores. Em 2030, o roteiro especifica que os principais segmentos da indústria de CIs atingirão níveis internacionais avançados. Outro documento lançado em 2015, o 13º Plano Quinquenal (2016-2020), foi ainda mais específico, porque priorizou o desenvolvimento

de *chips* Dram – reminiscência da tentativa do Projeto 909 de Huahong –, com o a finalidade de diminuir sua dependência de *chips* de memória dos Estados Unidos.

O Guidelines to Promote National Integrated Circuit Industry, o Fundo Nacional de Circuitos Integrados, o MIC 2025 e o 14º Plano Quinquenal representam os atuais planos industriais de semicondutores da China. Juntas, essas estratégias propõem que a indústria chinesa de semicondutores adote uma abordagem de *fast-follower*. Nesse cenário, a indústria buscará o *leapfrogging* de várias gerações e promoverá o *catch-up* tecnológico do país.

Os subsídios são essenciais para o plano industrial de semicondutores da China, assumindo a forma de fundos regionais, provinciais e nacionais – como o Fundo Nacional de Circuitos Integrados –, crédito subsidiado via bancos estatais e políticas de incentivos fiscais para o investimento da indústria. Para entender a importância e a escala dos fundos que a China está direcionando para a indústria de semicondutores, vale a pena ter em mente dois pontos. Em primeiro lugar, dos onze fundos que a Câmara de Comércio dos Estados Unidos identificou como direcionados às indústrias no MIC 2025, o Fundo Nacional de Circuitos Integrados é o segundo maior, atrás apenas do Special Constructive Fund. Em segundo lugar, os avanços na indústria de semicondutores exigem enormes despesas de capital e em P&D. O investimento em P&D necessário para projetar um *chip* avançado pode facilmente ultrapassar US\$ 1 bilhão. Ademais, construir uma nova fábrica capaz de fabricar esse *design* avançado de *chip* está entre os maiores gastos de capital em que uma empresa privada pode incorrer em qualquer setor. O fato de o governo chinês ter optado por estabelecer um fundo dedicado à promoção dessa indústria e, em seguida, ser dotado de soma de dinheiro capaz de construir mais de vinte instalações de manufatura de ponta mostra a importância que o governo atribui ao desenvolvimento de capacidades indígenas nessa indústria. Além da constituição de fundos, há também medidas de apoio mais diretas, como isenções de imposto de renda de pessoa jurídica para empresas de semicondutores (Verwey, 2019).

Com o elevado volume de recursos destinados para o setor de semicondutores, há um processo de intensificação de fusões e aquisições na China e, também, em outros países, com a finalidade de fortalecer as empresas nacionais do país. Uma pesquisa do Grupo Rhodium indica que, antes de 2014, as firmas chinesas se envolveram em apenas seis fusões ou aquisições com empresas de semicondutores sediadas nos Estados Unidos, avaliadas em US\$ 213,8 milhões no total. Em 2016, aproveitando os recursos disponíveis, o número de fusões e aquisições anunciadas cresceu para 34 firmas americanas, e o valor total das transações concluídas atingiu US\$ 8,1 bilhões. Uma análise publicada no final de 2017 colocou o número de fusões e aquisições próximo a US\$ 11 bilhões. Além disso, grandes somas de dinheiro de capital de

risco chinês têm como alvo a indústria de *chips* dos Estados Unidos. O exemplo mais notável é a oferta da Canyon Bridge Partners pela Lattice Semiconductor – que foi rejeitada pelo governo dos Estados Unidos por motivos de segurança nacional. De forma mais geral, existem fundos como o Danhua Capital – agora conhecido como Digital Horizon Capital –, que investiu em 113 empresas americanas envolvidas em setores que o governo chinês sinalizou como prioridades estratégicas. Esses investimentos incluíram firmas em todo o fornecimento de semicondutores, tais como fabricantes de equipamentos a montante e proprietários de propriedade intelectual a empresas a jusante que se especializam em montagem, teste e encapsulamento. Essas fusões e aquisições não foram direcionadas para o desenvolvimento de um *chip* específico, mas incluiu vários elos da cadeia produtiva do setor, desde empresas que se especializam em *chips* de memória até dispositivos mecânicos microeletrônicos e *chips* construídos em materiais que não sejam de silício (Verwey, 2019).

De acordo com Fuller (2019), essa estratégia de promover fusões e aquisições utilizando os fundos chineses tem enfrentado obstáculos crescentes na aquisição de ativos no exterior na indústria de circuitos integrados. Entre 2013 e 2015, os fundos chineses adquiriram várias empresas estrangeiras, todas com matrizes no exterior. Desde então, agências regulatórias estrangeiras bloquearam alguns negócios e implementaram medidas de condicionalidades que atrasaram as aprovações das fusões e aquisições. Na verdade, apenas US\$ 5,3 bilhões de US\$ 43 bilhões de aquisições anunciadas realmente foram realizados em 2015. As próprias *joint-ventures* parecem ser uma manobra para evitar o bloqueio regulatório estrangeiro da aquisição chinesa de ativos da indústria de CIs.

Além da estratégia de fusões e aquisições, outro mecanismo que a China vem adotando é a política de condicionalidades para o investimento direto estrangeiro no setor de semicondutores no país. Muitas empresas internacionais de semicondutores tiveram amplos incentivos para estabelecer operações na China, a fim de aproveitar salários mais competitivos do que em outros países e explorar o forte mercado interno. Agora o governo está impondo condicionalidades para a continuidade dessas firmas no país. A China mantém as políticas mais restritivas de entrada do IDE, e, na maioria dos casos, as empresas de tecnologia que buscam acesso ao mercado na China devem envolver-se em uma *joint venture* com uma firma chinesa. Algumas das condicionalidades são: i) limites de capital estrangeiro e requisitos de *joint-venture*; ii) exigência de transferência de tecnologia; iii) obrigatoriedade de investimento em P&D na China; e iv) exigência de requisitos de desempenho relativos à exportação ou ao uso de conteúdo local (Verwey, 2019).

