

ENZO ZIRAVELLO ELIAS COELHO

Os impactos da escassez da oferta de microchips nos mercados globais e o papel do estado brasileiro na mitigação de riscos e industrialização.

Monografia de Bacharelado em Ciências Econômicas

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária

PUC – São Paulo

Maio/2025

ENZO ZIRAVELLO ELIAS COELHO

Os impactos da escassez da oferta de microchips nos mercados globais e o papel do estado brasileiro na mitigação de riscos e industrialização.

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora do Departamento de Economia, como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas, elaborada sob a orientação da Professora Dra. Cristina Helena Pinto de Mello.

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária
PUC – São Paulo
Maio/2025

Esta monografia foi examinada pelos professores abaixo relacionados e aprovada com nota final _____ (_____). Nomes legíveis dos examinadores (orientador e demais membros da banca)

Autorizo a disponibilização desta monografia na Biblioteca da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária da PUC - São Paulo para consulta pública e utilização como referência bibliográfica, mas sua reprodução total ou parcial somente pode ser feita mediante autorização expressa do autor, nos termos da legislação vigente sobre direitos autorais. São Paulo, _____ de _____ de _____ Assinatura:

RESUMO

A presente monografia de Ciências Econômicas realiza uma análise crítica sobre os impactos da escassez global de semicondutores nos mercados internacionais, com especial atenção ao papel do Estado brasileiro na mitigação de riscos e na indução à industrialização do setor. Partindo do contexto da crise deflagrada pela pandemia de Covid-19, que revelou a fragilidade das cadeias produtivas globais, o estudo evidencia como os microchips se tornaram peças centrais da economia digital, afetando setores estratégicos como automotivo, saúde, defesa e tecnologia da informação. A pesquisa investiga a posição do Brasil na cadeia global de valor dos semicondutores e explora as limitações da política industrial nacional frente às potências tecnológicas. A partir do benchmarking com países como Taiwan, propõe-se uma reflexão sobre caminhos viáveis para o desenvolvimento tecnológico brasileiro. Conclui-se que uma política industrial robusta e articulada, com foco em inovação, infraestrutura e educação técnica, é essencial para a redução da dependência externa e fortalecimento da soberania econômica.

Palavras-chave: Economia global. Semicondutores. Microchips. Cadeias globais. Política industrial. Tecnologia. Brasil.

ABSTRACT

This Economics monograph presents a critical analysis of the global semiconductor shortage and its impact on international markets, focusing more specifically on the role of the Brazilian State in risk mitigation and the promotion of industrialization within the sector. Starting from the crisis of the Covid-19 pandemic, which exposed the fragility of global supply chains, this study highlights how microchips have become central components of the digital economy, affecting multiple strategic sectors such as automotive, healthcare, defense, and information technology. It also aims to investigate Brazil's position in the global semiconductor value chain and explores the limitations of its industrial policy in comparison to technological powerhouses. Through comparison with countries like Taiwan, the work reflects on viable pathways for Brazil's technological development. The study leads to the conclusion that a robust and coordinated industrial policy, focused on innovation, infrastructure, and technical education, is essential to reduce external dependence and strengthen economic sovereignty.

Keywords: Global economy. Semiconductors. Microchips. Global supply chains. Industrial policy. Technology. Brazil.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Participação das importações e exportações no consumo doméstico por região e categoria em 2019	8
Tabela 2. Distribuição da receita global por país na indústria de semicondutores em bilhões de dólares, 2023	10
Tabela 3. Produção e reserva de Silício em 2020 (em milhares de toneladas métricas) por região.....	15
Tabela 4. Concentração e diversidade de países nas etapas da cadeia produtiva de microchips	18
Tabela 5. Participação de mercado e crescimento das vendas de smartphones por fabricante em 2020 e 2021	24
Tabela 6. Investimentos em P&D como Percentual da Receita por Setor da Indústria (S&P 500, dados de 20 anos).....	29
Tabela 7. Principais produtos eletrônicos exportados pelo Brasil (2010–2015).....	31
Tabela 8. Principais produtos eletrônicos importados pelo Brasil (2010-2015).....	32
Tabela 9. Balança comercial brasileira de produtos eletrônicos: exportações e importações (2010–2015).....	33
Tabela 10. Riscos globais de curto prazo (2 anos) e de longo prazo (10 anos) por gravidade	46
Tabela 11. Risco de perda nos diferentes estágios em que os investimentos são feitos (%) ...	48
Tabela 12. Ano de fundação e obtenção do monopólio da emissão monetária pelos bancos centrais de diversos países	
Tabela 13. Resultado Primário do Governo Central – Brasil – Anual (2010–2015).....	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Lei de Moore: O número de transistores em microchips dobra a cada dois anos.....	6
Gráfico 2. Participação por país nas vendas de materiais para fabricação de wafers em 2022	11

Gráfico 3. Participação por país nas vendas de máquinas para fabricação de semicondutores em 2021	12
Gráfico 4. Vendas e compras de equipamentos para fabricação de semicondutores por regiões em bilhões de dólares, 2021	13
Gráfico 5. Fábricas de wafers com início de operações entre janeiro de 2022 e dezembro de 2024, por sede da empresa e localização da fábrica	14
Gráfico 6. Produção e reservas mundiais de gálio em 2020 em quilogramas	17
Gráfico 7. Participação da demanda global por semicondutores por setor de uso final em 2020	20
Gráfico 8. Fluxo comercial brasileiro de componentes semicondutores (2000–2015).....	30
Gráfico 9. Participação de máquinas elétricas e semicondutores nas exportações totais de Taiwan (2003–2018).....	41
Gráfico 10. Estágios de investimento do capital de risco	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma da cadeia de valor de semicondutores.....	9
Figura 2. Tempo gasto por etapa da cadeia produtiva	22
Figura 3. O modelo de Economia Donut	54

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
1. PANORAMA HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DO MICROCHIP.....	4
1.1 Aumento da capacidade de processamento e importância do microchip	4
1.2. Microchip, cadeias globais de produção e polícrise	7
1.3. A crise de semicondutores durante a pandemia	18
2. BRASIL INSERIDO NAS NOVAS CADEIAS GLOBAIS DE PRODUÇÃO E CONSUMO E MITIGAÇÃO DE RISCO	26
2.1. Participação do Brasil na exportação e importação de semicondutores.....	26
2.2. Mitigação de risco e limitação de danos em eventual escassez.....	34
3. PERSPECTIVAS DA NOVA POLÍTICA INDUSTRIAL PARA O USO DE MICROCHIP E O PAPEL DO ESTADO	39
3. 1. Estudando o sucesso industrial de Taiwan	39
3. 2. O papel do Estado	46
3. 3. Perspectivas da nova política industrial para o uso de microchip.....	59
4. CONCLUSÕES E REFLEXÕES FINAIS	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

INTRODUÇÃO

A presente monografia tem como objetivo analisar os impactos da escassez global de semicondutores nos mercados internacionais e entender qual é, ou poderia ser, o papel do Estado brasileiro na mitigação de riscos e na formulação de políticas públicas voltadas à industrialização do setor. A partir da articulação entre dados econômicos, estudos de caso internacionais, relatórios técnicos e análises históricas, a pesquisa busca entender como o Brasil pode reduzir sua dependência externa e avançar em direção a uma política industrial mais robusta e estratégica.

A pergunta central que orienta o trabalho é: dado o contexto atual de concentração produtiva e risco sistêmico nas cadeias globais de semicondutores, quais medidas o Brasil pode adotar para proteger setores estratégicos da economia e, ao mesmo tempo, fomentar o desenvolvimento de uma indústria nacional sólida?

A metodologia utilizada parte de uma análise qualitativa fundamentada em benchmarking entre experiências internacionais (com destaque para Taiwan), dados econômicos atualizados, documentos de instituições oficiais e literatura especializada. A abordagem é crítica, investigando não apenas a posição atual do Brasil na cadeia produtiva de semicondutores, mas também os obstáculos estruturais e as oportunidades estratégicas que podem ser aproveitadas no cenário geopolítico e econômico atual.

O trabalho está dividido em três capítulos. O primeiro trata da evolução histórica e técnica dos microchips, suas aplicações e os efeitos sistêmicos da escassez global. O segundo capítulo foca no Brasil: sua posição na cadeia de valor, as vulnerabilidades estruturais e as tentativas de mitigação de risco. Por fim, o terceiro capítulo se debruça sobre o caso de Taiwan

como modelo de política industrial bem-sucedida e discute como suas estratégias poderiam, com as devidas adaptações, inspirar uma reorientação do projeto de industrialização nacional.

A transformação digital acelerada das últimas décadas consolidou o microchip como uma das engrenagens centrais da economia global. Presente em praticamente todos os dispositivos eletrônicos, de celulares a equipamentos militares, o semicondutor deixou de ser apenas uma peça técnica para se tornar um elemento estratégico de soberania econômica e geopolítica. Em meio a essa realidade, a pandemia de Covid-19 escancarou uma crise que já vinha se desenhando: a escassez global de semicondutores. O colapso nas cadeias de produção e abastecimento gerou impacto direto em mais de 169 indústrias, desacelerou o crescimento econômico de grandes potências e acendeu um alerta em governos e empresas sobre a dependência excessiva de regiões específicas e a falta de planejamento estrutural para momentos de crise.

O mercado de microchips é complexo, fragmentado e marcado por uma forte concentração de etapas críticas em determinados países. Estados Unidos, China, Coreia do Sul e Taiwan são protagonistas em distintas partes da cadeia produtiva, do design à montagem. Essa hiperconcentração, somada à alta especialização técnica exigida, torna o setor vulnerável a interrupções. Como consequência, crises sanitárias, políticas ou mesmo desastres naturais tornam-se fatores com potencial de paralisar a produção global. Em 2021, o U.S. Department of Commerce estimou que o impacto da escassez no PIB global ultrapassou 1%, com perdas superiores a US\$ 240 bilhões apenas nos Estados Unidos.

Neste contexto, o Brasil surge como um país com baixa inserção na cadeia global de valor de semicondutores, com dependência crônica de importações para suprir seu mercado interno. Apesar de possuir reservas minerais estratégicas (como o Silício), e contar com algumas iniciativas pontuais de pesquisa e produção, o país ainda está distante de uma posição de relevância. A vulnerabilidade brasileira se reflete em crises como a paralisação da produção do Chevrolet Onix em 2021, e na dificuldade de abastecer setores estratégicos, como o bélico e o de saúde, em momentos críticos.

O objetivo desta monografia é analisar os impactos da escassez global de semicondutores nos mercados internacionais e avaliar o papel do Estado brasileiro na mitigação de riscos e na formulação de políticas públicas que incentivem a industrialização do setor. Para

tanto, o trabalho abordará o funcionamento da cadeia global de microchips, a crise deflagrada pela pandemia, a inserção do Brasil nesse cenário e os caminhos possíveis para reduzir vulnerabilidades futuras. A partir da articulação entre dados econômicos, evidências históricas e estratégias adotadas por outros países, será possível compreender quais oportunidades o Brasil ainda pode aproveitar e quais riscos corre caso permaneça inerte.

1. PANORAMA HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DO MICROCHIP

1.1 Aumento da capacidade de processamento e importância do microchip

Durante a pandemia, a economia global sofreu com a escassez de oferta de um componente eletrônico que impactou fortemente os mercados internacionais: o semicondutor. Uma peça que pode ser tão pequena quanto a unha de um dedo, mas que desempenha um papel de suma importância em todos os eletrônicos de nossa sociedade digitalizada. O microchip está presente desde computadores, carros, eletrodomésticos, celulares, servidores até equipamentos militares e maquinários de fábrica.

Já na década de 80, Ricardo Brinco (1989, p.1) ressalta o seguinte ponto sobre o semicondutor:

“De fato, virou lugar-comum falar da crescente difusão da microeletrônica como uma tendência inelutável. Tal movimento materializa-se sob a forma de um marcante processo de convergência tecnológica, com consequências decisivas no plano econômico e que são convenientemente espelhadas pela intensificação da interdependência entre as dinâmicas setoriais. “

Deste modo, não é mais possível analisar a conjuntura macroeconômica global sem contabilizar a relevância explícita do mercado de intangíveis (como a inteligência artificial) e do mercado de eletrônicos e componentes eletrônicos. Tão intensa e caótica é a evolução dos semicondutores que existe a Lei de Moore; o número de transistores em um processador dobra aproximadamente a cada dois anos ((MATHIEU; RITCHIE; ROSER, 2023)). Para que seja possível, assim, compreender a relevância e impacto do microchip na economia brasileira e global, é válido abordar brevemente a evolução e o que é essa peça tão pequena e relevante.

O microchip é feito de elementos puros, tipicamente composto por silicone, germânio ou compostos como arseneto de gálio (SIA, 2021). A escolha do material tem a ver com a sua condutividade; não conduz eletricidade tão bem quanto metais, por instância, mas o suficiente para que haja o fluxo de energia quando necessário. Isso torna o semicondutor versátil para que possa ser ativado ou desativado a qualquer momento, possibilitando a capacidade de processamento.

Desde sua criação, os elementos que compõem o chip não têm tido grandes mudanças. Então, afinal, o que muda nos semicondutores ano após ano que geram uma revolução na produtividade de tantos setores? A resposta é simples: quanto mais transistores na placa, maior a capacidade de processamento. Doravante, quanto menor o transistor presente no microchip, mais você pode colocar em um microchip e aumentar a capacidade de processamento. O transistor simplesmente amplifica ou rejeita o sinal elétrico que por ele passa. Dependendo da corrente, o que é processado muda.

Na década de 70, o tamanho dos transistores em placas era de aproximadamente 10.000 nanômetros, conforme o gráfico 1. Hoje, há uma corrida comercial e tecnológica entre diversos países (entre eles EUA, China e Coreia do Sul) para que criem transistores tão pequenos quanto uma molécula de DNA. No momento, os Estados Unidos se encontram na frente da China com a Apple, que acaba de criar um microchip de 5 nanômetros (APPLE, 2023), o “M2 Ultra”. Com um transistor tão pequeno quanto o mencionado, é possível aglomerar mais de 134 bilhões (APPLE, 2023) em um único semicondutor.

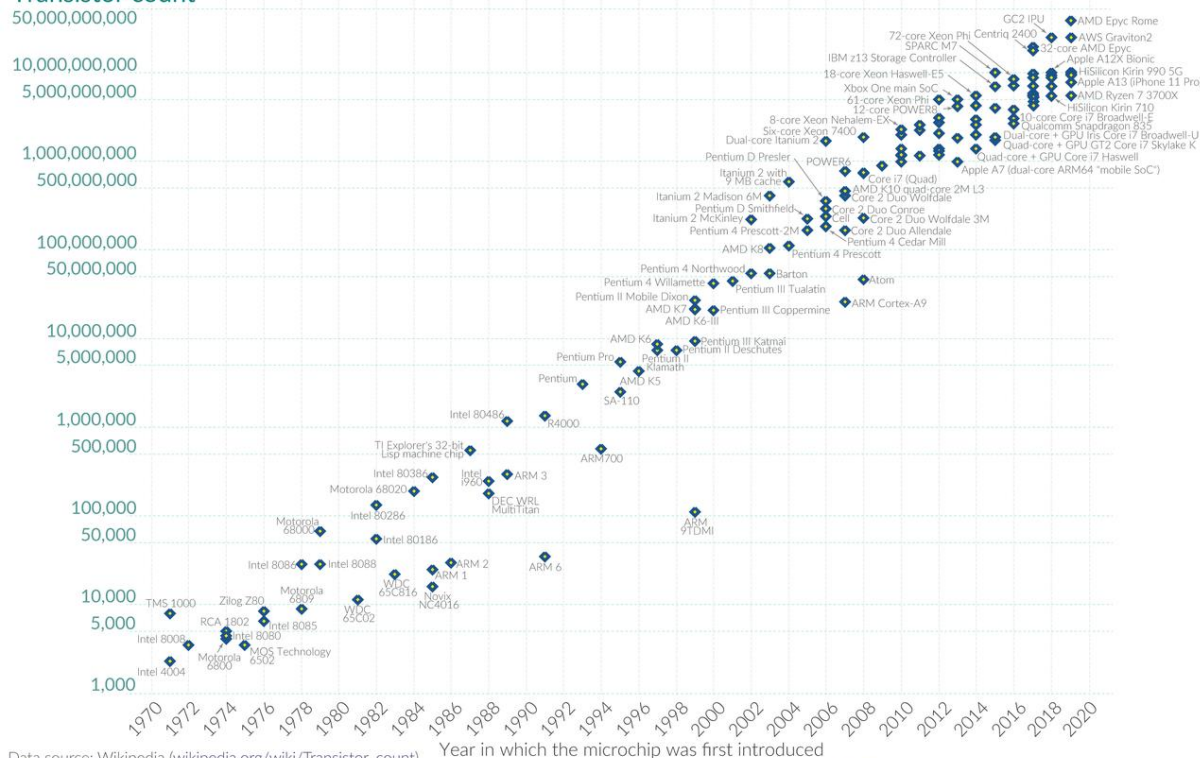
Gráfico 1. Lei de Moore: O número de transistores em microchips dobra a cada dois anos

Moore's Law: The number of transistors on microchips doubles every two years

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.

Our World
in Data

Transistor count



Fonte: MATHIEU, Edouard.; RITCHIE, Hannah.; ROSER, Max. What is Moore 's Law?. Our World in Data, 2023. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/moores-law>>. Acesso em 15 jun. 2024.