Devido à importância da China para a cadeia de valor global de eletrônicos e ao tamanho do mercado interno chinês, as empresas de semicondutores dos Estados Unidos aceitam essas restrições enquanto tentam mitigá-las. Como resultado, entre 2014 e 2018, a maioria das empresas de semicondutores líderes nos Estados Unidos envolveu-se em IDE de caráter *greenfield* ou uma *joint-venture* na China.

As condicionalidades para o IDE, somadas às políticas de financiamento nacional chinês, como o Fundo Nacional de Circuitos Integrados e o MIC 2025, incentivaram as corporações multinacionais a estabelecerem *joint ventures* ou expandirem as parcerias existentes. Intel (Estados Unidos), SK Hynix (Coreia do Sul) e Samsung (Coreia do Sul) estão tirando proveito de empréstimos subsidiados do governo chinês para expandirem suas operações existentes na China, enquanto as três principais *foundries* do mundo – GlobalFoundries (Estados Unidos), TSMC (Taiwan) e UMC (Taiwan) – anunciaram sua intenção de abrir novas instalações de fabricação no país. Entretanto, apesar desses consideráveis investimentos, as principais empresas de semicondutores não optaram por transferir para a China suas operações de ponta no país. Na verdade, embora a Intel, a SK Hynix e a Samsung tenham grandes operações dedicadas a atender à demanda do mercado chinês por *chips* de memória, a grande maioria de sua produção avançada ainda ocorre em seu país de origem. Parte da razão para essa decisão é que os semicondutores são geralmente comercializados sem tarifas. Isso significa que, desde que as firmas tenham cadeias de suprimentos bem administradas, o fornecimento de produtos avançados para o mercado chinês a partir de instalações no exterior tem poucos custos adicionais (Verwey, 2019).

Fuller (2019) afirma que o longo processo de políticas voltadas para o desenvolvimento de semicondutores na China trouxe lições para o governo. Primeiro, o volume de recursos necessários será bem mais elevado que as políticas industriais anteriores, com o objetivo de expandir sua base de produção de circuitos integrados e fortalecer suas campeãs nacionais. As estimativas para gastos do governo central variam de 1 trilhão a 1,24 trilhão de RMB. Em segundo lugar, o país deve continuar tentando adquirir tecnologia avançada no exterior, inclusive comprando empresas instaladas no país ou adquirindo firmas estrangeiras em outros mercados para absorver sua tecnologia. O primeiro objetivo seria centrado na fabricação. O segundo se concentraria tanto no *design* quanto na fabricação. Enfatizar essas duas áreas faz sentido, visto que esses são os dois segmentos mais intensivos em tecnologia na cadeia de valor de CIs. A China ainda tem fragilidade na parte superior da cadeia do setor de semicondutores, como concepção e *design* eletrônico, propriedade intelectual, *design* de *chip* e equipamentos de manufaturas avançadas. Dada essa fragilidade, faz sentido que o esboço da nova política coloque esses setores como prioridade. De fato, a história recente mostrou como é difícil entrar nos segmentos de equipamento de capital e EDA, até mesmo para potências emergentes de circuitos integrados. Desde sua ascensão, nas

TEXTO para DISCUSSÃO

décadas de 1980 e 1990, Coreia do Sul e Taiwan não foram capazes de fomentar grandes e competitivos setores de equipamentos de capital de semicondutores, apesar dos esforços do Estado para fazê-lo. Em relação ao desenvolvimento de EDA, as multinacionais americanas dominam essa área, com exceção da Siemens, que adquiriu a Mentor Graphics.

As três novas grandes empresas locais de fabricação, Innotrong, Jinhua Integrated Circuit Company (JHICC) e YMTC, concentram-se nos *chips* de memória. Esses *chips* são produtos de alto volume; portanto, podem atender às demandas das fábricas. Além disso, novos participantes que tiveram êxito no negócio de *chips* de memória têm contado com grandes quantidades de capital, com o objetivo de superar a combinação de ciclos de mercado viciosos. Com os megaprojetos de CIs implantando grandes volumes de capital, com suporte dos fundos nacionais para o setor de semicondutores, os produtores domésticos podem antecipar recursos financeiros que provavelmente serão suficientes para sobreviver a fortes desacelerações do mercado de memória.

A tendência de aumento da participação da China na capacidade de fabricação global é um fato, até mesmo diante de dificuldades e limites no desenvolvimento do setor, em particular com as sanções dos Estados Unidos. Há mais dinheiro disponível do que equipes capazes para liderar novos projetos. Estima-se que os projetos chineses representam 26 das 62 novas fábricas anunciadas em todo o mundo – ou seja, 39,4% das novas fábricas no mundo. No entanto, para além do volume de investimento, um grande desafio para a China é o “capital humano” necessário para esse setor. Os investimentos das multinacionais, de 2004 em diante, dependeram do grande número de engenheiros treinados pela SMIC, porque, de acordo com os planos de construção de fábricas de Richard Chang, a empresa preparou uma força de trabalho muito à frente de suas receitas. À medida que receitas, capacidade e força de trabalho se aproximavam, muitos desses engenheiros foram para as novas fábricas de multinacionais. Hoje, com a intensificação da necessidade de semicondutores na economia global, não há nenhuma grande empresa com situação confortável em relação à oferta de força de trabalho necessária para fornecer outras firmas do setor (Fuller, 2019).

Para Verwey (2019), os esforços do governo chinês para promover uma indústria doméstica de semicondutores comercialmente viável apresentam um sucesso de perfil misto, pois ainda persiste a dependência da China nas importações de semicondutores – como mostrado nos gráficos 23 e 24 –, devido ao aumento do consumo doméstico e à sua centralidade na cadeia de valor da eletrônica global, o que leva o governo a continuar com os planos para apoiar o desenvolvimento de uma indústria local. As diretrizes do Fundo Nacional de Circuitos Integrados, em 2014, o MIC 2025, em 2015, e o 14º Plano Quinquenal, em 2020, representam as tentativas do governo chinês de atingir esse objetivo. Uma revisão da história do planejamento industrial de semicondutores

da China demonstra a tensão contínua entre o planejamento estatal e a capacidade da indústria de competir internacionalmente. Apesar dessa tensão, os planos mais recentes do país, que incorporam lições aprendidas com o passado, têm maior chance de sucesso que qualquer tentativa de desenvolver o setor em períodos anteriores.

Para Li *et al.* (2019), no geral, o futuro da indústria de semicondutores da China parece promissor. No entanto, mais insumos, alocação mais razoável de recursos e melhor gestão da atividade de inovação são necessários em proporções diferentes para cada segmento da cadeia industrial. Com as características de capital intensivo e tecnologia, será um longo processo para a indústria de semicondutores chinesa atingir a taxa de entrada ideal necessária para a eficiência da inovação.

Para Rho, Lee e Kim (2015), mesmo se considerando as limitações do desenvolvimento do setor na China, alguns atores nos sistemas de inovação estão evoluindo à medida que instituições de pesquisa especializadas em semicondutores estão sendo formadas, com universidades e associações industriais destacando-se no desenvolvimento. Um caso que ilustra essa evolução sistemática é o estabelecimento do Shanghai Integrated Circuit Research and Development Center (SICRD). Três pesquisadores de intercâmbio enviados em 1999 ao Europe's Interuniversity Microelectronics Centre (Imec), da Chinese Academy of Sciences, retornaram em 2002 e, enquanto trabalhavam com a Huahong/NEC, lideraram o projeto para construir a matriz da organização. Com esses membros no centro, o SICRD foi formado, em 29 de dezembro de 2002, financiado conjuntamente pelo Grupo Huahong de Xangai (Shanghai's Huahong Group), pela Universidade Fudan (Fudan University), pela Universidade Jiaotong de Xangai (Shanghai Jiaotong University), pela Universidade Normal de Huadong (Huadong Normal University) e pela Xangai Beiling (Shanghai Beiling). Seu centro de pesquisa está com a primeira fábrica de produção da HHNEC, o que facilita a aplicação de tecnologias na fase de produção em massa. Desde 2007, cinquenta pesquisadores, compostos por um terceiro bacharelado, um terceiro mestrado e um terceiro doutorado, empenham-se em P&D de tecnologias de processos iniciais e planejam aumentar sua capacidade de pesquisadores.

Com esses esforços, as patentes de Huahong estão sempre aumentando, e, conforme essas se acumulam, formam parcerias estratégicas de tecnologia com empresas como a Jazz Technology Inc. (Jazz), a Silicon Storage Technology Inc. (SST) e a Cypress Semiconductor Inc. (Cypress), por meio de licenças conjuntas. Conforme a capacidade de P&D de uma firma se fortalece, sua própria capacidade de desenvolvimento de processo torna-se mais resistente, formando, assim, uma base para o *catch-up* de tecnologia. As organizações de P&D fortalecem a capacidade de absorver e digerir tecnologias introduzidas e promovem um *upgrading* na acessibilidade às tecnologias externas dos sistemas. A articulação em torno do investimento em P&D desenvolve processadores de forma independente, embora não na área de alta tecnologia. Ademais, os sistemas de inovação

evoluem à medida que esses tipos de experiências independentes se acumulam. Há um grande número de patentes no setor de fabricação de CIs da China. Essa tendência crescente dos direitos de propriedade intelectual prova indiretamente o fato de que a capacidade dos atores de inovação da China, como organizações internas de P&D de empresas, universidades e instituições de pesquisa, está constantemente aumentando e se tornando mais qualificada. Isso servirá como base para o *indigenous innovation system*, o qual permite ao país sair do nível de importação de instalações e tecnologia simples para desenvolver seus próprios processos e levá-los ao estágio de produção em massa, principalmente no elo superior da cadeia produtiva (Rho, Lee e Kim, 2015).

Portanto, para Rho, Lee e Kim (2015), não obstante a indústria de semicondutores da China ter enfrentado muitos obstáculos em sua busca por *catch-up*, alguns sinais promissores estão surgindo. Em primeiro lugar, a explosão contínua do mercado chinês e sua crescente importância após a crise global atuarão como um fator para pressionar pelo afrouxamento das restrições à transferência de tecnologia para a China. Em segundo lugar, a China pode esperar um fluxo crescente de capital humano equipado com tecnologia de ponta no setor de semicondutores, trabalhando com empresas estrangeiras e educando e treinando seu capital humano em países estrangeiros. Como esses fatores são combinados com a consolidação do sistema de inovação nacional, como capacidades de P&D de empresas nacionais, organizações de pesquisa e universidades, espera-se que a posição da China aumente e o *catch-up* tecnológico se torne mais rápido. Em outras palavras, à medida que a capacidade geral de absorção dos atores na China se eleva, as mudanças e o surgimento de novas gerações de tecnologias podem servir como uma janela de oportunidade para o salto, em vez de uma barreira, como no passado.