De acordo com o Goldman Sachs, em 2021, mais de 169 indústrias foram afetadas pela crise de oferta de microchips durante a pandemia de Covid-19. Não suficiente, o U.S. Department of Commerce estimou que a crise de semicondutores afetou em mais de 1% o PIB global em 2021 e \$240 bilhões somente do PIB dos EUA. Ainda de acordo com o U.S. Department, a indústria de automóveis deixou de produzir 7,7 milhões de veículos devido à escassez de microchips. Tamanha foi a preocupação da gestão Biden-Harris que foi providenciado um grande pacote de incentivos fiscais para evitar a estagnação de produção e pesquisa de semicondutores.

O semicondutor também é responsável por ser o combustível de um novo mercado emergente: o de bens intangíveis; mais especificamente o de Inteligência Artificial e Machine Learning, que demandam capacidades de processamento gigantescas de microchips para conseguir atender à crescente demanda por respostas de ferramentas de IA das Big Techs. Com o recente salto (ou voo) da inteligência artificial, houve um crescimento na demanda de

semicondutores e a tendência é que ela siga em crescimento acentuado, com as vendas se expandindo em 13,1% para \$588 bilhões em 2024 e com expectativas de atingir \$1 trilhão até 2030 (CLARK et al., 2023).

1.2. Microchip, cadeias globais de produção e policrise

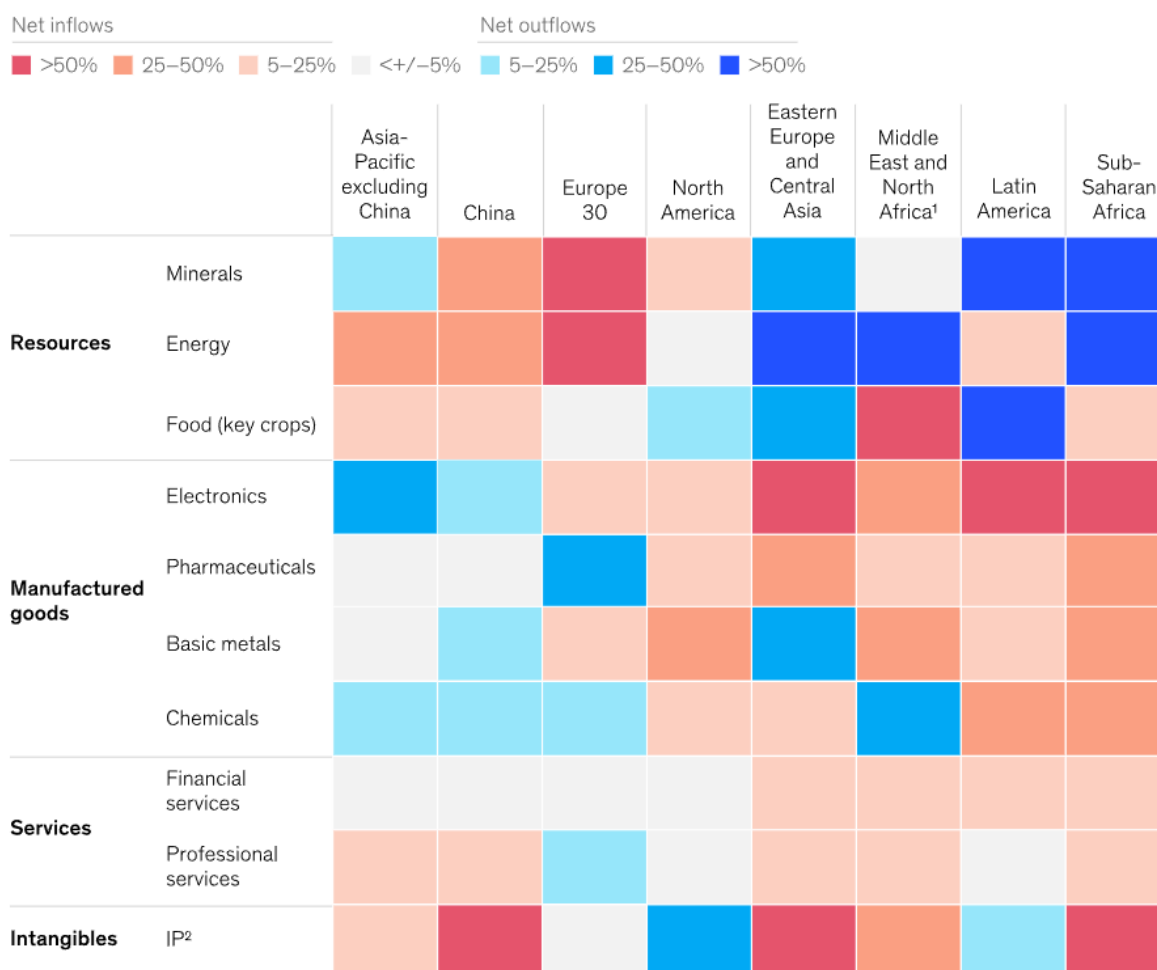
Para que seja possível introduzir a relação intrínseca entre microchips e cadeias globais de produção, é crucial comentar sobre o que é policrise. A policrise advém do fundamento que há uma interconexão grande entre economias e que, como consequência, caso um país tenha uma crise econômica, social ou humanitária haverá um impacto nas outras economias (WOLF, 2022). Como mencionado pelo historiador Adam Tooze, “Com choques econômicos e não econômicos entrelaçados em todos os níveis, não é de se surpreender que um termo desconhecido esteja ganhando popularidade — a policrise.” (WOLF, 2022) Assim, também será possível analisar a proposta deste subtópico: se há algum risco inerente à cadeia global de produção de microchip e, caso haja, quais podem ser seus impactos.

Seria, de fato, mais conveniente e simples analisar e estudar a economia em “compartimentos”. Ou seja, interpretar que a economia brasileira não seja impactada pela economia chinesa, e que essa não seja impactada pela japonesa e assim em diante. Um ótimo exemplo para demonstrar a fragilidade das cadeias globais de produção e sua relação com policrise: a República Democrática do Congo, país que se encontra em conflito interno intenso, detém mais de 70% de todas as reservas e produção de Cobalto no mundo (MONDAL, 2024), elemento crucial para a produção de baterias elétricas, que são utilizadas para alimentar semicondutores e microchips. Caso haja uma extensão da crise humanitária na região, há a possibilidade de ter uma paralisação das cadeias globais de produção relacionadas a baterias elétricas, que estão presentes em diversos componentes do dia a dia.

Assim, quando se fala sobre desglobalização, esse termo não poderia estar mais distante da realidade da economia global. O mundo nunca esteve tão interconectado; e não há nenhuma perspectiva de desintegração de economias. De acordo com um relatório de 2022 pela McKinsey, “Nenhuma região está próxima de ser autossuficiente. Toda região tem importado 25 por cento ou mais (em termos de valor agregado) de pelo menos um tipo importante de recurso ou bem manufaturado que necessita, e frequentemente muito mais.”

Tabela 1. Participação das importações e exportações no consumo doméstico por região e categoria em 2019

Share of domestic consumption met by inflows, 2019, %



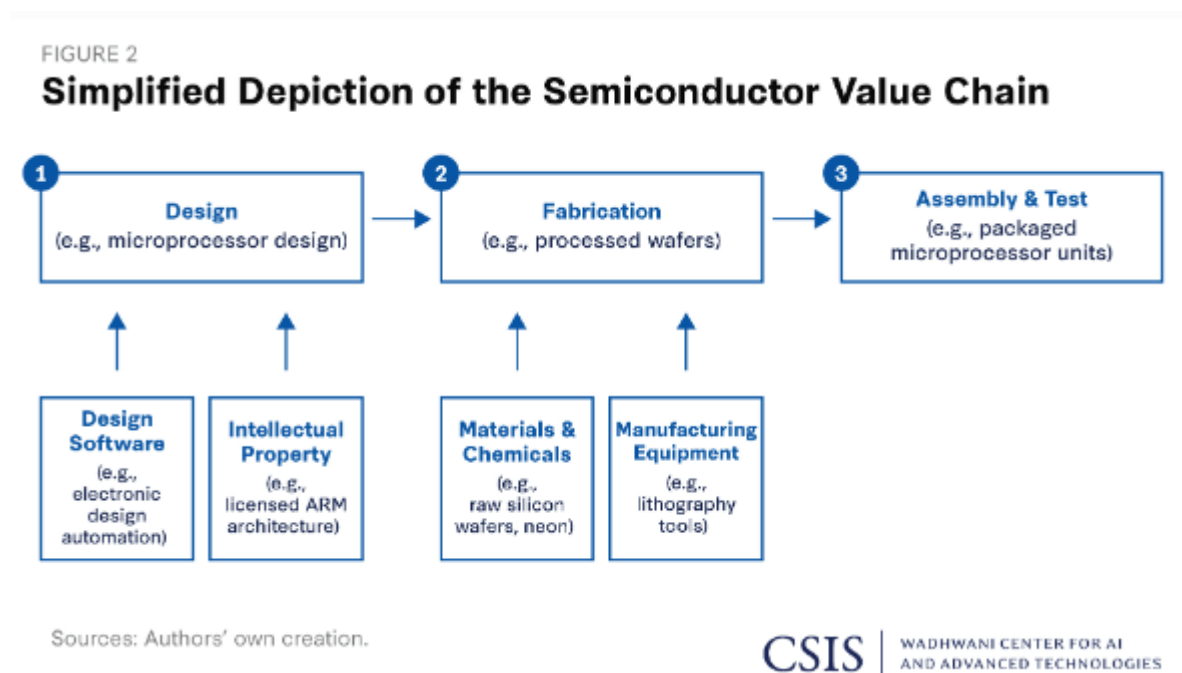
Fonte: SEONG, Jeongmin.; WHITE, Olivia.; WOETZEL, Lola.; SMIT, Sven.; BIRSHAN, Michael.; DEVESA, Tiago.; SAMANDARI, Hamid. Global flows: The ties that bind in an interconnected world. McKinsey Global Institute, 2022. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/capabilities/strategy-and-corporate-finance/our-insights/global-flows-the-ties-that-bind-in-an-interconnected-world>>. Acesso em 4 jun. 2024.

O gráfico acima traz diversos pontos relevantes. A América Latina e África Subsaariana são responsáveis por quase toda a exportação global de minérios e recursos primários em geral, enquanto que regiões mais desenvolvidas são responsáveis pela exportação de bens manufaturados. Por mais que a produção de eletrônicos e semicondutores se concentre fortemente na Ásia Pacífico e China, há uma grande dependência de outras regiões para que tenham os insumos necessários para a produção.

Portanto, para que seja possível compreender os fluxos globais de produção, é crucial compreender quais são as etapas para a construção de um semicondutor, conforme evidenciado na figura 1.

1. O semicondutor é projetado e arquitetado por uma equipe de pesquisadores;
2. Materiais como “wafers de silicone”, fotomáscaras, fotoresistores e outros componentes químicos são fabricados;
3. Os semicondutores são montados e testados;

Figura 1. Fluxograma da cadeia de valor de semicondutores



Fonte: ALLEN, Gregory C.; THADANI, Akhil. Mapping the Semiconductor Supply Chain: The Critical Role of the Indo-Pacific Region. CENTER FOR STRATEGIC & INTERNATIONAL STUDIES, 2023. Disponível em: <<https://www.csis.org/analysis/mapping-semiconductor-supply-chain-critical-role-indo-pacific-region>>. Acesso em 15 jun. 2024.

Os principais países responsáveis pela receita de design de semicondutores (ALLEN; THADANI, 2023) são:

Tabela 2. Distribuição da receita global por país na indústria de semicondutores em bilhões de dólares, 2023

País	Receita Aproximada (em bilhões de dólares)	Porcentagem da Receita Total
E.U.A.	\$5.7	43.00%
Coréia do Sul	\$2.8	21.00%
Resto do Mundo	\$1.8	13.50%
Taiwan	\$1.0	8.00%
Japão	\$0.9	7.40%
China	\$0.9	7.00%

Fonte: ALLEN, Gregory C.; THADANI, Akhil. Mapping the Semiconductor Supply Chain: The Critical Role of the Indo-Pacific Region. CENTER FOR STRATEGIC & INTERNATIONAL STUDIES, 2023. Disponível em: <<https://www.csis.org/analysis/mapping-semiconductor-supply-chain-critical-role-indo-pacific-region>>. Acesso em 15 jun. 2024.

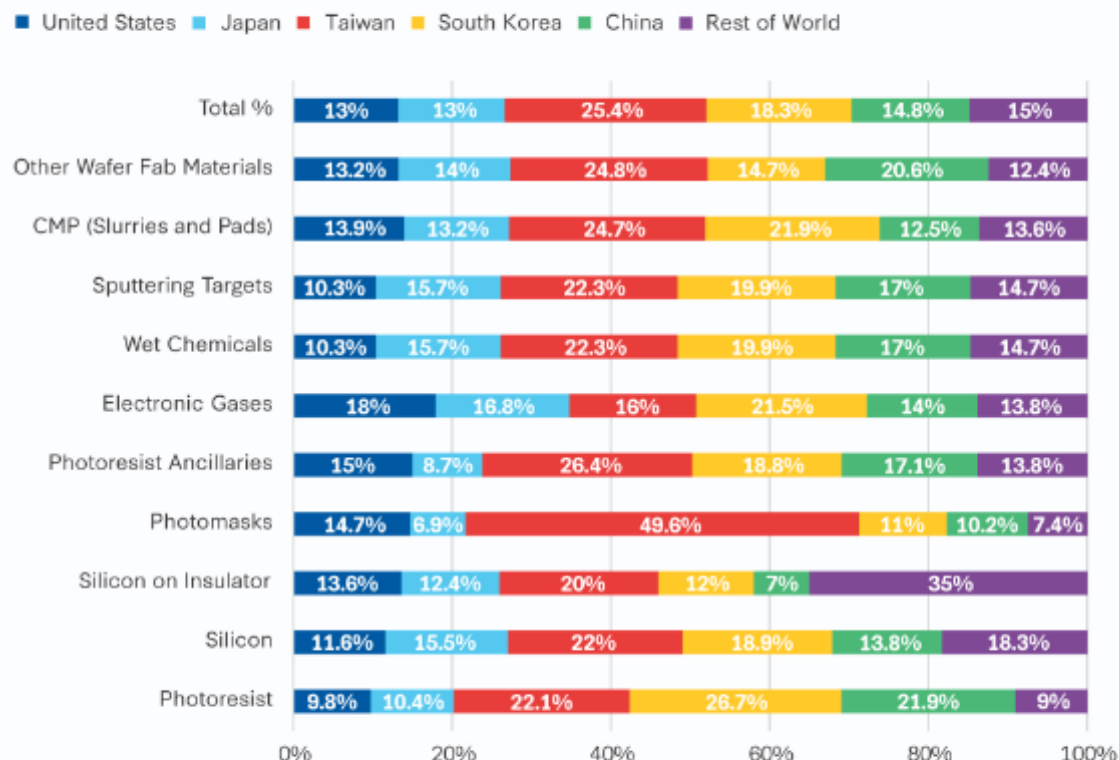
Parte da estratégia dos EUA para manter a porcentagem da receita total no design é tentar frear o avanço do desenvolvimento tecnológico chinês, que tem crescido rapidamente nos últimos anos. Em 2021, o U.S. Department of Commerce criou diversos controles de exportação em EDA (Electronic Design Automation), que engloba o mercado de design de microchips (YANG, 2022). O baque foi grande para o mercado de EDA chinês, que ainda não conta com a mesma tecnologia para pesquisa que o mercado americano ou sul-coreano. De qualquer modo, o governo chinês está subsidiando fortemente o mercado de design de semicondutores, que tem visto empresas como a Huawei construir mais de 78 ferramentas de design de microchips recentemente (ALLEN et al., 2023).

Quando falamos de produção de designs, é evidente que há uma concentração intensa nas mãos de empresas estadunidenses. Contudo, o cenário muda ao verificar a distribuição de fabricação dos materiais utilizados na composição dos wafers de silicone, que são utilizados para a produção de semicondutores:

Gráfico 2. Participação por país nas vendas de materiais para fabricação de wafers em 2022

Wafer Fabrication Materials Market Share of Sales by Country (2022)

Total materials market share in 2022: \$44.7 billion



Source: "Materials Market Data Subscription (MMDS)," SEMI, March 21, 2023, <https://www.semi.org/en/products-services/market-data/mmids>.

CSIS | WADHWANI CENTER FOR AI AND ADVANCED TECHNOLOGIES

Fonte: ALLEN, Gregory C.; THADANI, Akhil. Mapping the Semiconductor Supply Chain: The Critical Role of the Indo-Pacific Region. CENTER FOR STRATEGIC & INTERNATIONAL STUDIES, 2023. Disponível em: <<https://www.csis.org/analysis/mapping-semiconductor-supply-chain-critical-role-indo-pacific-region>>. Acesso em 15 jun. 2024.

Apesar dos EUA ainda possuírem uma parcela expressiva na fabricação dos wafers de silicone, principal componente dos semicondutores, é possível verificar que os principais players do mercado são da região do Indo-Pacífico, com Taiwan sendo o principal e garantindo 49,6% da produção de fotomáscaras. Apesar da produção ser protagonizada pelos mercados asiáticos, os equipamentos utilizados na produção não são da região:

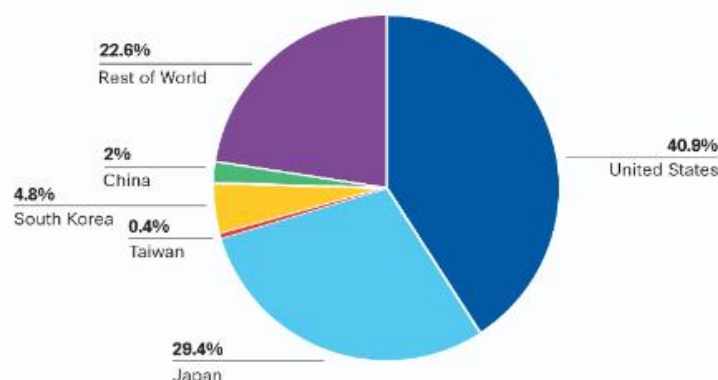
Gráfico 3. Participação por país nas vendas de máquinas para fabricação de semicondutores em 2021

FIGURE 5

Semiconductor Manufacturing Equipment Market Share by Company Headquarters (2021)

Total Semiconductor Manufacturing Equipment Market in 2021: \$108.5 billion

■ United States ■ Japan ■ Taiwan ■ South Korea ■ China ■ Rest of World



Source: "Semiconductor Equipment Database," TechInsights, 2023, <https://www.techinsights.com/blog/techinsights-semiconductor-equipment-report>.

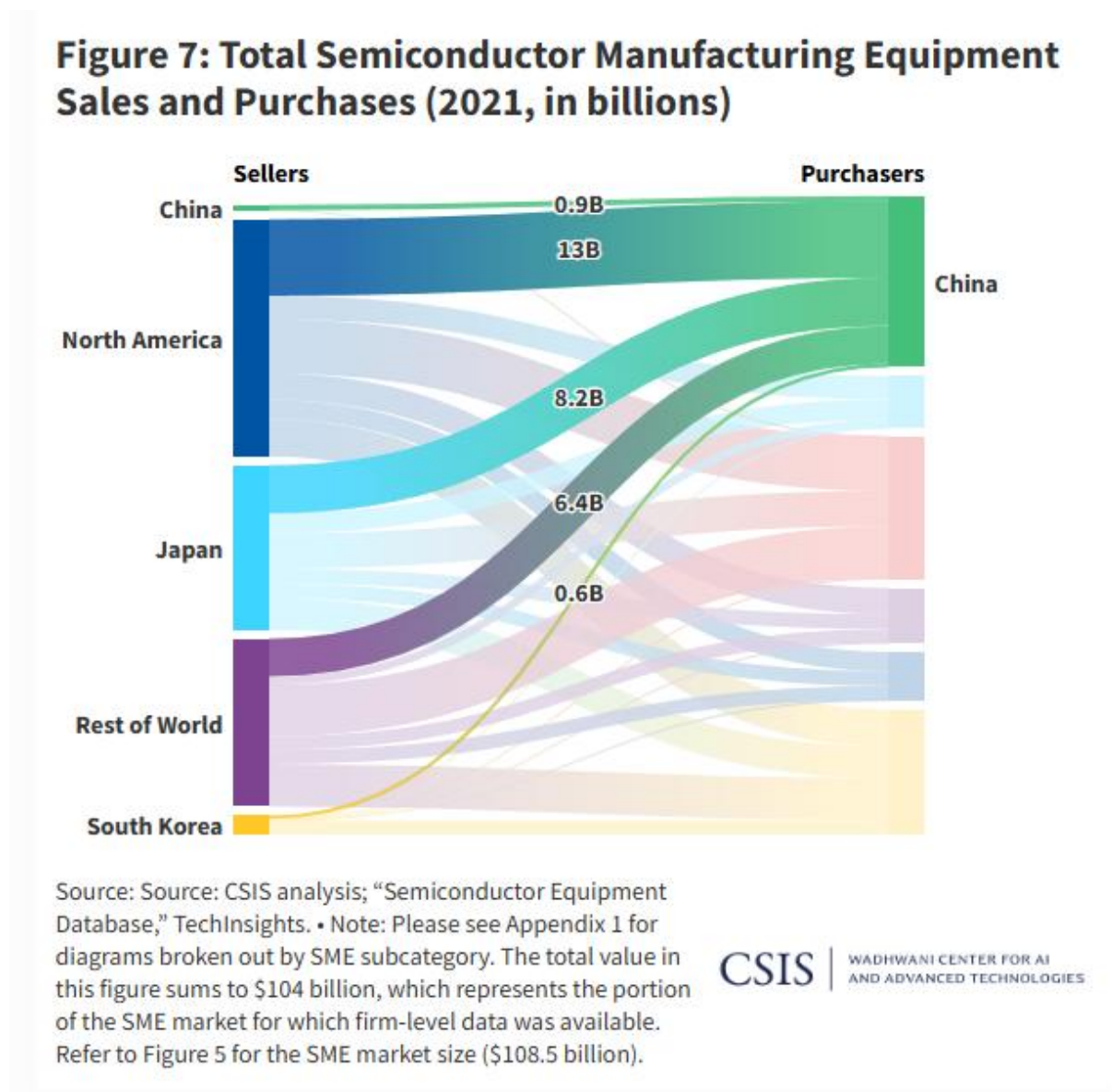
CSIS | WADHWANI CENTER FOR AI AND ADVANCED TECHNOLOGIES

Fonte: ALLEN, Gregory C.; THADANI, Akhil. Mapping the Semiconductor Supply Chain: The Critical Role of the Indo-Pacific Region. CENTER FOR STRATEGIC & INTERNATIONAL STUDIES, 2023. Disponível em: <<https://www.csis.org/analysis/mapping-semiconductor-supply-chain-critical-role-indo-pacific-region>>. Acesso em 15 jun. 2024.

Observa-se que, portanto, por mais que o mercado asiático seja responsável por mais da metade da produção de semicondutores, há uma alienação por parte da região dos equipamentos e tecnologias que são utilizados na cadeia produtiva. Movimento esse que surgiu na década de 80 com a atração de capital estrangeiro aos países asiáticos e a fuga de indústrias de países desenvolvidos. Por mais que os países do Indo-Pacífico tenham atraído grandes parques industriais tecnológicos, não existe até o momento uma internalização das cadeias produtivas, visto que 41% dos equipamentos derivam dos Estados Unidos e 30% do Japão.

Outro fator que indica que a China tem a ambição de expandir a produção interna de microchips é o valor de equipamentos comprados para a produção, conforme o gráfico 4. São mais de 29,1 bilhões de dólares investidos somente em 2021 em equipamentos, contra 24,17 bilhões investidos por Taiwan, o maior produtor do mundo. E 13 bilhões de dólares foram vendas derivadas dos EUA, fato esse que é suficiente para espantar a hipótese de independência econômica entre as duas potências. Os Estados Unidos não funcionam sem a China e vice-versa, apesar de terem suas disputas territoriais no cenário econômico global.

Gráfico 4. Vendas e compras de equipamentos para fabricação de semicondutores por regiões em bilhões de dólares, 2021

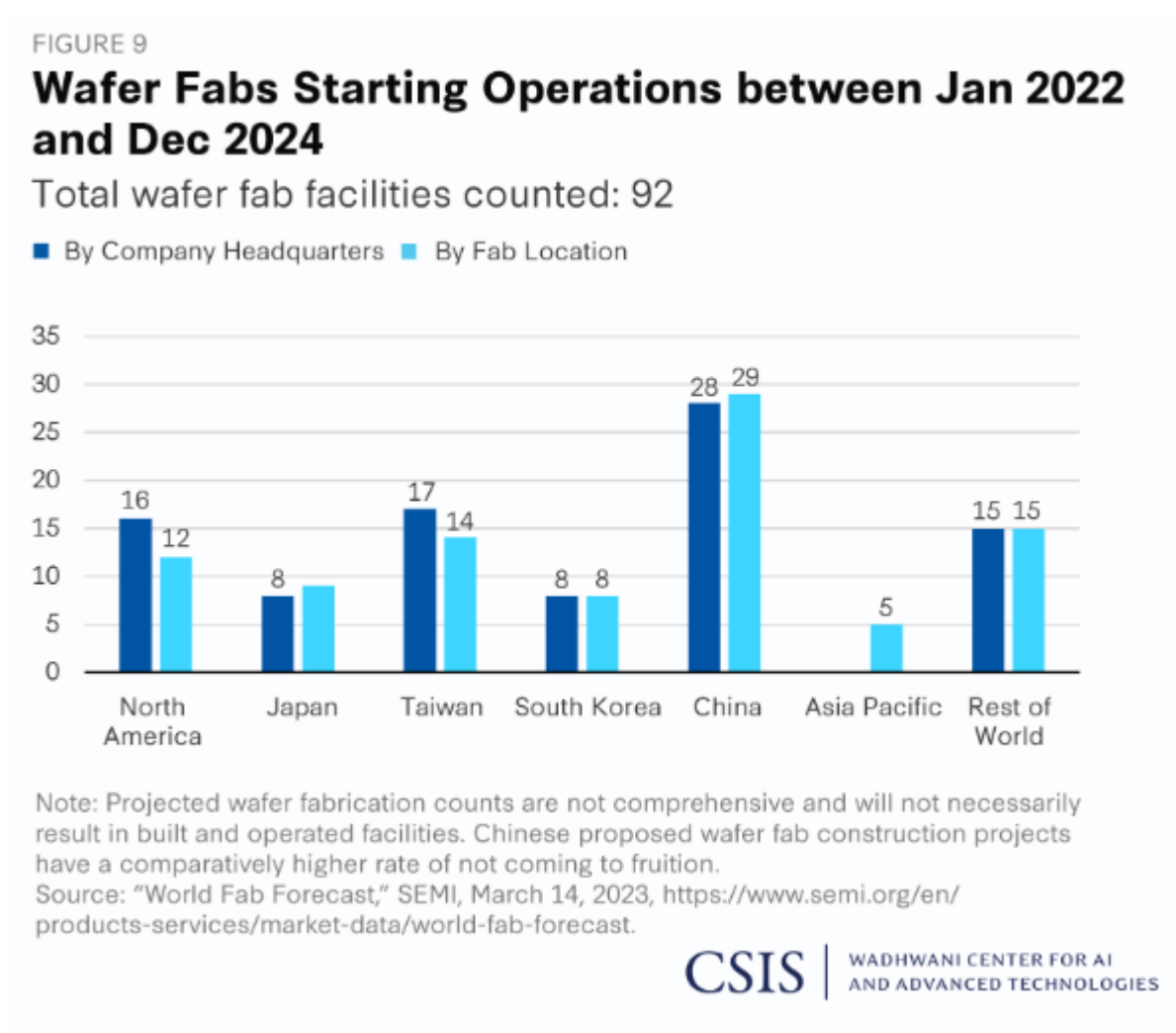


Fonte: ALLEN, Gregory C.; THADANI, Akhil. Mapping the Semiconductor Supply Chain: The Critical Role of the Indo-Pacific Region. CENTER FOR STRATEGIC & INTERNATIONAL STUDIES, 2023. Disponível em: <<https://www.csis.org/analysis/mapping-semiconductor-supply-chain-critical-role-indo-pacific-region>>. Acesso em 15 jun. 2024.

A China também é o país que, com grande margem, está com a maior quantidade de fábricas abertas/ que abrirão entre o período de janeiro de 2022 a dezembro de 2024, totalizando 57. Quanto às fábricas de ATP (Assembly, Test and Packaging), etapa final da cadeia produtiva,

a China concentra mais de 134, comparado à 111 do segundo colocado, Taiwan. Vide informações abaixo:

Gráfico 5. Fábricas de wafers com início de operações entre janeiro de 2022 e dezembro de 2024, por sede da empresa e localização da fábrica



Fonte: ALLEN, Gregory C.; THADANI, Akhil. Mapping the Semiconductor Supply Chain: The Critical Role of the Indo-Pacific Region. CENTER FOR STRATEGIC & INTERNATIONAL STUDIES, 2023. Disponível em: <<https://www.csis.org/analysis/mapping-semiconductor-supply-chain-critical-role-indo-pacific-region>>. Acesso em 15 jun. 2024.

Com os fatos acima é possível observar que os microchips se tornaram uma figura importante na estratégia geopolítica e econômica de diversos países. Os Estados Unidos, por instância, aprovaram em agosto de 2022 o “U.S. CHIPS and Science Act”, que aprovou mais de \$50 bilhões de dólares em incentivos à manufatura doméstica de semicondutores (THE WHITE HOUSE, 2022). A Coreia do Sul, por sua vez, aprovou o “K-Chips Act”, que estimula a produção de microchips por meio de cortes de impostos no setor (KIM; LEE, 2023).

E quais são as matérias primas que alimentam esse grande fluxo industrial? Como citado anteriormente, o principal componente utilizado hoje para a fabricação de semicondutores é o Silício. Como evidenciado na tabela abaixo, quase 68% da produção e reserva global derivam da China e o Brasil é responsável por 4.27% do total (SCHNEBELE, 2021).

Tabela 3. Produção e reserva de Silício em 2020 (em milhares de toneladas métricas) por região

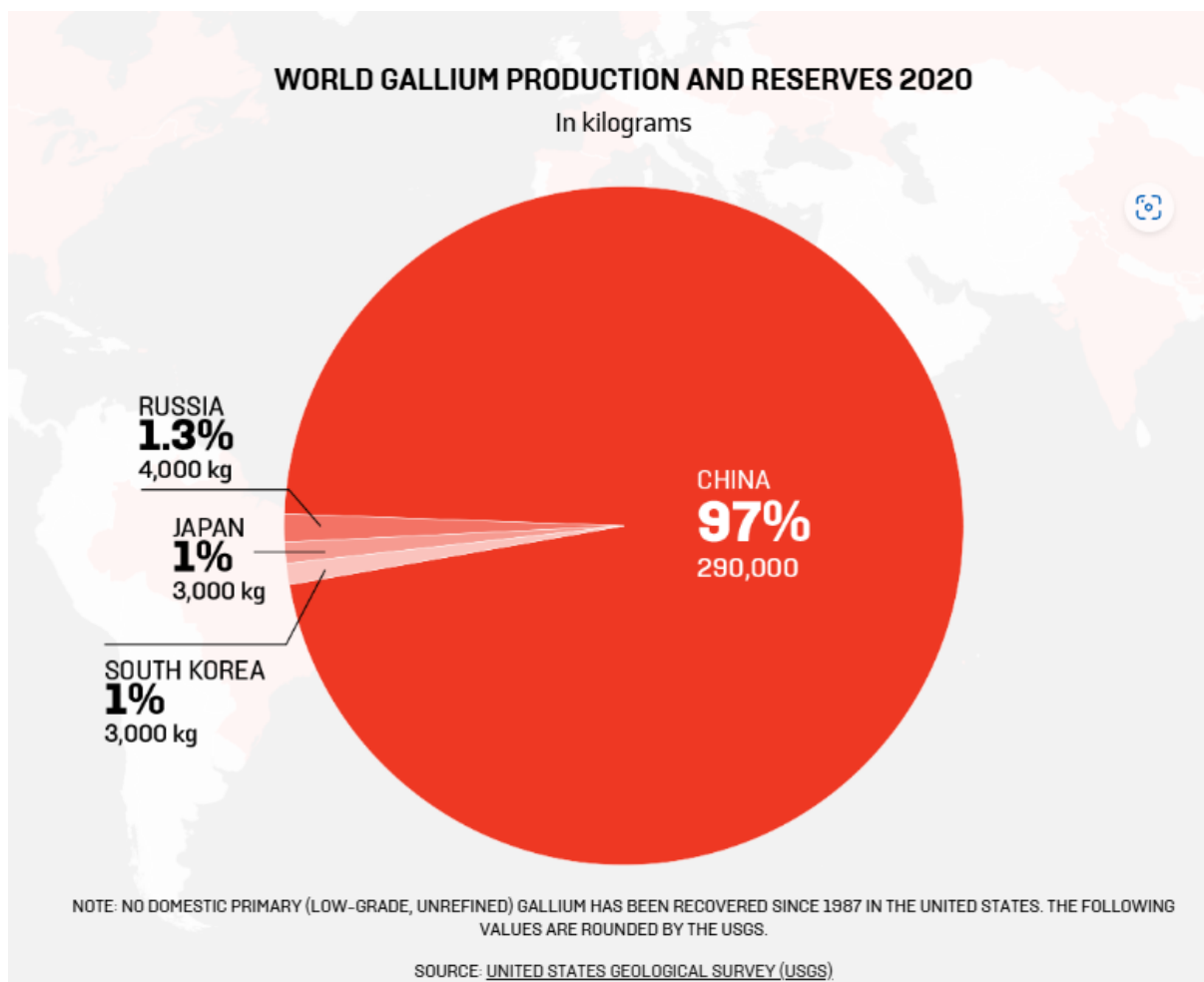
País	Produção e Reserva de Silício em 2020 (em milhares de toneladas métricas)	Porcentagem
China	5400	67.87%
Rússia	540	6.79%
Brasil	340	4.27%
Noruega	330	4.15%
E.U.A.	290	3.65%
Resto do Mundo	1056	13.27%
Total	7956	100.00%

Fonte: SCHNEBELE, Emily K. SILICON. U.S. Geological Survey, 2021. Disponível em: <<https://www.csis.org/analysis/mapping-semiconductor-supply-chain-critical-role-indo-pacific-region>>. Acesso em 15 jun. 2024.

Dessa forma, apesar de haver uma concentração na China, não há um risco tão evidente de escassez de oferta de Silício quanto há com o caso da República Democrática do Congo e suas reservas de Cobalto para baterias elétricas, por instância. Apesar disso, há um consenso de que a capacidade de processamento em transistores feitos de Silício está chegando a um limite e, para que os semicondutores consigam continuar evoluindo no mesmo ritmo frenético de antes, é necessário migrar para um novo elemento: o Gálio, que será utilizado para fazer Nitreto de Gálio (FP ANALYTICS, 2021).

Esse novo componente permite uma maior capacidade de condução elétrica e tem uma maior tolerância a temperaturas altas, que é essencial para cortar gastos energéticos. De acordo com o United States Geological Survey, há uma redução no consumo de energia de 10 a 25% com o Nitreto de Gálio. E, para as reservas globais de Gálio, há uma concentração intensa em um único país: a China.