Alguns avanços recentes no fortalecimento do potencial de inovação da China relacionados ao setor de semicondutores têm sido observados. A Huawei dobrou de 30% para 60% o percentual de insumos/componentes feitos na fabricação de seus celulares com redes de quinta geração. O aumento é atribuído principalmente a um *display* orgânico de eletroluminescência fabricado pelo grupo chinês BOE Technology, que substituiu um *display* da Samsung Electronics. O componente representa quase 30% do valor geral do *smartphone* (Matsumoto, Ryugen e Kawakami, 2021). Ademais, dados do Cyber Creative Institute mostram que, dos aproximados 20 mil pedidos de patentes concernentes ao 6G em agosto de 2021, 40,3% se originaram da China. Os Estados Unidos ficaram em segundo lugar, com 35,2% (Watanabe, 2021).

Em relatório divulgado em janeiro de 2022, a SIA (2022) mostrou que, em 2017 – cinco anos atrás –, as vendas de dispositivos semicondutores da China foram de US\$ 13 bilhões, o que representou apenas 3,8% das vendas globais de *chips*. Em 2020, no entanto, a indústria chinesa de semicondutores registrou taxa de crescimento anual sem precedentes de 30,6%, atingindo

US\$ 39,8 bilhões em vendas anuais totais. Esse crescimento considerável ajudou a China a capturar 9% do mercado global de semicondutores em 2020, superando Taiwan por dois anos consecutivos e seguindo de perto o Japão e a União Europeia, que detiveram 10% de participação de mercado cada. A SIA (2022) afirma que, se o desenvolvimento de semicondutores da China continuar com esse forte impulso – mantendo 30% de crescimento nos próximos três anos – e assumindo-se que as taxas de crescimento das indústrias em outros países sejam as mesmas, a indústria chinesa de semicondutores poderá gerar US\$ 116 bilhões em receita anual até 2024, capturando mais de 17,4% de participação no mercado global. Isso colocaria a China atrás apenas dos Estados Unidos e da Coreia do Sul em participação de mercado global.

A formação de *joint venture* da China com outros países e empresas para acelerar a fabricação nacional de *chips* também tem apresentado evolução. O governo municipal de Wuxi, uma cidade no leste da província de Jiangsu, fez parceria com a empresa sul-coreana de *chips* de memória SK Hynix, com a finalidade de desenvolver o China-Korea Integrated Circuit Industrial Park. Nesse novo parque industrial de semicondutores, foram anunciados dezenove novos projetos relacionados ao setor, com um investimento inicial de US\$ 4,7 bilhões. Entre esses projetos, a Wuxi Lead Intelligent Equipment Co. (uma empresa principalmente envolvida em P&D, *design*, produção e vendas de equipamentos de automação) investiu ¥ 10 bilhões para construir um instituto de pesquisa de fabricação avançada focado em CIs e novos equipamentos de energia (Qu, 2021).

De fato, na China, como resposta às sanções impostas pelos Estados Unidos, o governo anunciou o 14º Plano Quinquenal (2021-2025), tendo como prioridade o aumento dos gastos em P&D, os investimentos em parques tecnológicos, bem como os programas de compras e financiamento de governo voltados para indústrias de alta tecnologia, tanto no setor de TIC – caso do setor de semicondutores –, na biotecnologia e na energia, quanto no programa espacial e militar. Assim, reafirmou-se a estratégia do país em lograr estruturas produtivas mais densas e diversificadas, dando ao país maior autonomia em sua trajetória de desenvolvimento.

A China importa US\$ 300 bilhões em *chips* de computador por ano e seus esforços para construir uma indústria doméstica de fabricação desses itens até agora produziram resultados pouco satisfatórios. Os *chips* de computador, a tecnologia central da era digital, são uma prioridade para a China em seu plano de cinco anos de US\$ 1,4 trilhão para ultrapassar os Estados Unidos e dominar o setor de semicondutores (Gala e Moreira, 2020).

A China também divulgou que, nos próximos planos quinquenais do país, haverá prioridade na estratégia chamada de Dual Circulation Strategy (Wheatley, 2020), com foco em inovação e tecnologia, como nova estratégia para enfrentar o duelo econômico contra os Estados Unidos.

TEXTO para DISCUSSÃO

Essa nova estratégia tem duas linhas de ação: i) fortalecer o mercado interno; e ii) ampliar o investimento tecnológico.

Varas *et al.* (2020) elencam alguns elementos que apontam para a trajetória ascendente da China no setor de semicondutores.

- 1) A Grande China – incluindo-se Taiwan – é o maior centro global de manufatura de dispositivos eletrônicos. Juntos, os fabricantes locais de equipamentos originais (OEMs) e fabricantes contratados que montam dispositivos projetados por outras empresas sediadas em outros lugares são responsáveis por mais de 60% da produção mundial de eletrônicos de consumo, *smartphones* e PCs. A proximidade com essas empresas, que são o destino final dos componentes a serem montados em dispositivos, pode ser importante para as empresas fabricantes de semicondutores.
- 2) A China e os Estados Unidos são os dois principais países com publicações científicas relacionadas a semicondutores nos últimos dez anos, inclusive muitas publicações em parceria entre os dois países. Ademais, 36% das publicações científicas concernentes a semicondutores publicadas por instituições chinesas foram em coautoria com instituições de outros países – na verdade, os Estados Unidos foram o maior parceiro de pesquisa para instituições chinesas. No caso das publicações de instituições norte-americanas, 60% foram em coautoria com instituições de outros países, sendo a China o maior parceiro, seguida da Alemanha e da Coreia do Sul.
- 3) A China tem investido agressivamente em P&D de semicondutores e atualmente registra o maior número total de documentos de pesquisa acadêmica de semicondutores e patentes anualmente, embora os Estados Unidos ainda sejam a fonte da inovação mais relevante na indústria: com a Europa, apresenta a maior conversão de patentes depositadas em patentes em semicondutores, e o número médio de citações por patente de semicondutor nos Estados Unidos é entre três e seis vezes maior do que para patentes de qualquer outro país no mundo.
- 4) A China é o destino de aproximadamente 35% das remessas de semicondutores, uma vez que muitos dos principais fabricantes de dispositivos eletrônicos do mundo têm seus produtos montados no país – atividade mais a jusante na cadeia de suprimentos de eletrônicos, que é mais intensiva em trabalho e com menor valor agregado, mas corrobora para a construção e a consolidação das capacidades internas.
- 5) A China é responsável por aproximadamente 24% do consumo global de semicondutores, o que a torna o segundo maior mercado do mundo, quase no mesmo nível dos Estados Unidos. Sua posição como o maior centro de manufatura mundial de dispositivos eletrônicos – para empresas chinesas e estrangeiras – também torna o país o principal destino das exportações de *chips* acabados. Além disso, a China está investindo agressivamente na fabricação de semicondutores: esta respondeu por 15% da capacidade total do mundo em 2020 e tem previsão de construir 40% da capacidade incremental que será adicionada globalmente na próxima década.

- 6) A China exerce papel estratégico em áreas que poderiam impactar direta ou indiretamente a cadeia de suprimentos de semicondutores, como materiais de terras raras e dez outros insumos essenciais, a exemplo de germânio, lítio ou tungstênio. Terras raras são um conjunto de dezessete elementos metálicos com propriedades eletrônicas e magnéticas necessárias em produtos eletrônicos. Embora esses materiais respondam por apenas uma pequena parte dos custos gerais de produção, estes são os blocos de construção de componentes-chave em carros, computadores e muitos outros produtos de alto valor – e são uma vulnerabilidade frequentemente esquecida nas cadeias de suprimentos globais. A China lidera na extração de nove dos dezessete insumos de matérias-primas críticas e no refino de quatorze destes. Como as terras raras são comercializadas em mercados de *commodities*, as restrições às exportações da China seriam sentidas por toda a cadeia de abastecimento e poderiam interromper a produção global de dispositivos eletrônicos e, portanto, diminuir a demanda por semicondutores.
- 7) Projeta-se que, durante a próxima década, a China adicionará cerca de 40% da nova capacidade e se tornará o maior local de fabricação de semicondutores do mundo. O principal fator por trás dessa tendência é a economia: o custo total de dez anos de propriedade de uma nova fábrica localizada nos Estados Unidos é aproximadamente 25% a 50% maior que na Ásia, e 40% a 70% dessa diferença é atribuível diretamente a incentivos governamentais. Na China, com o MIC 2025 e o 14º Plano Quinquenal, a tendência é a política de incentivos e subsídios fortalecer-se, com a finalidade de consolidar o papel das empresas nacionais como líderes no setor de semicondutores.

6 CONCLUSÃO

A ascensão da economia chinesa, com crescimento elevado e profunda transformação estrutural, alçou o país a uma nova condição em seu estágio de desenvolvimento econômico, superando a armadilha da renda média. Com o arrefecimento do crescimento econômico nos últimos anos e as sanções impostas pelos Estados Unidos ao país em setores considerados estratégicos – como o caso de semicondutores –, um dos principais elementos do debate é se a China manterá um ritmo de crescimento econômico, considerado elevado e se superará essa limitação ao desenvolvimento do setor de semicondutores; cadeia produtiva esta que se tornou fundamental para maior adensamento e diversificação da cadeia produtiva de um setor considerado estratégico para a China, como é o caso do setor de eletroeletrônico, no qual o de semicondutores está inserido e que se tornou um dos setores mais estratégicos na economia mundial, principalmente diante da crise da pandemia de covid-19.

As experiências de outras nações de superação da armadilha da renda média – como Coreia do Sul e Taiwan –, ponto de vista da corrente de pensamento neoschumpeteriana, teve como uma das principais estratégias a inovação tecnológica. O avanço tecnológico constitui-se como força

TEXTO para DISCUSSÃO

motora e catalisadora da geração e do apoio aos investimentos no novo capital físico e humano; dimensões essenciais para uma trajetória de crescimento sustentável, associada a profundas transformações estruturais de um país.

A partir dessa perspectiva, utilizando-se um arcabouço teórico do ciclo de vida do produto e do SSI, ficou em evidência que a inovação tecnológica e os novos paradigmas tecnológicos são fundamentais para o *catch-up* tecnológico, principalmente se considerando países de industrialização tardia. A construção da curva de aprendizagem, que cria capacidade de absorção de conhecimento, investe no desenvolvimento tecnológico e no ensino superior, os quais são mais eficazes na geração de crescimento para os países de renda média alta e alta.

Para que um país de industrialização tardia possa otimizar as janelas de oportunidades que as novas fronteiras tecnológicas abrem, é essencial que esse país tenha capacidades internas construídas. O termo central sobre *upgrading* tecnológico e aprendizado nos países de *catching-up* é a capacidade de absorção, ou seja, a capacidade de uma empresa de identificar, absorver e entender o conhecimento técnico que permite a introdução de produtos e processos novos para a empresa, criando, assim, as condições para a apropriabilidade do conhecimento. A capacidade dos países retardatários de criarem estoque local de conhecimento, ou seja, o grau de difusão de conhecimento intranacional e intrafirma é proporcional ao nível de capacidade tecnológica do país, embora também seja afetada pelas diferenças organizacionais entre as empresas.

A relação entre os atores envolvidos nesse processo (empresas nacionais, empresas estrangeiras, governo e universidades) é essencial na construção e na implementação das estratégias de inovação tecnológica.