Gráfico 6. Produção e reservas mundiais de gálio em 2020 em quilogramas



Fonte: FP ANALYTICS. Semiconductors and the U.S.-China Innovation Race. Foreign Policy, 2021. Disponível em: <https://foreignpolicy.com/2021/02/16/semiconductors-us-china-taiwan-technology-innovation-competition/>. Acesso em 4 jun. 2024.

Caso esse novo material torne-se o substituto do Silício, que é provável, há um risco associado à nova potência China e sua disposição de exportar Gálio para mercados globais. Também há a possibilidade desse monopólio de reservas ser utilizado como ponto de negociação em acordos e guerras comerciais (como a com os Estados Unidos). A China tem, portanto, mais uma vantagem em um jogo econômico que parece já estar a favorecendo, graças às suas estratégias recentes de desenvolvimento e industrialização que datam da década de 80 e geram frutos hoje. Neste mesmo cenário, o Brasil não estaria presente na cadeia global de produção sequer na função de fornecedor de matéria prima, que é o caso hoje, visto que temos reservas de Silício.

Contudo, de presente momento, não há uma ameaça à paralisação total das cadeias globais de produção de microchip, visto que há uma diversificação dos players presentes nas

cinco etapas do processo produtivo: fornecimento de matéria prima; fornecimento de equipamento; design; fabricação e montagem e teste, conforme evidenciado na tabela abaixo:

Tabela 4. Concentração e diversidade de países nas etapas da cadeia produtiva de microchips

	Fornecimento de Matéria Prima (Silício)	Fornecimento de Matéria Prima (Gálio)	Fornecimento de Equipamento Produtivo	Design do Microchip	Fabricação	Montagem e Teste
Concentração máxima de participação	68%	97%	41%	43%	50%	28%
Número de países envolvidos na etapa produtiva (+3%)	6	1	4	7	6	7

Fonte 1: FP ANALYTICS. Semiconductors and the U.S.-China Innovation Race. Foreign Policy, 2021. Disponível em: <<https://foreignpolicy.com/2021/02/16/semiconductors-us-china-taiwan-technology-innovation-competition/>>. Acesso em 4 jun. 2024.

Fonte 2: Fonte: ALLEN, Gregory C.; THADANI, Akhil. Mapping the Semiconductor Supply Chain: The Critical Role of the Indo-Pacific Region. CENTER FOR STRATEGIC & INTERNATIONAL STUDIES, 2023. Disponível em: <<https://www.csis.org/analysis/mapping-semiconductor-supply-chain-critical-role-indo-pacific-region>>. Acesso em 15 jun. 2024.

No momento, a etapa produtiva com maior concentração de participação é a de fornecimento de matéria prima, inclusive no cenário em que o Silício é utilizado como elemento principal. Contudo, como citado anteriormente, caso haja a transição para o Gálio uma das etapas da produção será concentrada na China, que gera grandes riscos ao fluxo do resto da cadeia produtiva para o futuro.

1.3. A crise de semicondutores durante a pandemia

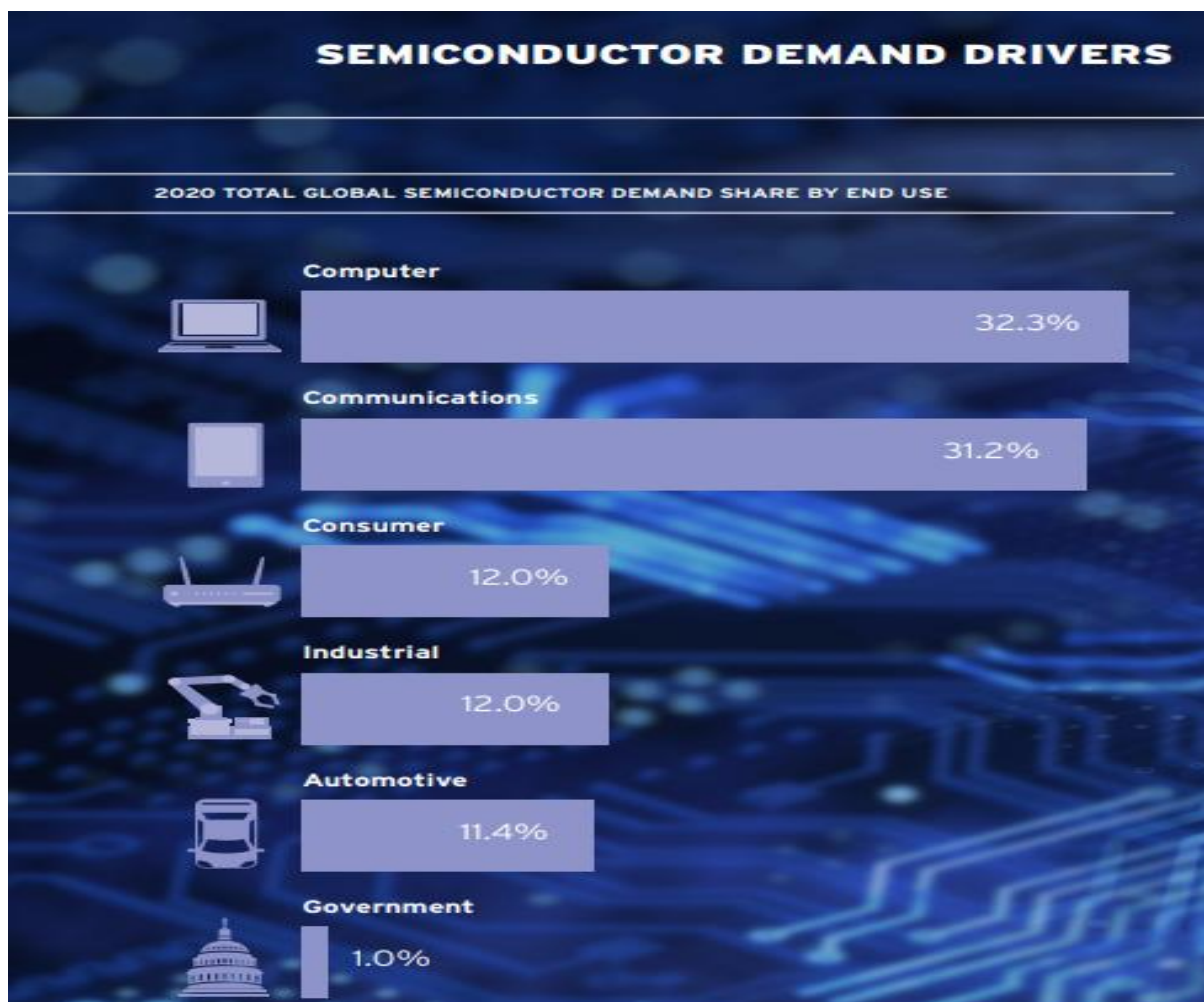
Foi durante a pandemia de Covid-19, iniciada em 2020, que o mundo viu diversas cadeias globais de produção serem interrompidas da noite para o dia e para os semicondutores não foi diferente. Como citado anteriormente, todos os eletrônicos atuais têm o microchip como seu componente central, seja ele um brinquedo, automóvel, maquinário, celular, geladeira, laptop, equipamentos militares e até diversas ferramentas utilizadas na medicina. A escassez de

oferta foi escancarada pela pandemia, mas os problemas e fragilidades da cadeia global já estavam presentes antes de 2020. Assim, o objetivo do item a seguir é analisar e explorar o que causou a escassez de oferta e quais foram seus impactos para a economia global.

Preços de produtos ou serviços associados ao semicondutor decolaram graças à escassez de semicondutores, diversas fábricas foram paralisadas (em especial a de automóveis) e vários vendedores cancelaram ou atrasaram a entrega de suas vendas. O cenário foi até equiparado, por diversos especialistas, como a “crise de petróleo moderna” que ocorreu na década de 70 (MOHAMMAD; ELOMRI; KERBACHE, 2022).

Ainda em 2021, a WSTS (World Semiconductor Trade Statistics) estimou que o mercado de semicondutores contemplava mais de \$553 bilhões de dólares (aumento de 26,2% comparado a 2020). Computadores eram responsáveis por 32,3% dessa demanda, o setor de comunicação por 31,2%, tanto o consumidor quanto o industrial por 12% (totalizando 24%), automotivo por 11,4% e governamental por 1%, conforme evidenciado no gráfico abaixo:

Gráfico 7. Participação da demanda global por semicondutores por setor de uso final em 2020



Fonte: 2021 State of the U.S. Semiconductor Industry. SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION, 2021. Disponível em: <<https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/09/2021-SIA-State-of-the-Industry-Report.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2024.

E, como citado anteriormente na seção de cadeias globais de produção, os semicondutores passam por diversas etapas produtivas e diversos países antes de serem concluídos. São poucas as cadeias produtivas que exigem tamanha especialização e internacionalização de etapas como a de microchips. Em média, 25 países participam da cadeia produtiva e o semicondutor atravessa fronteiras internacionais aproximadamente 70 vezes antes de ficar pronto para os consumidores (MOHAMMAD; ELOMRI; KERBACHE, 2022). Então, o que fragilizou e quebrou a oferta global de semicondutores durante a pandemia?

Podemos citar três grandes culpados para a escassez, que serão evidenciados com maior detalhe em breve:

1. Covid-19: Disrupção global de oferta, demanda e força de trabalho;
2. Complexidade de produção de semicondutores;

3. Impactos geopolíticos.

Quase nenhum setor da economia ficou ileso do baque da pandemia de Covid-19, e o setor de semicondutores e tecnologia também foi um deles. Com as políticas de lockdown e “Work from Home” implementadas ao redor do mundo para tentar frear o avanço do vírus, houve um aumento de demanda enorme por computadores, tablets, laptops, equipamentos smart home, etc. (MOHAMMAD; ELOMRI; KERBACHE, 2022). Montadoras de carro fecharam diversas plantas e fábricas para reduzir a disseminação do vírus e reduziram ou cancelaram completamente suas ordens de compra de semicondutores com o intuito de reduzir os custos de inventário, antecipando que haveria uma redução drástica na demanda por veículos durante o lockdown e isso resultou em uma grande variação na demanda global por semicondutores (MOHAMMAD; ELOMRI; KERBACHE, 2022). Como consequência direta, diversos fornecedores de microchip direcionaram seu foco a outros setores que estavam em alta demanda por semicondutores durante a pandemia e outros fecharam suas plantas de produção devido às restrições da pandemia.

Os fatores citados acima resultaram no esgotamento não somente do estoque como também de semicondutores recentemente produzidos, e a interrupção de voos e sistemas logísticos eram mais uma pedra no sapato para colaborar com o reabastecimento das peças. Ademais, a prioridade em logística eram produtos relacionados à área da saúde para que pudessem conter o avanço do vírus, fato esse que reduzia o espaço de transporte para bens não essenciais, como semicondutores. Estima-se que a capacidade de carregamento de cargas tenha reduzido em 20% em 2020 (MOHAMMAD; ELOMRI; KERBACHE, 2022).

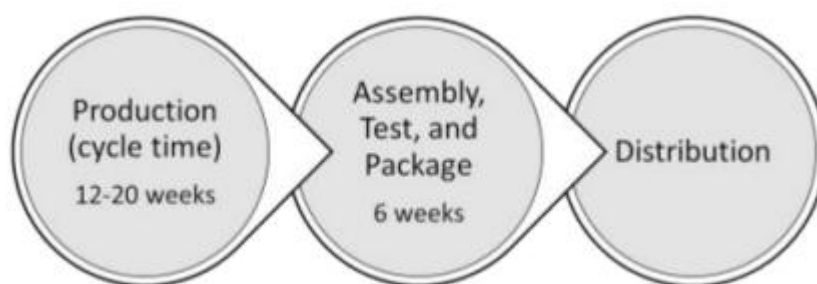
Não suficiente, diversas plantas produtivas foram obrigadas a fechar para conter a disseminação dos vírus e muitas tiveram que se adaptar para que suas ferramentas de produção pudessem ser controladas de forma remota, que possibilitou que algumas fábricas seguissem operacionais (MOHAMMAD; ELOMRI; KERBACHE, 2022).

A complexidade de produção dos semicondutores também foi um dos fatores que já se apresentava como uma fragilidade na cadeia global de produção do componente, mas que o problema foi verdadeiramente escancarado pela pandemia. Problemas como longo ciclo de fabricação, variabilidade e estocasticidade e a não-linearidade da cadeia de produção se apresentaram como desafios grandes a percorrer. Visto que semicondutores já são pequenos por

natureza e seus (bilhões) de transistores são nanométricos, se faz necessário que haja uma enorme precisão nas máquinas que o manufacturam. Isso torna o semicondutor um dos componentes mais difíceis de se fabricar devido ao seu processo intenso, preciso e extenso de produção e pesquisa e desenvolvimento. De acordo com a Semiconductor Industry Association (SIA, 2021), são necessárias mais de 1400 etapas produtivas a depender da complexidade da peça.

Desconsiderando completamente a etapa de pesquisa e desenvolvimento, podem ser necessárias mais de 26 semanas para finalizar o processo de produção. Dessas 26 semanas, 12 são necessárias para manufacturar o wafer (normalmente de silício) do semicondutor, apesar de terem processos de fabricação que podem durar até 20 semanas (SIA, 2021). Quanto às outras, 6 são necessárias para montar, embalar e empacotar para, enfim, estar pronto para a distribuição, conforme gráfico abaixo:

Figura 2. Tempo gasto por etapa da cadeia produtiva



Fonte: MOHAMMAD, Wassen.; ELOMRI, Adel.; KERBACHE, Laoucine. The global semiconductor chip shortage: Causes, implications, and potential remedies. Google Scholar, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896322017293>>. Acesso em 1 mar. 2024.

O processo de produção também é extremamente intensivo em capital, com a fabricação de wafers podendo custar até 10 bilhões de dólares, graças a maquinários extremamente caros e com tecnologia de ponta, com cada um deles custando até 100 milhões de dólares. Com a alta demanda durante a pandemia, máquinas deixaram de operar esporadicamente e passaram a operar mais de 80% do tempo, com algumas operando entre 90 e 100% (SIA, 2021). O aumento de capacidade de produção é um processo delongado que pode durar até 9 meses e, não suficiente, o processo de fabricação de um wafer pode não ser igual ao de outro, que demandaria duas ou mais linhas produtivas.

O fato de o semicondutor atravessar mais de 70 vezes fronteiras de países (MOHAMMAD; ELOMRI; KERBACHE, 2022) e não ter somente um país que concentre todas as etapas dificulta o processo, visto que passa por diversas regras fiscais, controles aduaneiros e de importação e várias regulações. Apesar disso, há algumas etapas que tendem a se concentrar em algumas regiões, como vimos anteriormente. Isso pode ser bom em condições normais, mas caso haja algum problema em alguma região, todas as outras são impactadas.

Com o aumento de atritos geopolíticos recentes no cenário global, diversos setores foram impactados. Por instância, em 2019 o Japão impôs restrições à Coreia do Sul como uma forma de retaliação à corte sul-coreana ir contra negócios japoneses (DOOLEY; SANG-HUN, 2019). Dentro das restrições estavam três componentes químicos essenciais para a confecção de semicondutores, caso que impactou a indústria coreana.

Enquanto isso, os Estados Unidos e a China travavam (e segue até os dias atuais) uma guerra comercial e parte da estratégia do governo estadunidense foi dificultar a produção e pesquisa e desenvolvimento de semicondutores na China, conforme citado anteriormente. Isso foi feito por meio das restrições do U.S. Department of Commerce em exportações de EDA (Electronic Design Automation) em 2021 e até restrições diretas de exportação de empresas de semicondutores chinesas, como foi feito com a Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC) em 2021, a maior empresa do setor chinesa (MOHAMMAD; ELOMRI; KERBACHE, 2022).

Além disso, grande parte dos equipamentos críticos utilizados na produção de semicondutores são americanos (40,9%), que foram em parte bloqueados de serem exportados para a China durante a pandemia (ALLEN et al., 2023). No curto prazo, isso trouxe e trará impacto para a China na corrida tecnológica de semicondutores, visto que o maior mercado que têm para exportação hoje é o americano, que significou grandes perdas econômicas para o lado chinês. Contudo, há a expectativa de retaliação chinesa e, como citado anteriormente, parte dessa retaliação pode vir por meio de do controle chinês em cima de metais raros, como o germânio, lítio e tungstênio.

Tendo em mente os pontos supracitados, quais foram as principais indústrias afetadas? Apesar de mais de 169 indústrias terem sido afetadas (HOWLEY, 2021), seis foram

especialmente impactadas: computadores; comunicação; varejo; industrial; automóveis e governamental.

Como grande parte da população teve que ficar em casa para reduzir a disseminação do vírus, muitos passaram a trabalhar de casa, estudar remotamente e entreter-se online, que resultou em um aumento abrupto na demanda de laptops e tablets. Complicações de escassez de componentes e outros problemas surgiram com o pico surpresa de demanda por computadores (MOHAMMAD; ELOMRI; KERBACHE, 2022).

Com um aumento generalizado da demanda no setor de tecnologia, era de se esperar que as empresas pudessem ter um aumento de lucro significativo, mas esse não foi o caso para todas as empresas. A Intel, por exemplo, reportou uma queda de 5% na venda de notebooks, como consequência direta da escassez de componentes. Por outro lado, obtiveram um aumento de venda de 20% em computadores de mesa, mas que não foi suficiente para reverter o volume de perdas gerados por laptops (GARTENBERG, 2021).

Assim como o setor de computadores, o de telecomunicações também foi afetado pela interrupção das cadeias globais de semicondutores. As vendas globais de smartphones cresceram somente 6% em 2021 após uma queda de 12,5% em 2020 (SAKPAL, 2022).

Tabela 5. Participação de mercado e crescimento das vendas de smartphones por fabricante em 2020 e 2021

Vendedor	2021 (Unidades)	2021 Market Share (%)	2020 (Unidades)	2020 Market Share (%)	2021-2020 Crescimento (%)
Samsung	272327,5	19	253025	18,7	7,6
Apple	239239,1	16,7	199847,3	14,8	19,7
Xiaomi	189305,4	13,2	145802,7	10,8	29,8
OPPO	138242,1	9,6	111785,2	8,3	23,7
Vivo	136011,3	9,5	107388,2	7,9	26,7
Others	458733,9	32	533988,1	39,5	-14,1
Total	1433859,3	100	1351836,5	100	6

Fonte: SAKPAL, Manasi. Gartner Says Global Smartphone Sales Grew 6% in 2021. Revista Gartner, 2022. Disponível em: <<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2022-03-01-4q21-smartphone-market-share>>. Acesso em 16 jun. 2024.

Quanto ao consumo mais amplos, é possível citar mais alguns pontos afetados pela restrição de oferta: os preços de TVs subiram quase 30% nos meses iniciais de 2021; diversas empresas de câmeras digitais reportaram impactos, como Fujifilm, Nikon, Canon e Sony, com a última fabricante mencionada tendo que suspender lançamento de novos modelos devido à

escassez dos semicondutores e a Canon teve que atrasar entregas por até 6 meses. A indústria de jogos digitais não reagiu bem à crise, com a empresa japonesa Nintendo prevendo que teria uma redução de 1,5 milhões de vendas de sua estação de jogo, o Nintendo Switch, enquanto a Sony reduziu suas expectativas de venda do PS5 de 16 para 14,8 milhões de unidades em 2021 (MOHAMMAD; ELOMRI; KERBACHE, 2022).

Com a pandemia e o crescimento exponencial de casos e morte por Covid-19, também houve um aumento de demanda por equipamentos médicos, como respiradores. Em 2020, fabricantes de respiradores médicos indicaram que havia uma demanda não atendida de mais de 9 milhões de componentes necessários de semicondutores (SIA, 2020).

Para o setor de automóveis, as consequências foram mais graves. A pandemia incentivou que a população ficasse em casa e, como consequência direta, a demanda e vendas de carros despencou. No primeiro e segundo quarto de 2020, a produção de automóveis regrediu 9,6%, que representa 7,7 milhões de veículos (FRIESKE; STIELER, 2022). No Brasil, vimos a General Motors ser impactada com as escassezes por meio do Chevrolet Onix. O carro, que demandava aproximadamente 1.000 semicondutores na produção, o dobro da quantidade encontrada em outras categorias (MEDIA GM, 2021), que resultou na paralisação da produção do carro na planta da GM em Gravataí, RS por cinco meses. O modelo, que era o automóvel mais vendido do país por cinco anos seguidos caiu para a sétima posição em vendas dois meses após as paralisações (CNN BRASIL, 2021).

Foi estimado que a indústria de automóveis global perdeu aproximadamente 210 bilhões de dólares em 2021 (JIN, 2022). "Aprendemos de maneira muito dolorosa que não podemos gerenciar a cadeia de suprimentos para esses componentes essenciais da maneira que temos feito" (tradução nossa), disse Jim Farley, CEO da Ford Motor Company. Com a grande maioria dos produtores utilizando o modelo "Just in Time", o estoque era baixo e as perdas foram grandes, visto que foram impossibilitados de produzir devido à escassez de componentes eletrônicos derivados do semicondutor (MOHAMMAD; ELOMRI; KERBACHE, 2022).

Diversos órgãos governamentais também foram impactados, fato que incomodou o governo estadunidense. Grande parte de sua política de segurança nacional e política imperialista de influência global dependem de sua extensa força bélica. A manutenção e

atualização do equipamento depende (e muito) de semicondutores tecnológicos, que ameaçaram esse processo em 2021, conforme evidenciado na declaração abaixo:

“Além do papel central que desempenham na economia dos EUA, os semicondutores são essenciais para a segurança nacional. Eles possibilitam o desenvolvimento e a implantação de sistemas de armas avançadas e controlam a operação da infraestrutura crítica do país. São fundamentais para o funcionamento de praticamente todos os sistemas militares, incluindo sistemas de comunicação e navegação e sistemas de armas complexos, como os encontrados no caça F-35 Joint Strike Fighter. São essenciais para as tecnologias 'must-win' do futuro, incluindo inteligência artificial e 5G, que serão essenciais para alcançar o objetivo de uma 'economia nacional dinâmica, inclusiva e inovadora', identificada como uma vantagem crítica americana no Interim National Security Strategic Guidance de março de 2021. Além disso, o desenvolvimento de sistemas autônomos avançados, cibersegurança, espaço e hipersônicos, e energia direcionada também dependem de tecnologias de semicondutores (tradução nossa). (THE WHITE HOUSE, 2021)”

2. BRASIL INSERIDO NAS NOVAS CADEIAS GLOBAIS DE PRODUÇÃO E CONSUMO E MITIGAÇÃO DE RISCO

2.1. Participação do Brasil na exportação e importação de semicondutores

Mas, e o Brasil no cenário global de tecnologias e semicondutores? Apesar de estar distante de ser uma potência do setor, não podemos desprezar seus números e contribuições à cadeia produtiva. Por instância, como citado anteriormente, o Brasil foi responsável por 4.27% da extração de Silício em 2020, elemento vital para a fabricação dos wafers de silicone (SCHNEBELE, 2021). Em 2022, o mercado brasileiro de Tecnologia da Informação deteve 1,65% dos investimentos globais em tecnologia e 36% da América Latina, totalizando 45 bilhões de dólares (ABES; IDC, 2023).

Parte da estratégia brasileira de expansão no setor vem da CEITEC (Centro Nacional de Tecnologia Eletrônica Avançada), empresa estatal fundada em 2008 focada em fabricar e projetar semicondutores. Em 2020, o ex-presidente da república Jair Bolsonaro tentou liquidar a empresa ao argumentar que não havia compradores interessados na empresa. O Tribunal de

Contas da União interrompeu o processo por não achar que os argumentos para liquidação da empresa fossem válidos. Com isso, a CEITEC e a HT Micron (joint venture entre empresa sul-coreana e brasileira) são, somente, as duas empresas brasileiras relevantes no design e fabricação de semicondutores no Brasil (THE RIO TIMES, 2022).

Outra grande frente de contribuições brasileiras de pesquisa no setor advém de faculdade, como o ITA. E, apesar de não ter sido criado com o intuito de pesquisar semicondutores, foi crucial para promover o desenvolvimento de tecnologias em diversos setores no Brasil, inclusive no setor de eletrônicos. Na década de 60, surgiram diversas iniciativas para criação e expansão de laboratórios de pesquisa de microeletrônicos que vigoram até hoje, como é o caso do LAMINA (Laboratório de Micro e Nanoeletrônica) da USP e o CCSNano (Centro de Componentes Semicondutores e Nanotecnologias) da UNICAMP. Outros laboratórios foram criados com estímulos de agências governamentais, como o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), Finep (Financiadora de Estudos e Projetos) e outras agências, ação que foi crucial para promover um aumento na produtividade, avanço tecnológico e desenvolvimento econômico de diversos setores (BORTOLASO et al., 2013).

Esses reflexos positivos em diversas frentes tendem a apontar para a importância de planos de incentivos para o desenvolvimento de tecnologia nacional, como é o caso do PADIS (Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores e Displays), que prevê um conjunto de incentivos fiscais federais com o objetivo de ampliar e atrair investimento na indústria tecnológica nacional. Para que haja a redução a 0% em diversos tributos, é necessário que a pessoa jurídica faça investimentos em pesquisa e desenvolvimento no mercado interno com, no mínimo, 5% de seu faturamento bruto (SPRENGER, 2025).

Além do lado de pesquisa e desenvolvimento de semicondutores, o Brasil possui empresas de encapsulamento e testes, que levaram o mercado brasileiro de semicondutores a gerar 700 milhões de dólares em receitas em 2023 (ZANINI, 2024). Em 2020, as receitas provenientes de chips representaram 3,2% do mercado global. Uma das razões para explicar a baixa participação brasileira vem do altíssimo custo inicial que o setor exige, como já foi citado anteriormente. O investimento em capital fixo para possibilitar o início de operações de manufatura de semicondutores é astronômico, conforme ressaltado por Puhakka da VLSI Research: “Construir fábricas já é difícil desde o início e exige bolsos profundos. Digamos que

você queira construir uma fundição de 28nm convencional. Você está imediatamente olhando para um investimento de \$10 bilhões logo de início. Claro, os resultados são muito incertos.” (tradução nossa) (LA PEDUS, 2021).

Não por isso que não houve tentativas, como foi o caso da empresa “SIX Semicondutores”, que recebeu os processos de fabricação de chips de 130nm e 90nm da IBM em troca de participação acionária e tinha planos para iniciar a construção de uma fábrica de 500 milhões de dólares, projeto que tinha potencial de impulsionar o mercado brasileiro de semicondutores. Contudo, a empresa começou a sofrer com problemas financeiros após seu dono, Eike Batista, ser acusado de diversos crimes contra o mercado. (LA PEDUS, 2021)

O quadro abaixo reforça as enormes barreiras de entrada que o setor impõe a quem deseja entrar comparado a outros setores do S & P 500. A coluna da esquerda representa os setores do S & P e a coluna da direita representa quanto da receita total foi gasto para pesquisa e desenvolvimento. Note que o setor de semicondutores representa um dos maiores investimentos da receita em pesquisa e desenvolvimento. Isso, alinhado ao risco tecnológico, a complexidade técnica no design de partes e o custo inicial de investimento em capital fixo são algumas das razões que explicam a baixa quantidade de empresas brasileiras no setor.

Tabela 6. Investimentos em P&D como Percentual da Receita por Setor da Indústria (S&P 500, dados de 20 anos)

Row Labels	Average of 2020
0	2.4%
Aerospace & Defense	0.5%
Automobiles	1.6%
Biotechnology	30.3%
Capital Markets	0.5%
Chemicals	2.4%
Communications Equipment	16.7%
Electrical Equipment	0.8%
Electronic Equipment, Instruments & Components	8.8%
Energy Equipment & Services	0.6%
Entertainment	9.9%
Equity Real Estate Investment Trusts (REITs)	0.0%
Food Products	0.1%
Health Care Equipment & Supplies	7.4%
Health Care Providers & Services	0.0%
Health Care Technology	13.6%
Hotels, Restaurants & Leisure	0.0%
Household Durables	1.9%
Household Products	0.4%
Independent Power and Renewable Electricity Producers	0.0%
Industrial Conglomerates	2.3%
Interactive Media & Services	18.8%
Internet & Direct Marketing Retail	11.2%
IT Services	1.5%
Leisure Products	4.7%
Life Sciences Tools & Services	7.4%
Machinery	1.8%
Metals & Mining	0.4%
Pharmaceuticals	15.2%
Semiconductors & Semiconductor Equipment	16.7%
Software	19.0%
Technology Hardware, Storage & Peripherals	8.5%

Fonte: SATHER, Andrew. R&D Spending as a Percentage of Revenue by Industry [S&P 500]. eInvesting for Beginners, 8 mar. 2021. Disponível em: <<https://einvestingforbeginners.com/rd-spending-as-a-percentage-of-revenue-by-industry/>>. Acesso em: 5 maio 2025.

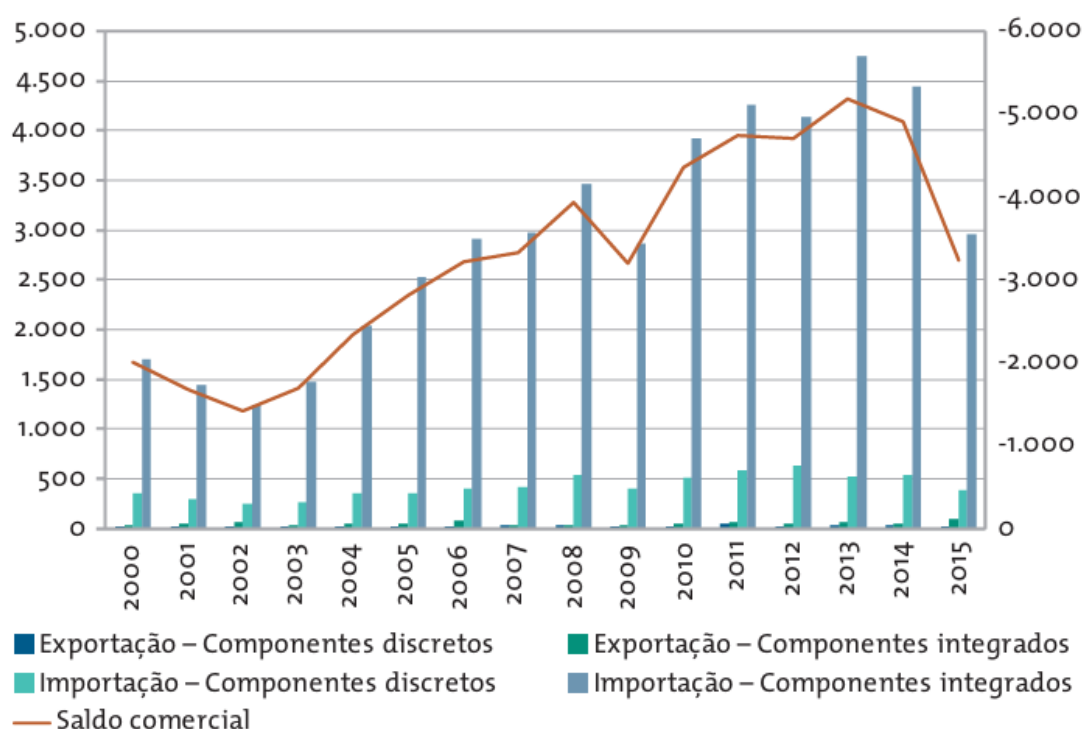
Apesar da pequena participação de empresas brasileiras no ramo de produção e design de semicondutores, há uma grande demanda por semicondutores no mercado interno, que é

alimentada principalmente por compras de computadores, smartphones, notebooks, tablets e TVs. O Brasil possui 464 milhões de dispositivos digitais, ou seja, mais de 2,2 dispositivos digitais por habitante. Não somente, há 1,2 smartphones por habitantes, totalizando 249 milhões de celulares. Somente em 2022, foram vendidas 12,4 milhões de unidades de desktops, notebooks e tablets no país (MEIRELLES, 2023).

O gráfico abaixo mostra o fluxo comercial brasileiro de componentes de semicondutores entre 2000 e 2015. Como é possível observar, o setor é cronicamente deficitário. As importações de componentes discretos (componentes eletrônicos individuais, como transistores e resistores) e componentes integrados (combinação de vários componentes discretos em um único chip) são muito maiores às exportações. Em 2013, o déficit do setor correspondeu a mais de US\$5 bilhões e, em 2014, correspondeu a US\$4,9 bilhões. O fator que chama mais atenção nessa questão é o caráter estrutural do déficit e a disparidade entre a relação importação-exportação (FILIPPIN, 2020).

Gráfico 8. Fluxo comercial brasileiro de componentes semicondutores (2000–2015)

Figura 23. Fluxo comercial brasileiro de componentes semicondutores, 2000-2015: exportações e importações de componentes discretos e de componentes integrados – barras (US\$ milhões no eixo esquerdo) – e saldo comercial setorial – linha (US\$ milhões no eixo direito em escala invertida)



Fonte: FILIPPIN, Flavia. Estado e desenvolvimento: a indústria de semicondutores no Brasil. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, mar. 2020. 438 p. (Prêmio BNDES de Economia; 37). Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/19660/1/Premio37_Mestrado.pdf>. Acesso em: 5 maio 2025.

Os produtos eletrônicos exportados pelo Brasil são, no geral, de complexidade tecnológica média a baixa, focando em: motores, transformadores e componentes passivos. De qualquer forma, apesar desses produtos serem fundamentais para a indústria, não representam os segmentos mais avançados em termos de complexidade tecnológica.

Tabela 7. Principais produtos eletrônicos exportados pelo Brasil (2010–2015)

Tabela A2. Principais produtos eletrônicos exportados pelo Brasil, 2010-2015 (US\$ FOB milhões)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Componentes para equipamentos industriais	532,4	692,0	981,3	761,2	663,6	630,0
Eletrônica embarcada	715,9	861,8	809,0	784,7	642,3	565,3
Motores e geradores	543,7	714,8	757,9	740,9	724,9	539,4
Motocompressor hermético	644,6	637,2	665,7	550,8	478,5	426,5
Instrumentos de medida	214,7	249,2	247,9	255,5	275,6	265,8
Componentes para material elétrico de instalação	228,8	236,2	234,8	239,5	232,9	205,0
Componentes passivos	156,3	180,8	161,5	186,8	192,0	184,5
Componentes para telecomunicações	196,3	277,4	230,7	196,6	155,9	178,4
Transformadores	312,9	214,2	221,5	237,7	244,8	156,0
Grupos eletrogêneos	173,1	96,1	70,3	161,9	146,4	143,0

Fonte: Abinee (2016).

Fonte: FILIPPIN, Flavia. Estado e desenvolvimento: a indústria de semicondutores no Brasil. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, mar. 2020. 438 p. (Prêmio BNDES de Economia; 37). Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/19660/1/Premio37_Mestrado.pdf>. Acesso em: 5 maio 2025.

As importações, por outro lado, correspondem a produtos de alta complexidade tecnológica e que exigem uma grande infraestrutura para fabricação. Esse é o caso de

semicondutores, componentes avançados de telecomunicações e informática e outros. Como mencionado anteriormente, o processo de fabricação desses componentes é extremamente custoso e sofisticado, formando barreiras grandes para a disseminação desse tipo de produção no Brasil.