A China, no período recente, vem fortalecendo seu SNI, principalmente com o objetivo de fortalecer o chamado *indigenous innovation* e *indigenous capabilities*, cuja finalidade é reduzir a dependência externa e fortalecer a capacidade interna/nacional de inovação. Para isso, o MIC 2025 e o 14º Plano Quinquenal constituem-se como projetos nacionais de desenvolvimento, que colocam a questão da soberania nacional como fator primordial, particularmente ao reconhecerem o papel da tecnologia como fator-chave.

Em relação ao setor de semicondutores, após as sanções impostas pelos Estados Unidos às empresas chinesas, a necessidade de fortalecer o potencial tecnológico nacional ficou mais nítido ainda. A China, embora seja um *player* na economia internacional no setor de semicondutores, ainda opera com maior proeminência na cadeia produtiva menos intensiva em tecnologia (montagem e ATS), com pouca importância nos setores mais complexos tecnologicamente (EDA e IP) e em equipamentos semicondutores e de fabricação de *wafers*. Entretanto, os indicadores também

apontam para uma relevante evolução da China na produção de semicondutores no elo da cadeia produtiva de *front end*, principalmente com empresas nacionais (*indigenous companies*), figurando entre as dez principais empresas de semicondutores no país.

Vários indícios apontam para a capacidade chinesa de superar as sanções impostas pelos Estados Unidos. Dessa forma, constroem-se suas bases locais e nacionais de desenvolvimento do setor de semicondutores na cadeia de valores, incrementa-se sua capacidade de operar mais nas fases chamadas pré-competitiva, como *design*, além também de que se fortalece sua participação no setor de equipamentos.

Vários projetos com volumes de recursos vultuosos têm sido anunciados pelo governo chinês, em parceria com empresas nacionais, direcionados para o processo de aceleração do crescimento e amadurecimento do SNI do país, voltado para o setor de semicondutores. Conta a favor da China seu potencial mercado interno como um elemento-chave para fortalecer a demanda pelos seus produtos, além de ser também um fato estratégico na formação de *joint venture* com empresas estrangeiras que são obrigadas a transferir tecnologia. Esse fato se mostra tão relevante que o governo chinês anunciou a chamada Dual Circulation Strategy como parte do 14º Plano Quinquenal, colocando a inovação e o mercado interno como duas dimensões bases do desenvolvimento econômico chinês. Tudo indica que a superação da dependência da China no setor de semicondutores, portanto, é apenas uma questão de tempo.

REFERÊNCIA

AMSDEN, A.; CHU, W.-W. **Beyond late development: Taiwan's upgrading policies**. Cambridge: MIT Press, 2003.

BACKER, K.; MANCINI, M.; SHARMA, A. Optimizing back-end semiconductor manufacturing through Industry 4.0. **McKinsey & Company**, 16 Feb. 2017. Disponível em: <<https://mck.co/3BOoG6j>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

BLANCHARD, B.; GHOSH, S. TSMC to invest \$100 billion over 3 years to meet chip demand. **Reuters Staff**, 13 Mar. 2021. Disponível em: <<https://reut.rs/3lbKk6B>>.

DUFFY, C. Intel investing \$20 billion in new US chipmaking plants as part of turnaround plan. **CNN Business**, 25 Mar. 2021. Disponível em: <<https://cnn.it/35fJAPm>>.

FREEMAN, C. **Technology policy and economic performance: lessons from Japan**. New York: Frances Printer Publisher, 1987.

FU, X. **China's path to innovation**. Cambridge: Cambridge University Press; University Printing House, 2015.

FULLER, D. B. Growth, upgrading, and limited catch-up in China's semiconductor industry. *In*: BRANDT, L.; RAWSKI, T. G. (Ed.). **Policy, regulation and innovation in China's electricity and telecom industries**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. p. 262-303.

GALA, P.; MOREIRA, U. O plano da China de U\$1,4 trilhão para dominar a indústria mundial de semicondutores até 2025. **Paulo Gala.com**, 16 dez. 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/35gUww6>>.

GILL, C. CCP announces plan to take control of China's private sector. **Asia Financial**, 17 Sept. 2020a. Disponível em: <<https://bit.ly/3v6sNcr>>.

_____. China's semiconductor firms hit hard by sanctions. **Asia Financial**, 26 Aug. 2020b. Disponível em: <<https://bit.ly/3LLtg9X>>.

GIL, I; KHARAS, H. (Eds.). **An East Asian renaissance**: ideas for economic growth. Washington: IBRD; The World Bank, 2007.

GOLDMAN, D. P. Huawei sanctions will destroy US chip industry. **Asia Times**, 4 Sept. 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3vfTwTV>>.

GUTIERREZ, R. M. V.; LEAL, C. F. C. Estratégias para uma indústria de circuitos integrados no Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 19, p. 3-22, mar. 2004. Disponível em: <<https://bit.ly/3v8AK00>>. Acesso em: 15 jun. 2021

HARTMANN, D. *et al.* **International trade, development traps, and the core-periphery structure of income inequality**. Stuttgart: University of Hohenheim, 2019. (Hohenheim Discussion Papers in Business, Economics and Social Sciences).

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design principles for industrie 4.0 scenarios**: a literature review. Gallen: Business Engineering Institute St., 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3HkqfK6>>. Acesso em: 10 set. 2017.

HERRIGEL, G. The process of chinese manufacturing upgrading transitioning from unilateral to recursive mutual learning relations. **Global Studies Journal**, v. 3, n. 1, p. 109-125, 2013.

HIDALGO, C. A.; HAUSMANN, R. The building blocks of economic complexity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 26, p. 10570-10575, 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/33RHHrW>>.

JABBOUR, E. **China socialismo e desenvolvimento**: sete décadas depois. 2. ed. São Paulo: Anita Garibaldi, 2020.

JAEWON, K. South Korea plans to invest \$450bn to become chip 'powerhouse'. **Nikkei Asia**, 13 May 2021. Disponível em: <<https://s.nikkei.com/3p8wjz5>>.