Tabela 8. Principais produtos eletrônicos importados pelo Brasil (2010-2015)

Tabela A3. Principais produtos eletrônicos importados pelo Brasil, 2010-2015 (US\$ FOB milhões)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Componentes para telecomunicações	4.644,0	5.636,6	5.653,4	6.645,0	6.833,8	5.075,7
Semicondutores	4.424,4	4.848,6	4.766,8	5.272,8	4.983,9	3.355,1
Componentes para informática	3.618,8	3.127,8	3.569,2	3.249,3	3.126,4	2.375,8
Instrumentos de medida	1.436,5	1.721,2	1.663,6	1.879,9	1.739,1	1.397,7
Eletrônica embarcada	1.067,1	1.311,3	1.466,5	1.754,8	1.587,9	1.344,5
Componentes para equipamentos industriais	967,9	1.256,0	1.446,1	1.609,1	1.493,9	1.217,5
Componentes passivos	864,8	976,5	970,9	1.044,1	995,5	742,2
Componentes para material elétrico de instalação	747,4	899,4	880,6	1.003,6	903,0	719,8
Aparelhos eletromédicos	772,0	783,1	723,1	781,0	786,1	659,1
Componentes para utilidades domésticas	461,7	616,4	613,1	799,2	841,5	635,7

Fonte: Abinee (2016).

Fonte: FILIPPIN, Flavia. Estado e desenvolvimento: a indústria de semicondutores no Brasil. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, mar. 2020. 438 p. (Prêmio BNDES de Economia; 37). Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/19660/1/Premio37_Mestrado.pdf>. Acesso em: 5 maio 2025.

A tabela abaixo consolida as exportações e importações acima entre os períodos de 2010 a 2015. Um fator que novamente chama a atenção é o volume monetário que importamos da indústria de produtos eletrônicos que, em alguns anos, chega próxima a ser seis vezes maior do que o volume de exportações. Isso evidencia que o Brasil se encontra em estágios iniciais de desenvolvimento industrial no setor e que foca em exportar matéria prima (como o Silício) para

fabricação de componentes eletrônicos para depois importá-los a valores exorbitantes, que será comentado com maior profundidade adiante.

Tabela 9. Balança comercial brasileira de produtos eletrônicos: exportações e importações (2010–2015)

Ano	Exportações (US\$ milhões)	Importações (US\$ milhões)	Importação - Exportação (US\$ milhões)
2010	3.718,70	18.004,60	14.285,90
2011	3.959,70	20.176,90	16.217,20
2012	4.380,60	21.753,90	17.373,30
2013	4.115,60	23.969,20	19.853,60
2014	3.756,70	22.287,80	18.531,10
2015	3.293,90	17.522,10	14.228,20

Fonte: FILIPPIN, Flavia. Estado e desenvolvimento: a indústria de semicondutores no Brasil. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, mar. 2020. 438 p. (Prêmio BNDES de Economia; 37). Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/19660/1/Premio37_Mestrado.pdf>. Acesso em: 5 maio 2025.

Os pontos revelados acima também destacam que o Brasil possui uma participação pequena na cadeia global de produção de semicondutores, com atuação central na exportação de Silício e na fase de montagem e teste de wafers de silicone, conforme apontado por Rogério Nunes, presidente da ABISEMI (Associação Brasileira da Indústria de Semicondutores) (ZANINI, 2024). Ademais, o Brasil desempenha um papel importante de comprador de semicondutor para o resto do mundo, que gera um alto nível de dependência tecnológica externa para um componente que está se tornando, gradativamente, cada vez mais estratégico. Caso haja uma nova crise de oferta de semicondutores, o Brasil não será capaz de suprir a demanda interna com sua produção nacional e terá de paralisar indústrias e setores vitais para a economia que geram efeito multiplicador, como a indústria automotiva e a indústria bélica. A última acompanha um risco de segurança nacional, visto que não seria possível manter ou fabricar materiais bélicos que são vitais para a garantia da soberania nacional. A declaração do presidente da ABISEMI reforça mais essa dependência externa:

“O Brasil representa cerca de 2,5% do mercado mundial de US\$470 bilhões. Grande parte desses produtos é importado, já que a Abisemi atende apenas 10% do mercado brasileiro. Portanto, 90% do mercado brasileiro é composto por importações. A dependência é considerável. Dessa forma, as empresas sofrem ainda mais para garantir o material ou os preços.” (tradução nossa) (RT STAFF REPORTERS, 2021).

Um dos relatos mais recentes dos impactos de escassez de semicondutores ocorreu na invasão russa à Ucrânia. Gina Raimondo, Secretária de Comércio do governo Biden, fez a seguinte declaração em 2022:

“Conversei recentemente com todos os contratantes de defesa nacional, que estão trabalhando horas extras na questão do reabastecimento para a Ucrânia, e o maior ponto de dor deles são os chips. Há 250 chips ou mais em cada sistema de lançamento de mísseis Javelin.” (tradução nossa) (WALL STREET JOURNAL, 2022).

2.2. Mitigação de risco e limitação de danos em eventual escassez

Com o aumento dos efeitos da globalização nas últimas décadas, as cadeias produtivas se tornaram cada vez mais fragmentadas e especializadas. De modo geral, a divisão internacional do trabalho pode ser vista como positiva, dado que há a aplicação do princípio da vantagem comparativa ricardiano. Entretanto, o alto nível de especialização e regionalização de processos produtivos globais aumenta os riscos de integridade de cadeias globais: um único evento é capaz de derrubar uma entidade, que por sua vez derruba o resto da cadeia. Tendo estabelecido previamente os riscos inerentes às cadeias globais de produção de semicondutores, é introduzido ao tema uma questão chave: como o estado brasileiro pode mitigá-los ou, em última instância, limitar o impacto sofrido em uma eventual escassez?

Uma das formas mais eficientes de se proteger é diversificando fontes e parceiros comerciais, ou seja, “Não coloque todos os ovos na mesma cesta”. Com a recente protagonização chinesa na economia global, isso se torna cada vez mais difícil: em 2020, foram responsáveis por produzir 14,7% de todas as exportações globais, um salto enorme quando comparado a 2004, por exemplo, que representava “somente” 8%. A China também é o principal parceiro comercial de 128 países, que significa que qualquer disrupção no mercado chinês implica, provavelmente, uma disrupção global (SAVOY; RAMANUJAM, 2021).

A pandemia forçou, de certa forma, que grandes potências econômicas focassem mais em diversificar e protegessem setores de interesse nacional. A diversificação pôde ser vista na fonte de matérias primas para produção nacional, importações de bens e serviços e transportes

e logística através de países que fossem geograficamente, economicamente e politicamente diversos, com o objetivo de reduzir choques nas cadeias produtivas, que podem frear a economia (SAVOY; RAMANUJAM, 2021).

Previamente, citei que a China concentrou 97% das reservas de Gálio em 2020, que é considerado um metal raro. Em 2010, o Japão buscou diversificar suas fontes de metais raros, como consequência de um corte de exportações chinesas devido a disputas territoriais nas ilhas Senkaku e Diaoyu. Parte da estratégia japonesa foi buscar parcerias em países como Cazaquistão, Namíbia e Malásia. Com a pandemia, esses esforços de independência de importação da China foram intensificados, com o governo japonês providenciando pacotes de incentivos de US\$ 2,2 bilhões em 2020 e de US\$2,1 bilhões em 2021, além de criações de subsídios para deslocar indústrias e logísticas para fora do território chinês. Ao fim de 2021, já havia mais de 81 projetos japoneses fora da China operando com incentivos do governo (SAVOY; RAMANUJAM, 2021).

É nesse aspecto que é vital a boa performance da diplomacia brasileira e do governo em manter boas relações exteriores, de modo que evitem fechar oportunidades de acordos comerciais. O princípio de não-intervenção do Itamaraty é extremamente valioso, visto que permite que o Brasil mantenha fortes relações econômicas com grandes potências em um mundo extremamente polarizado.

Em assuntos mais sensíveis, o Japão e os Estados Unidos firmaram parcerias, como a “Strategy for Semiconductors and the Digital Industry” (Estratégia para Semicondutores e a Indústria Digital) em 2021. Essa parceria tem como objetivo central promover o desenvolvimento em conjunto de pesquisa tecnológica para fazer frente à China. Também foi criado o “Quad”, ou Quadrilateral Security Dialogue (Diálogo de Segurança Quadrilateral), composto por Austrália, Estados Unidos, Japão e Índia. Essa iniciativa tem o intuito de promover a resiliência e melhores práticas em cadeias globais de produção, além de desenvolver novas cadeias produtivas que possam acelerar o desenvolvimento de fontes sustentáveis de energia e do setor de semicondutores (SAVOY; RAMANUJAM, 2021).

Diversos países, assim como o Brasil, precisam criar políticas que protejam e estabilizem as cadeias, entre elas:

- **Priorização de setores para reduzir risco:** Certos setores da economia geram efeito multiplicador na economia e são vitais para alimentar outras cadeias produtivas, fornecendo matérias-primas, insumos e/ou componentes essenciais que possibilitam a produção. Os semicondutores, por exemplo, alimentam os setores de eletrônica de consumo, automotivo, saúde, telecomunicações, tecnologia da informação, defesa e outros. Por mais que a receita do setor de semicondutores possa ser menor que a dos supracitados, uma paralisação dessa cadeia produtiva paralisaria parcial ou integralmente as cadeias alimentadas.
- **Fortalecimento e diversificação de infraestrutura e logística:** Uma infraestrutura sólida e diversificada é fundamental para que não haja disrupções em etapas produtivas. Malhas de transporte bem formuladas permitem escoamento rápido e seguro da produção, enquanto que uma boa estrutura nacional de energia e comunicação garantem o funcionamento sem interrupções de fábricas e serviços. O Brasil é um exemplo da importância de diversificar os modelos de escoamento: de acordo com a Secretaria Nacional de Trânsito, mais de 75% de todas as mercadorias em circulação no território nacional são transportadas por rodovias (BRASIL, 2020). Em 2018, com a Greve dos Caminhoneiros, houve uma perda nefasta de 1,2% do índice de crescimento do PIB e recuo da indústria de 10,9% no ano, além de todos os transtornos gerados e deterioração da imagem brasileira frente ao cenário internacional (GIL, 2021).
- **Foco em desenvolvimento econômico sustentável:** Catástrofes ambientais, cada vez mais frequentes e intensas, deixaram de ser uma preocupação do futuro. Secas paralisam usinas hidrelétricas, que aumentam o custo de consumo elétrico e trazem inflação intensa para a economia, além de ameaçar paralisar ou inviabilizar economicamente indústrias e investimentos. Climas cada vez mais instáveis também são razão para preocupação, visto que estruturas estratégicas são submetidas a altos níveis de estresse e, frequentemente, falham.
- **Desenvolvimento de capacidade comercial acompanhado de reformas comerciais:** Conforme já citado anteriormente, a diversificação de parceiros comerciais é

importantíssimo. Muito frequentemente, só é possível atrair novas parcerias com reformas em regulações comerciais, incentivos fiscais, redução de barreiras aduaneiras ou até através da criação de acordos comerciais, como o Mercosul e o BRICS.

Acredito firmemente que o Mercosul agrega valor imensurável para o Brasil, dado que possibilita a regionalização e internalização de cadeias produtivas e investimentos em capital fixo. Isso estimula a economia regional, fomenta investimentos, possibilita desenvolvimento de indústrias e impede (ou atrasa) que o Brasil se aproxime cada vez mais de uma economia com característica de enclave: primário-exportadora, com baixíssimo nível de industrialização, geradora de desigualdade social e com repatriação de capital por multinacionais que exploram os recursos da região.

Acordos de cooperação regional de países em desenvolvimento, como o Mercosul, são vitais para que haja uma protocooperação em que cada país foque em sua vantagem comparativa e aumentem a industrialização regional, que reduz a dependência econômica Centro-Periferia e minimiza a deterioração dos termos de troca no longo prazo. Acordos comerciais fazem parte de uma série de ferramentas que possibilitam promover não só o crescimento econômico como também desenvolvimento socioeconômico, que promove bem-estar social, redução da pobreza, desconcentração de renda e aumento na qualidade de vida.

É incomum que importações advindas da América Latina ou de regiões próximas sejam a mais viável em termos de custos. É frequente que empresas foquem em fontes únicas de provedores de longa distância que ofereçam preços muito abaixo do nível de mercado, visto que a distância geográfica tem se tornado um empecilho cada vez menor com o fenômeno da globalização. Nesses casos, para evitar o custo mais elevado de uma cadeia de produção diversificada, os executivos das empresas optam por não fazer nada e esperar que não haja “Atos de Deus” ou eventos de força maior. De acordo com um estudo do MIT, a opção mais barata à primeira vista pode acabar se tornando a mais cara em momentos de disrupção de cadeias produtivas, com o investimento a mais em diversificação e redução de risco de cadeias logísticas pode se tornar a alternativa mais viável em termos financeiros no longo prazo.

- **Estoque de recursos críticos para a produção:** É de suma importância que tanto o governo quanto empresas mantenham estoques de emergência em casos de eventuais disrupções. Isso permite que as operações não sejam paralisadas integralmente e o “freio

de mão” da economia não seja puxado. Após o tsunami de 2011 em Fukushima, a Toyota deixou de seguir exclusivamente o modelo de “Just in Time” pela qual é tão conhecida e passou a assumir um modelo híbrido, onde mantém estoque de componentes críticos para a produção, inclusive o semicondutor. Isso permitiu que a Toyota, durante a crise de oferta de semicondutores de 2021, tivesse uma vantagem à frente de seus competidores e mitigasse os danos de vendas e produção de automóveis (FRANCE 24, 2021).

Entender políticas governamentais e do setor privado que estabilizam cadeias são importantíssimas não somente para mitigar riscos, mas também para compreender se a justificativa de desenvolver uma indústria nacional de semicondutores com o objetivo de proteger o Brasil de uma nova crise de oferta e promover o desenvolvimento econômico é realmente válida ou não. Analisar se o alto custo de investimento inicial em capital fixo requerido e gastos do governo em incentivos fiscais fazem sentido ou se o melhor cenário é simplesmente continuarmos importando de países produtores e focarmos na fortificação e resiliência das cadeias produtivas. Dado que já analisamos a fragilidade das cadeias e como reduzi-las, resta analisar a nova política industrial brasileira e o papel do Estado no desenvolvimento da indústria de semicondutores.

Para compreender se há a necessidade ou até ambiente político, social e econômico para a fomentação da indústria de semicondutores nacional, é possível tomar como referência um país com industrialização tardia e em desenvolvimento que, com suporte do Estado, implementou fortes medidas de incentivo ao crescimento industrial e foi bem-sucedido: Taiwan. É evidente que o contexto em que os taiwaneses aplicaram as políticas econômicas e industriais é muito diferente do momento que o Brasil vive, mas é crucial compreender os pontos de sucesso do planejamento e verificar a possibilidade de integrá-los a um plano nacional.

3. PERSPECTIVAS DA NOVA POLÍTICA INDUSTRIAL PARA O USO DE MICROCHIP E O PAPEL DO ESTADO

3. 1. Estudando o sucesso industrial de Taiwan

Em meados da década de 70, países que integravam os chamados “Tigres Asiáticos”, como Taiwan e a Coreia do Sul, iniciaram um processo de transição de suas estruturas produtivas, alterando o foco de indústrias intensivas em fator Trabalho para intensivas em fator Capital. Como os países em questão possuíam pouquíssima tecnologia nacional, se fez necessário avaliar, selecionar e executar a transferência de tecnologias de outros países (HSU, 2017).

O governo de Taiwan, buscando trazer independência industrial e vantagens comerciais para o país, traçou um plano de nacionalismo econômico com enfoque na fomentação da indústria nacional. E, por nacionalismo econômico, faço menção à associação entre o desenvolvimento econômico nacional com a identidade da nação e a criação de incentivos por parte do Estado para que haja uma integração social em prol do crescimento do país. Nesse caso, não deve se pressupor que haja associações entre nacionalismo econômico e políticas governamentais totalitárias e antidemocráticas (HSU, 2017).

Por volta de 1973, houve o agravamento de crises econômicas internacionais e a subsequente redução de demanda em países avançados, fator esse que reduziu o desenvolvimento econômico em Taiwan. Simultaneamente, os Estados Unidos optaram por cortar relações diplomáticas com Taiwan e fortalecê-las com a China. Em 1971, Taiwan foi substituído pela China no comitê do Conselho de Segurança da ONU. Em decorrência da crise geopolítica e econômica global, Taiwan se viu forçado a adotar políticas mais inovadoras para fomentar a economia nacional fragilizada e, dentro desse plano estava o planejamento do desenvolvimento de uma indústria nacional de semicondutores (HSU, 2017).

Apesar da indústria de semicondutores, na época, ser relativamente nova e extremamente intensiva em Capital (principalmente para Taiwan, que à época era indubitavelmente um país em desenvolvimento), a produção de semicondutores vinha se provando essencial para sustentar o boom da indústria de eletrônicos da época. À época, era extremamente contestado se o investimento de US\$10 milhões (aprox. US\$78 milhões em

valores atuais) (OFFICIAL DATA FOUNDATION, 2025). Como Taiwan também não possuía domínio sobre as tecnologias associadas à indústria de semicondutores, o governo apoiou a contratação de engenheiros de eletrônicos de outros países, principalmente da China, para que pudessem prestar auxílio e conselhos (HSU, 2017).