JAMRISKO, M.; LU, W.; TANZI, A. South Korea leads world in innovation: U.S. drops out of top 10. **Bloomberg**, 3 Feb. 2021. Disponível em: <<https://bloom.bg/3s7781T>>.

KHARAS, H.; KOHLI, H. What is the middle income trap, why do countries fall into it, and how it can be avoided? **Global Journal of Emerging Markets**, v. 3, n. 3, p. 281-289, 2011.

KIM, L. **Da Imitação à inovação**: a dinâmica do aprendizado tecnológico da Coreia. Campinas: Editora da Unicamp, 2005.

KONG, X.-X.; ZHANG, M.; RAMU, S. C. China's semiconductor industry in global value chains chains. **Asia Pacific Business Review**, v. 22, n. 1, p. 150-164, 2014.

LEAL, R. C. S.; LIMA, U. M.; FILGUEIRAS, V. A. A Indústria 4.0 e o debate acerca dos seus impactos sobre o emprego. **Revista Princípios**, n. 150, set./out. 2017.

LEE, K. **Schumpeterian analysis of economic catch-up**: knowledge, path creation, and the middle income trap. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

LEE, K.; GAO, X.; LI, X. Assessing industrial catch-up in China: a sectoral systems of innovation perspective. **Cambridge Journal of Regions Economy and Society**, v. 10, n. 1, p. 59-76, 2017.

LEE, K.; JEE, M.; EUN, J.-H. Assessing China's economic catch-up at the firm level and beyond: Washington Consensus, East Asian consensus and the Beijing model. **Industry and Innovation**, v. 18, n. 5, p. 487-507, July 2011.

LEE, K.; KIM, B.-Y. Both institutions and policies matter but differently at different income groups of countries: determinants of long run economic growth revisited. **World Development**, v. 37, n. 3, p. 533-549, 2009.

LEE, K.; LEE, J. National innovation systems, economic complexity, and economic growth: country panel analysis using the US patent data. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 30, p. 897-928, 2019.

LEE, K.; LIM, C. Technological regimes, catch ing up and leapfrogging: findings from the Korean industries. **Research Policy**, v. 30, n. 3, p. 459-483, 2001.

LEE, K.; MALERBA, F. Catch-up cycles and changes in industrial leadership: windows of opportunity and responses by firms and countries in the evolution of sectoral systems. **Research Policy**, v. 46, n. 2, p. 338-351, Mar. 2016.

LEE, K.; LIM, C.; SONG, W. Emerging digital technology as a window of opportunity and technological leapfrogging. **Journal of Technology Management**, v. 29, n. 1-2, p. 40-63, 2005.

LEE, K.; MANI, S.; MU, Q. Explaining divergent stories of catch-up in the telecommunication equipment industry in Brazil, China, India, and Korea. *In*: MALERBA, F.; NELSON, R. R. (Ed.). **Economic development as a learning process**. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2012.

LI, H. *et al.* Innovation efficiency of semiconductor industry in China: a new framework based on generalized three-stage DEA analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 66, p. 136-148, June 2019.

LI, L. China's manufacturing locus in 2025: with a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0". **Technological Forecasting & Social Change an International Journal**, v. 135, p. 66-74, Oct. 2018.

LI, L.; TING-FANG, C. Inside the US campaign to cut China out of the tech supply chain. **Nikkei Asia**, 7 Oct. 2020. Disponível em: <<https://s.nikkei.com/3HfgUDf>>.

LUNDVALL, B.-Å. **National systems of innovation**: toward a theory of innovation and interactive learning. London: Frances Pinter, 1992.

MALERBA, F. **Sectoral systems of innovation**: concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

MALERBA, F.; MANI, S. **Sectoral systems of innovation and production in developing countries**: actors, structure and evolution. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2009.

MALERBA, F.; NELSON, R. Learning and catching up in different sectoral systems: evidence from six industries. **Industrial and Corporate Change**, v. 20, n. 6, p. 1645-1675, 2011.

MATSUMOTO, N.; RYUGEN, H.; KAWAKAMI, T. Chinese components double to 60% in new Huawei smartphone. **Nikkei Asia**, 31 Aug. 2021. Disponível em: <<https://s.nikkei.com/3hfgDik>>.

MAZZOLENI, R.; NELSON, R. N. Public research institutions and economic catch-up. **Research Policy**, v. 36, n. 10, p. 1512-1528, Dec. 2007.

MORRIS, P.R. **A history of the world semi-conductor industry**. London: The Institution of Engineering and Technology, 2008.

MU, Q.; LEE, K. Knowledge diffusion, market segmentation and technological catch-up: telecommunication industry in China. **Research Policy**, v. 34, n. 6, p. 759-783, 2005.

NELSON, R. **National innovation systems**: a comparative analysis. New York: Oxford University Press, 1993.

POSNER, M. V. International trade and technical change. **Oxford Economic Papers**, v. 13, n. 3, p. 323-341, 1961.

POULTON, J. An embedded Dram for CMOS Asics. *In*: CONFERENCE ON ADVANCED RESEARCH IN VLSI, 17. **Annals**... 15 Sept. 1997. Disponível em: <<https://is.gd/YYvVsP>>. Acesso em: 5 maio 2021.

PWC – PRICE WATERHOUSE COOPERS. **PwC|China's impact on the semiconductor industry**: 2016 update. New York: PWC, 2017.

QU, T. New China-Korea semiconductor industrial complex starts construction amid Beijing's push for tech self-reliance. **South China Morning Post**, 8 Oct. 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/33Ppew8>>.

RASIAH, R. *et al.* Explaining variations in semiconductor catch-up strategies in China, Korea, Malaysia and Taiwan. *In*: MALERBA, F.; NELSON, R. R. (Ed.). **Economic development as a learning process**. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2012.