Simultaneamente, o governo convidou empresas americanas para efetuar transferências de tecnologia. Ou seja, apesar da ruptura diplomática formal entre os países, ainda havia uma colaboração tecnológica entre empresas americanas e Taiwan. Isso veio com um interesse dos EUA em que Taiwan se fortalecesse economicamente e, assim, pudesse continuar como um aliado geopolítico importante, mesmo sem o reconhecimento oficial. Isso foi particularmente relevante durante a Guerra Fria, dado que era do interesse dos EUA que Taiwan fosse economicamente viável e capaz de resistir à influência do comunismo chinês (HSU, 2017).

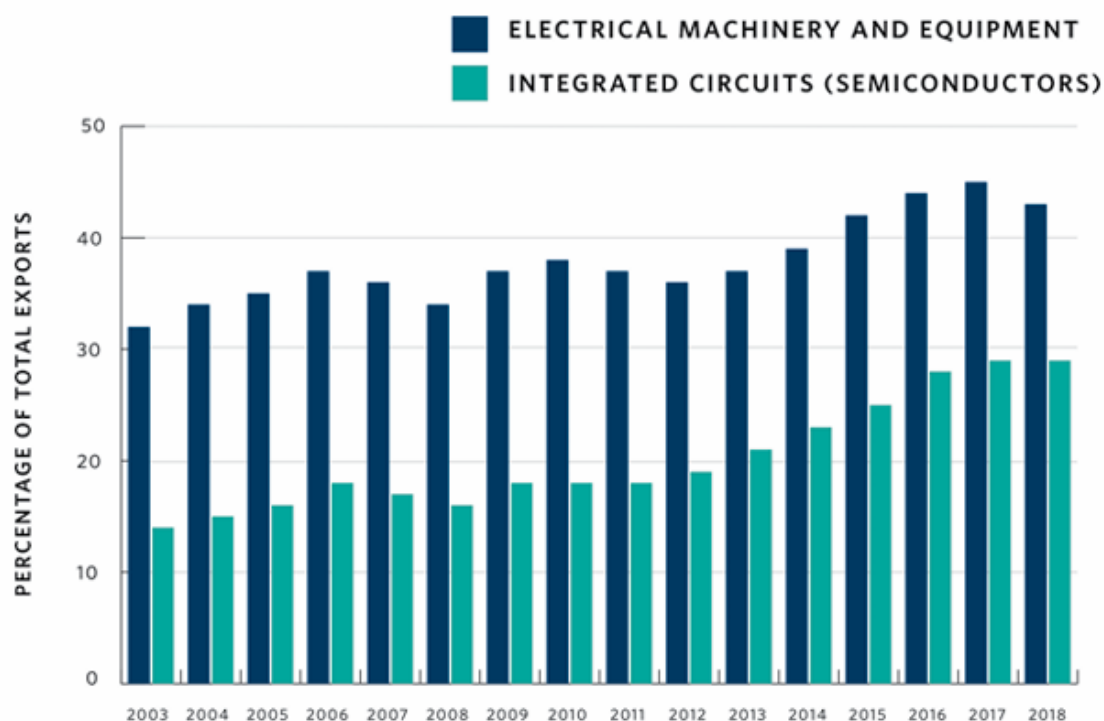
Em meados da década de 1980, o governo taiwanês passou a adotar uma estratégia de desenvolvimento industrial ainda mais voltada para a alta tecnologia e para a internacionalização de suas indústrias-chave. Com o objetivo de inserir o país nas redes globais de valor, o governo incentivou a criação de joint ventures e parcerias com empresas estrangeiras, permitindo a transferência de tecnologias e conhecimentos gerenciais essenciais para a competitividade do país. Essa internacionalização, porém, não representou um afastamento do nacionalismo econômico, mas sim uma adaptação pragmática, que continuou priorizando a autonomia e a robustez da indústria taiwanesa.

Para viabilizar esse crescimento no setor de alta tecnologia, foram criadas zonas industriais e parques tecnológicos, com destaque para o Parque Científico de Hsinchu, inaugurado em 1980. Este parque foi concebido para oferecer uma infraestrutura moderna e incentivos fiscais que atraíssem investimentos estrangeiros e facilitassem a cooperação entre empresas, centros de pesquisa e universidades. A proximidade com instituições de ensino superior e centros de pesquisa proporcionava um ambiente propício para a inovação, criando um cluster de alta tecnologia que se tornou fundamental para a competitividade global de Taiwan. Esse modelo de parque tecnológico foi um dos fatores centrais para consolidar Taiwan como um dos principais fornecedores de semicondutores e equipamentos eletrônicos, alavancando o país para um papel de destaque no cenário industrial global.

Gráfico 9. Participação de máquinas elétricas e semicondutores nas exportações totais de Taiwan (2003–2018)

FIGURE 1

Hardware as a Percentage of Taiwan's Total Exports, 2003-2018



Fonte: KENNEDY, Scott. Assuring Taiwan's Innovation Future. Carnegie Endowment for International Peace, 8 jan. 2020. Disponível em: <https://carnegieendowment.org/research/2020/01/assuring-taiwans-innovation-future?lang=en>. Acesso em: 13 maio 2025.

Em 1987, a criação da Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) marcou um divisor de águas para a indústria de semicondutores de Taiwan. Ao adotar o modelo de “foundry”, onde se especializou na fabricação de chips para empresas que focavam apenas no design, a TSMC promoveu uma transformação no setor ao oferecer às empresas de design a possibilidade de terceirizarem a produção. Essa estratégia não apenas ampliou as economias de escala e aumentou a competitividade das empresas taiwanesas, mas também posicionou a TSMC como um dos maiores fabricantes de semicondutores do mundo. A TSMC rapidamente se consolidou como uma parceira essencial para grandes empresas de tecnologia, alavancando a posição de Taiwan na cadeia de valor global de semicondutores e destacando-se como um símbolo do sucesso da política industrial taiwanesa.

Além disso, a criação de uma política de incentivo ao retorno de talentos – também chamada de “circulação de cérebros” – foi decisiva para o sucesso da TSMC e para a inovação industrial do país. Cientistas e engenheiros taiwaneses formados no exterior, especialmente nos Estados Unidos, retornaram ao país, trazendo consigo conhecimentos avançados e experiência prática adquirida em centros tecnológicos como o Vale do Silício. Esse retorno de talentos impulsionou a criação de novas tecnologias e reforçou o setor de pesquisa e desenvolvimento (P & D), reduzindo a dependência do país em relação à mão de obra estrangeira e fortalecendo a capacidade interna de inovação. A circulação de cérebros foi, assim, uma das estratégias fundamentais para que Taiwan conseguisse desenvolver uma base tecnológica sólida e competitiva.

A trajetória da TSMC e da indústria de semicondutores de Taiwan também foi influenciada por fatores geopolíticos. Durante a Guerra Fria, o apoio econômico e tecnológico dos Estados Unidos foi essencial para que Taiwan fortalecesse sua economia e se posicionasse como um aliado estratégico na Ásia. Esse apoio ainda persiste, mas, com as crescentes tensões entre os Estados Unidos e a China, Taiwan se encontra em uma posição delicada. Dependente de ambos os mercados para suas exportações e importações, o país enfrenta desafios significativos para manter sua independência econômica e assegurar a estabilidade de sua cadeia produtiva. Em resposta a esses riscos, a TSMC anunciou recentemente investimentos em novas fábricas nos Estados Unidos e no Japão, uma medida estratégica que visa reduzir sua dependência da produção exclusiva em Taiwan e fortalecer as relações comerciais com parceiros estratégicos.

A adaptação pragmática do nacionalismo econômico taiwanês, que prioriza a integração da economia local com o mercado global ao mesmo tempo em que fortalece setores estratégicos, possibilitou ao país construir uma identidade econômica baseada na inovação e na tecnologia. Taiwan demonstrou que é possível aliar nacionalismo econômico e uma postura aberta ao investimento estrangeiro, criando um ambiente de competitividade global que consolidou sua posição na economia mundial. Esse modelo de “nacionalismo econômico inclusivo” permitiu que Taiwan se desenvolvesse como um exemplo bem-sucedido de integração global, destacando-se pela capacidade de inovar e colaborar com o mercado internacional sem perder a autonomia.

O sucesso de Taiwan oferece importantes lições para economias emergentes, como o Brasil, que buscam desenvolver uma base industrial robusta e competitiva no setor de alta tecnologia. O exemplo taiwanês revela que, mesmo em países com recursos naturais limitados, é possível criar uma indústria tecnológica avançada desde que haja um investimento consistente em educação, infraestrutura tecnológica e colaboração estratégica com parceiros internacionais. No Brasil, adaptar o modelo taiwanês poderia permitir o desenvolvimento de uma indústria de semicondutores sólida, reduzindo a dependência de importações em setores críticos e promovendo o fortalecimento da autonomia tecnológica.

Dessa forma, o desenvolvimento da indústria de alta tecnologia em Taiwan não foi meramente fruto de recursos financeiros, mas de um planejamento estratégico que combinou educação, capacitação técnica, políticas de incentivo à inovação e parcerias internacionais. A TSMC e outras iniciativas governamentais ilustram como Taiwan conseguiu transformar suas limitações em oportunidades de crescimento, desenvolvendo um ecossistema inovador e resiliente que continua a impulsionar sua economia e fortalecer sua posição global.

O modelo taiwanês, com sua ênfase em inovação e na construção de capacidades internas, demonstra que é possível para economias emergentes, como o Brasil, alavancar políticas industriais bem estruturadas e criar um ambiente favorável ao desenvolvimento tecnológico. Esse processo demanda uma combinação de políticas educacionais, incentivo à pesquisa e desenvolvimento, e parcerias estratégicas com o mercado internacional, que permitam ao país se integrar às cadeias globais de valor, assegurando o crescimento sustentável de sua economia.

O estudo de caso de Taiwan oferece uma base analítica rica para entender e refletir sobre a situação brasileira, especialmente no contexto do desenvolvimento de uma indústria de alta tecnologia e da inserção do Brasil nas cadeias globais de valor. Embora o Brasil e Taiwan apresentem contextos distintos em termos de recursos naturais, tamanho de mercado e cenários geopolíticos, os elementos estratégicos adotados pelo governo taiwanês fornecem exemplos que podem inspirar e complementar as políticas brasileiras voltadas para o desenvolvimento de setores tecnológicos e industriais.

Primeiramente, Taiwan destaca a importância de uma visão estratégica de longo prazo, centrada no investimento contínuo em educação técnica e inovação, como fundamentos para o

fortalecimento de sua indústria nacional. No Brasil, apesar de existir um sistema educacional amplo, ainda se observam dificuldades na formação de capital humano especializado, especialmente nas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM). O caso taiwanês evidencia que o desenvolvimento de uma força de trabalho capacitada, alinhada com as necessidades industriais e tecnológicas, é fundamental para o avanço e a competitividade de um país em setores de alta tecnologia. Dessa forma, o Brasil poderia adotar uma abordagem mais integrada, na qual governo, instituições de ensino e setor privado colaborem para promover a formação técnica em áreas estratégicas, incentivando o desenvolvimento de competências que contribuam para a expansão de indústrias de alta tecnologia, como semicondutores e tecnologias digitais.

Outro aspecto relevante do modelo taiwanês é a criação de instituições de apoio, como o Instituto de Pesquisa de Tecnologia Industrial (ITRI), que atua como elo entre o setor público e a iniciativa privada, facilitando a transferência de tecnologia e a adaptação de inovações estrangeiras ao contexto local. No caso brasileiro, o fortalecimento de instituições de pesquisa e inovação que colaborem de maneira direta com a indústria poderia impulsionar a criação de um ecossistema de inovação mais dinâmico e sustentável. A criação de incentivos fiscais e regulatórios específicos para a pesquisa e o desenvolvimento, além de zonas de inovação similares ao Parque Científico de Hsinchu, poderiam estimular a atração de empresas de tecnologia e a formação de clusters especializados, promovendo a sinergia entre empresas, centros de pesquisa e universidades.

A experiência taiwanesa também ilustra o valor de políticas de nacionalismo econômico inclusivo, onde o fortalecimento da indústria local é equilibrado com a abertura para parcerias internacionais. Taiwan, embora buscasse autonomia industrial, manteve uma postura de cooperação com empresas estrangeiras, utilizando a transferência de tecnologia como um trampolim para promover sua própria inovação. No caso do Brasil, que historicamente possui uma economia voltada para o setor primário e com uma forte dependência de importações de alta tecnologia, um modelo semelhante poderia ser adotado para fortalecer a indústria nacional sem isolar o país do comércio global. Assim, o Brasil poderia incentivar parcerias estratégicas com multinacionais e promover joint ventures que facilitassem o acesso a tecnologias de ponta e conhecimentos de gestão, permitindo o fortalecimento de suas indústrias e reduzindo a dependência de importações em setores críticos.

Além disso, a adaptação do conceito de "circulação de cérebros", onde cientistas e engenheiros taiwaneses formados no exterior retornaram ao país, poderia ser altamente benéfica para o Brasil. O país possui um contingente significativo de estudantes e profissionais qualificados que migram em busca de oportunidades no exterior. Criar políticas que incentivem o retorno desses talentos, oferecendo oportunidades de trabalho em projetos estratégicos e um ambiente favorável ao empreendedorismo e à inovação, poderia contribuir para a construção de uma base sólida de conhecimento técnico e científico. Esse movimento, assim como em Taiwan, poderia impulsionar o desenvolvimento de novas tecnologias e reduzir a dependência de profissionais estrangeiros, fortalecendo a autonomia e a capacidade inovadora do Brasil.

O contexto geopolítico de Taiwan também apresenta uma lição relevante para o Brasil, ao lidar com a interdependência econômica em um cenário global de tensões. O Brasil, com sua posição estratégica e vastos recursos naturais, tem um potencial significativo para consolidar parcerias tanto com países desenvolvidos quanto com outras economias emergentes. Inspirado pelo modelo taiwanês, o Brasil poderia adotar uma política externa que favoreça uma inserção estratégica nas cadeias produtivas globais, incentivando o crescimento de setores como o de semicondutores, em colaboração com países e empresas que lideram essas tecnologias. Essa estratégia, além de fortalecer a economia brasileira, permitiria ao país maior resiliência e adaptabilidade em um cenário global cada vez mais competitivo e volátil.

Por fim, o estudo do modelo taiwanês ressalta a importância de uma abordagem coordenada e integradora, na qual governo, empresas e instituições de ensino atuem de forma integrada e contínua para construir um ambiente propício à inovação e ao desenvolvimento tecnológico. Para o Brasil, esse modelo de cooperação representa uma oportunidade de fortalecer o setor industrial e tecnológico nacional, com uma política industrial moderna e alinhada às demandas do mercado global, sem desconsiderar a construção de uma base sólida de inovação e capacitação interna.

Dessa forma, o exemplo de Taiwan não apenas oferece uma referência prática de políticas bem-sucedidas, mas também aponta caminhos concretos para que o Brasil desenvolva uma indústria de alta tecnologia, competitiva e independente, capaz de atuar de forma proativa e adaptativa no cenário econômico mundial.

3. 2. O papel do Estado

O tema da policrise evidencia as interconexões entre crises climáticas, econômicas e sociais, conforme descrito no Global Risks Report 2024 do Fórum Econômico Mundial. Essas crises, ao se alimentarem mutuamente, geram vulnerabilidades complexas e multifacetadas, que demandam respostas integradas e estratégicas por parte do Estado. O papel do Estado torna-se ainda mais crítico ao se posicionar como coordenador central, capaz de criar e implementar políticas públicas que mitiguem riscos sistêmicos, promovam a resiliência econômica e assegurem a justiça social em tempos de grande incerteza (WORLD ECONOMIC FORUM, 2024). No contexto da crise de semicondutores, essa abordagem estatal é crucial para garantir a resiliência das cadeias globais de produção.