RIVERA, R. *et al.* Microeletrônica: qual é a ambição do Brasil? **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 41, p. 345-396, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3IgHNZ6>>. Acesso em: 20 abr. 2021

RHO, S.; LEE, K.; KIM, S. H. Limited catch-up in China's semiconductor industry: a sectoral innovation system perspective. **Millennial Asia**, v. 6, n. 2, p. 147-175, 2015.

SCHILLER, D.; LEE, K. Are university-industry links meaningful for catch up? A comparative analysis of five Asian countries. *In*: ALBUQUERQUE, E. *et al.* (Ed.). **Developing national systems of innovation**. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2015. p. 55-92.

SHUJING, H.; YELIN, M. In depth: China creates new memory chip champ, but will customers come? **Caixin Global**, 17 Aug. 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/353pecr>>.

SIA – SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION. **China's share of global chip sales now surpasses Taiwan's, closing in on Europe's and Japan's**. 10 Jan. 2022. Disponível em: <<https://is.gd/R6p8UY>>. Acesso em: 24 abr. 2022

SONAGLIO, C. M.; MISSIO, F.; PEREIRA, H. C. I. A armadilha da renda média: trajetória brasileira e apreciações críticas. **Revista Debate Econômico**, v. 4, n. 2, p. 6-34, jul./dez. 2016.

TING-FANG, C.; LI, L. Huawei enlists army of European talent for 'battle' with US. **Nikkei Asia**, 2 July 2021. Disponível em: <<https://s.nikkei.com/3JluVuW>>.

UNITED STATES. The White House. **Fact sheet**: Biden-Harris administration announces supply chain disruptions task force to address short-term supply chain discontinuities. Washington: The White House, 8 June 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3veKGFx>>.

VARAS, A. *et al.* **Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era**. Washington: SIA; Boston: BCG, Apr. 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3t1uXHO>>. Acesso em: 20 maio 2021

VERWEY, J. **Chinese semiconductor industrial policy**: past and present. Washington: USITC, July 2019. (Journal of International Commerce and Economics). Disponível em: <<https://bit.ly/3BN6F89>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

WADE, R. O papel do Estado em escapar da armadilha da renda média: em defesa da política industrial inteligente. *In*: CASTRO, A. C.; FILGUEIRAS, F. (Ed.). **O Estado no século XXI**. Brasília: Enap, 2018.

WANG, J.; WU, H.; CHEN, Y. Made in China 2025 and manufacturing strategy decisions with reverse QFD. **International Journal of Production Economics**, v. 224, 2020.

WATANABE, N. China accounts for 40% of 6G patent applications: survey. **Nikkei Asia**, 16 Sept. 2016. Disponível em: <<https://is.gd/yXheAb>>.

WHEATLEY, A. China circulates new strategy in economic duel with US. **Asia Financial**, 5 Sept. 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3v4Ltcr>>.

XIWEI, Z.; XIANGDONG, Y. Science and technology policy reform and its impact on China's national innovation system. **Technology in Society**, v. 29, n. 3, p. 317-325, 2007.

ZAGATO, L. *et al.* **A armadilha da renda média e os obstáculos à transformação estrutural**: a curva S da complexidade econômica. São Paulo: EESP/FGV, 2019. (Working Paper, n. 508).

ZENGLEIN, M. J.; HOLZAMNN, A. **Evolving Made in China 2025**: China's industrial policy in the quest for global tech leadership. Berlin: Merics, July 2019. (Merics Papers on China, n. 8). Disponível em: <<https://bit.ly/3hbRMCT>>.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

LIN, J. Y. **Demystifying the Chinese economy**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

MOREIRA, U. Tendências da dinâmica do comércio mundial pós-covid-19. **Revista Princípios**, n. 160, p. 60-87, nov. 2020/fev. 2021.

PEREZ, C.; SOETE, L. Catching-up in technology: entry barriers and windows of opportunity. *In*: DOSI, G. *et al.* (Ed.). **Technical change and economic theory**. London: Pinter Publishers, 1988. p. 458-479.

SIA – SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION. **2020**: state of the U.S. semiconductor industry. Washington: SIA, 2020. Disponível em: <<https://is.gd/MPEvcw>>. Acesso em: 5 abr. 2021.

VERNON, R. International investment and international trade in the product cycle. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 80, n. 2, p. 190-207, May 1966.

ZHOU, Y.; HSU, J.-Y. Divergent engagements: roles and strategies of Taiwanese and mainland Chinese returnee entrepreneurs in the IT industry. **Global Networks**, v. 11, n. 3, p. 398-419, 2011.

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

EDITORIAL

Chefe do Editorial

Aeromilson Trajano de Mesquita

Assistentes da Chefia

Rafael Augusto Ferreira Cardoso

Samuel Elias de Souza

Supervisão

Camilla de Miranda Mariath Gomes

Everson da Silva Moura

Revisão

Alice Souza Lopes

Amanda Ramos Marques

Ana Clara Escórcio Xavier

Clícia Silveira Rodrigues

Idalina Barbara de Castro

Olavo Mesquita de Carvalho

Regina Marta de Aguiar

Reginaldo da Silva Domingos

Brena Rolim Peixoto da Silva (estagiária)

Nayane Santos Rodrigues (estagiária)

Editoração

Anderson Silva Reis

Cristiano Ferreira de Araújo

Danielle de Oliveira Ayres

Danilo Leite de Macedo Tavares

Leonardo Hideki Higa

Capa

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Projeto Gráfico

Aline Cristine Torres da Silva Martins

The manuscripts in languages other than Portuguese published herein have not been proofread.

Missão do Ipea

Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.



NAÇÕES UNIDAS

CEPAL

ipea

Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