Abaixo segue uma tabela do FEM, onde observa-se os riscos globais de curto prazo (2 anos) e de longo prazo (10 anos) de acordo com sua gravidade. Os riscos de dois anos “fomentam” os riscos de longo termo, que são intrinsecamente relacionados. É de suma importância que os Estados percebam os riscos e verifiquem como esses podem se relacionar e ser mitigados:

Tabela 10. Riscos globais de curto prazo (2 anos) e de longo prazo (10 anos) por gravidade

Risco Econômico		
Risco Ambiental		
Risco Geopolítico		
Risco Social		
Risco Tecnológico		

	Curto Prazo (2 anos)	Longo Prazo (10 anos)
1º	Desinformação e informações enganosas	Eventos climáticos extremos
2º	Eventos climáticos extremos	Mudança crítica nos sistemas da Terra
3º	Polarização social	Perda de biodiversidade e colapso de ecossistemas
4º	Insegurança cibernética	Escassez de recursos naturais

5º	Conflito armado entre Estados	Desinformação e informações enganosas
6º	Falta de oportunidade econômica	Resultados adversos de tecnologias de IA
7º	Inflação	Migração involuntária
8º	Migração involuntária	Insegurança cibernética
9º	Recessão econômica	Polarização social
10º	Poluição	Poluição
11º	Mudança crítica nos sistemas da Terra	Falta de oportunidade econômica
12º	Concentração de poder tecnológico	Concentração de poder tecnológico
13º	Escassez de recursos naturais	Concentração de recursos estratégicos
14º	Confronto geoeconômico	Censura e vigilância
15º	Erosão dos direitos humanos	Conflito armado entre Estados
16º	Dívida	Confronto geoeconômico
17º	Violência dentro de Estados	Dívida
18º	Infraestrutura e serviços públicos insuficientes	Erosão dos direitos humanos
19º	Interrupções em cadeias de suprimentos essenciais	Doenças infecciosas
20º	Perda de biodiversidade e colapso de ecossistemas	Condições crônicas de saúde
21º	Censura e vigilância	Infraestrutura e serviços públicos insuficientes
22º	Escassez de mão de obra	Violência dentro de Estados
23º	Doenças infecciosas	Interrupções em infraestrutura crítica
24º	Concentração de recursos estratégicos	Resultados adversos de tecnologias de ponta
25º	Interrupções em infraestrutura crítica	Interrupções em cadeias de suprimentos essenciais
26º	Estouro de bolhas de ativos	Riscos biológicos, químicos ou nucleares

27º	Condições crônicas de saúde	Desemprego
28º	Atividade econômica ilícita	Recessão econômica
29º	Resultados adversos de tecnologias de IA	Escassez de mão de obra
30º	Desemprego	Estouro de bolhas de ativos
31º	Riscos biológicos, químicos ou nucleares	Atividade econômica ilícita
32º	Ataques terroristas	Inflação
33º	Desastres naturais não relacionados ao clima	Desastres naturais não relacionados ao clima
34º	Resultados adversos de tecnologias de ponta	Ataques terroristas

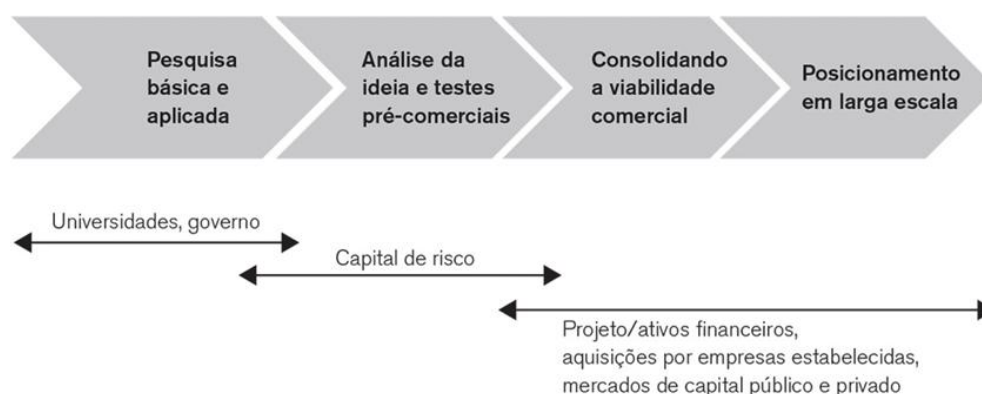
Fonte: WORLD ECONOMIC FORUM. The Global Risks Report 2024. Geneva: World Economic Forum, 2024. Disponível em: <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024>. Acesso em: 4 dez. 2024.

A intervenção estatal em tempos de polícrise necessita transcender a gestão imediatista de crises imediatas, priorizando o planejamento estratégico e a construção de capacidades institucionais. É fundamental que os governos invistam em pesquisa, infraestrutura e sistemas de inovação para garantir a sustentação de cadeias produtivas e, simultaneamente, fomentar uma transição para modelos econômicos mais sustentáveis e inclusivos. Mariana Mazzucato reforça a importância de um Estado visionário e empreendedor, argumentando que ele não deve apenas corrigir falhas de mercado, mas também moldar mercados e promover inovação em áreas negligenciadas pelo setor privado. Tal abordagem exige ousadia para financiar tecnologias de alto risco e estruturar parcerias que alinhem os objetivos públicos e privado (MAZZUCATO, 2014).

Tabela 11. Risco de perda nos diferentes estágios em que os investimentos são feitos (%)

Ponto em que o investimento é feito	Risco de perda
Estágio inicial	66,2%
Estágio de arranque	53%
Segundo estágio	33,7%
Terceiro estágio	20,1%
Estágio ponte ou pré-público	20,9%

Fonte: MAZZUCATO, Mariana. O Estado Empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado. Tradução de Elvira Serapicos. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.

Gráfico 10. Estágios de investimento do capital de risco

Fonte: MAZZUCATO, Mariana. O Estado Empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado. Tradução de Elvira Serapicos. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.

A implementação de estratégias estatais eficazes para a industrialização deve considerar os aprendizados históricos apresentados por Ha-Joon Chang, que alerta para o "chutar a escada", ou seja, a exclusão de políticas protecionistas e de incentivo estatal após o alcance de um alto nível de desenvolvimento pelos países hoje industrializados. Chang destaca que o Estado desempenhou papel central no desenvolvimento de infraestrutura econômica e tecnológica de nações atualmente desenvolvidas, fornecendo subsídios, criando barreiras comerciais estratégicas e promovendo a transferência de conhecimento (CHANG, 2004).

Os Países Atualmente Desenvolvidos (PADs), como Estados Unidos, Alemanha e Japão, são exemplos de economias que, em suas trajetórias de industrialização, utilizaram estratégias de intervenção estatal para promover o desenvolvimento de setores estratégicos. A tabela Desenvolvimento dos Bancos Centrais nos PADs ilustra como essas nações fizeram uso de seus bancos centrais como instrumentos de política econômica, direcionando crédito e ajustando taxas de juros para fomentar a industrialização e sustentar o crescimento econômico.

Tabela 12. Ano de fundação e obtenção do monopólio da emissão monetária pelos bancos centrais de diversos países

	Ano da fundação	Ano da obtenção do monopólio da emissão monetária
Suécia	1688	1904
Reino Unido	1694	1844
França	1800	1848 ¹
Holanda	1814	após a década de 1860
Espanha	1829	1874
Portugal	1847	1891 ²
Bélgica	1851	1851
Alemanha	1871	1905
Itália	1893	1926
Suíça	1907	1907
EUA	1913	após 1929 ³

¹ Controlado pelos próprios banqueiros até 1936.

² O monopólio legal da emissão monetária foi estabelecido em 1887, mas o monopólio de fato só se efetivou em 1891, por causa da resistência dos outros bancos emissores. O banco continua sendo totalmente privado e não pode interferir no mercado monetário.

³ Ficaram fora do Federal Reserve System até 1929 65% dos bancos, representando 20% dos ativos bancários.

Fonte: CHANG, Ha-Joon. Chutando a escada: a estratégia do desenvolvimento em perspectiva histórica. Tradução de Luiz Antônio Oliveira de Araújo. São Paulo: Editora UNESP, 2004.

O Brasil, em sua trajetória de industrialização, enfrentou desafios estruturais que demonstram como políticas públicas isoladas são insuficientes para superar as limitações impostas por um sistema econômico periférico. Segundo Celso Furtado, a industrialização no Brasil foi marcada por um processo de modernização dependente, em que as transformações tecnológicas e produtivas não foram acompanhadas por uma distribuição equitativa de recursos e oportunidades. Isso reforça a necessidade de um Estado ativo, capaz de intervir em setores estratégicos para romper com ciclos de dependência e subdesenvolvimento (FURTADO, 1959).

Adicionalmente, a superação da financeirização do capital exige que o Estado redefina as prioridades econômicas, resgatando o valor da produção material em detrimento da especulação financeira. Ladislau Dowbor argumenta que o modelo econômico atual tem exacerbado as desigualdades e subjugado a produção real aos interesses de um capital improdutivo, reforçando a concentração de riqueza e o esvaziamento de políticas industriais

efetivas. Neste contexto, políticas públicas voltadas à industrialização devem integrar objetivos econômicos, sociais e ambientais, criando um equilíbrio entre crescimento e sustentabilidade (DOWBOR, 2016).

Por fim, cumpre destacar a complementaridade entre a atuação estatal e a participação do setor privado em projetos de industrialização. A experiência norte-americana, amplamente analisada por Mariana Mazzucato, demonstra que grandes avanços tecnológicos, como os sistemas de navegação GPS e os semicondutores avançados, surgiram de colaborações iniciadas por investimentos públicos significativos. Essa dinâmica evidencia que a criação de novas indústrias e mercados requer uma visão estatal que integre objetivos de longo prazo e o fortalecimento da base produtiva nacional (MAZZUCATO, 2014).

Dando continuidade à reflexão sobre o papel do Estado, emerge como essencial a análise crítica da financeirização do capital e de seus impactos sobre a economia produtiva e a industrialização sustentável. A financeirização, amplamente entendida como a preponderância de atividades especulativas e fluxos financeiros sobre investimentos produtivos, representa um obstáculo estrutural ao desenvolvimento equilibrado. No Brasil, tal fenômeno é evidenciado pela predominância do capital improdutivo, que concentra recursos em ativos financeiros e desvincula o sistema econômico de sua função primordial: fomentar a produção, gerar empregos e promover o bem-estar social. Ladislau Dowbor aponta que, ao privilegiar os interesses especulativos, a financeirização não apenas desacelera o investimento industrial, mas também aprofunda desigualdades e enfraquece a soberania econômica nacional (DOWBOR, 2016).

A tabela abaixo apresenta o impacto da financeirização sobre o resultado primário do Governo Central brasileiro, evidenciando como a economia nacional tem sido orientada pela valorização de ativos financeiros em detrimento da produção industrial. Conforme argumentado por Ladislau Dowbor, esse processo implica na concentração de recursos em atividades especulativas, limitando a capacidade do Estado de investir em setores estratégicos como o de semicondutores. Essa lógica econômica compromete não apenas a modernização industrial, mas também a autonomia produtiva do país, reforçando a necessidade de políticas públicas que priorizem o fortalecimento do setor produtivo e a redução da dependência de fluxos financeiros de curto prazo.

Tabela 13. Resultado Primário do Governo Central – Brasil – Anual (2010–2015)

Tabela 4.1. Resultado Primário do Governo Central - Brasil - Anual						
R\$ Milhões - Valores Correntes e % PIB						
Discriminação	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	R\$ Milhões	R\$ Milhões	R\$ Milhões	R\$ Milhões	R\$ Milhões	R\$ Milhões
II.4 Compensações Financeiras	15.480,9	18.594,3	22.614,6	23.441,1	25.151,0	18.836,9
II.5 CIDE - Combustíveis	1.775,7	2.109,7	1.117,9	57,3	116,1	448,0
II.6 Demais	1.870,3	607,8	672,6	2.300,3	2.514,9	1.235,7
III. RECEITA LÍQUIDA (I-II)	783.844,5	825.234,4	888.495,0	995.588,3	1.021.512,6	1.043.105,1
IV. DESPESAS	705.071,6	731.710,8	812.632,4	918.594,7	1.038.723,3	1.158.700,9
IV.1 Benefícios Previdenciários	254.858,6	281.438,2	316.589,5	357.003,1	394.201,2	436.090,1
IV.2 Pessoal e Encargos Sociais	167.728,4	181.412,8	188.394,5	205.152,9	222.375,4	238.499,0
IV.3 Outras Despesas Obrigatórias	81.731,5	89.849,7	102.593,5	128.607,6	154.086,2	230.825,2
IV.4 Despesas Discricionárias - Todos os Poderes	200.753,2	179.010,1	205.054,9	227.831,1	268.060,4	253.286,5
V. FUNDO SOBERANO DO BRASIL	0,0	0,0	12.400,0	0,0	0,0	855,0
VI. PRIMÁRIO GOVERNO CENTRAL	78.772,9	93.523,6	88.262,5	76.993,6	-17.210,6	-114.740,8
VII. AJUSTE METODOLÓGICO ^{12/}	1.357,9	1.137,9	1.313,8	858,4	0,0	3.888,4
VIII. DISCREPÂNCIA ESTATÍSTICA	-1.407,5	-1.626,0	-3.490,3	-2.561,3	-3.261,1	-5.803,2
IX. RESULTADO PRIMÁRIO DO GOVERNO CENTRAL (VI + VII + VIII) ^{12/}	78.723,3	93.035,5	86.086,0	75.290,7	-20.471,7	-116.655,6
X. JUROS NOMINAIS ^{12/}	-124.508,7	-180.553,1	-147.267,6	-185.845,7	-251.070,2	-397.240,4
XI. RESULTADO NOMINAL DO GOVERNO CENTRAL (IX + X) ^{12/}	-45.785,5	-87.517,6	-61.181,7	-110.554,9	-271.541,9	-513.896,0
% do PIB gasto em juros	-3,2%	-4,1%	-3,1%	-3,5%	-4,4%	-6,7%
Memo:						
PIB Nominal ^{13/}	3.885.847,0	4.373.658,0	4.805.913,0	5.316.455,0	5.687.309,0	5.904.331,2

Fonte: DOWBOR, Ladislau. A era do capital improdutivo: por que oito famílias têm mais riqueza do que a metade da humanidade e como isso nos afeta. São Paulo: Autonomia Literária, 2016.

Os impactos desse modelo são sentidos de forma aguda em economias emergentes, como a brasileira, onde o acesso restrito ao crédito e as elevadas taxas de juros reforçam a concentração de riqueza e desestimulam iniciativas industriais. Em contextos como esse, a ausência de políticas públicas eficazes para regular o mercado financeiro tem permitido a perpetuação de práticas que drenam recursos da economia real. Além disso, a priorização de retornos financeiros imediatos em detrimento de estratégias de longo prazo limita a capacidade de o país implementar projetos industriais estruturantes, comprometendo sua competitividade global (DOWBOR, 2016).

Nesse cenário, o Estado tem um papel indispensável na formulação e implementação de medidas que revertam os efeitos nocivos da financeirização. Entre as ações prioritárias, destaca-se a regulação dos fluxos financeiros, que pode ser alcançada por meio de políticas fiscais progressivas, incentivos ao investimento produtivo e maior transparência no sistema bancário. A taxação de ganhos especulativos e a criação de fundos soberanos voltados ao financiamento da infraestrutura industrial e tecnológica são exemplos concretos de instrumentos que podem redirecionar o capital para atividades produtivas e socialmente relevantes. Adicionalmente, o fortalecimento de instituições públicas de crédito, como bancos de desenvolvimento,

desempenha um papel estratégico ao oferecer suporte financeiro a setores-chave da economia (DOWBOR, 2016).

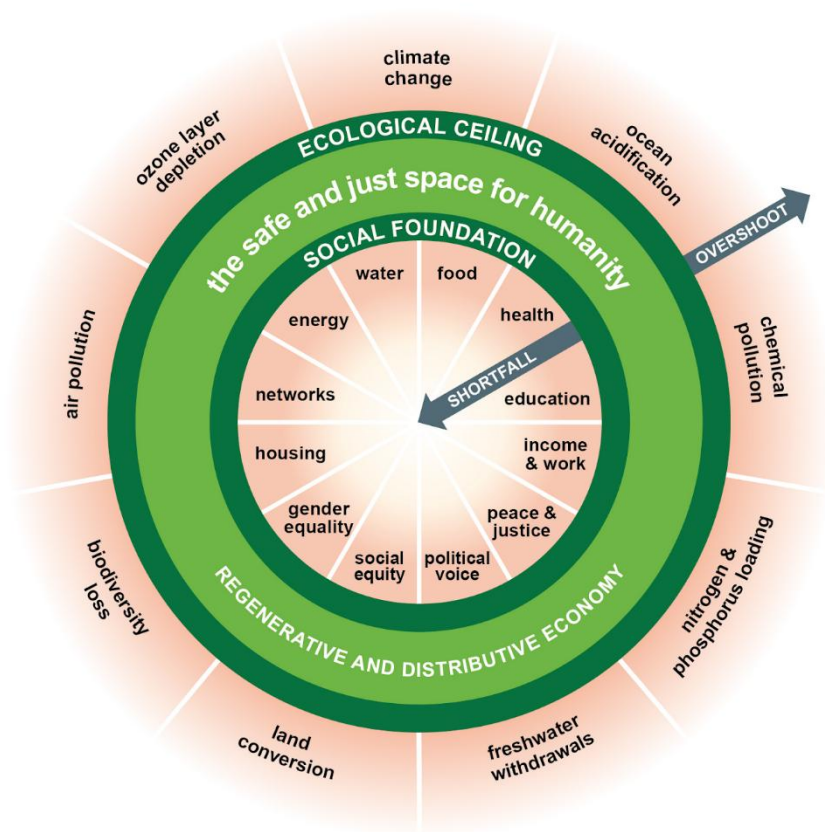
A experiência de outros países reforça a eficácia de políticas robustas de controle financeiro. Nos Estados Unidos, por exemplo, a adoção de regulações após a crise de 2008 buscou limitar práticas especulativas e aumentar a resiliência do sistema econômico. No entanto, como mostram dados sobre o impacto do capital improdutivo tanto nos Estados Unidos quanto no Brasil, ainda persistem desafios significativos na construção de um modelo financeiro que sirva como alavanca para o crescimento industrial sustentável. Essa comparação internacional evidencia que soluções estruturais requerem não apenas regulação doméstica, mas também esforços coordenados em âmbito global para mitigar os efeitos transnacionais do capital especulativo (DOWBOR, 2016).

O desafio do Estado, portanto, vai além do combate direto à financeirização. Ele se estende à necessidade de integrar uma visão de economia que contemple o crescimento sustentável e a justiça social. Essa abordagem conecta-se à Economia Donut, que propõe um modelo de desenvolvimento pautado no equilíbrio entre a regeneração ambiental e o atendimento das necessidades humanas básicas. Assim, o redirecionamento de recursos financeiros para atividades produtivas e sustentáveis não é apenas uma ação corretiva, mas também um passo estratégico para viabilizar uma nova fase de industrialização, capaz de alinhar os interesses econômicos e ambientais em um sistema integrado de desenvolvimento sustentável. Essa abordagem pode ser aplicada ao setor de semicondutores, incentivando cadeias produtivas sustentáveis e garantindo maior segurança econômica.

O avanço para um modelo de desenvolvimento que integre sustentabilidade ambiental e bem-estar social exige uma reformulação abrangente das políticas públicas, em especial no campo industrial. A Economia Donut, proposta como um framework que equilibra as necessidades humanas dentro dos limites planetários, oferece uma base conceitual valiosa para repensar o papel do Estado no desenvolvimento econômico. Esse modelo reconhece que o crescimento ilimitado é incompatível com os recursos finitos do planeta e busca reestruturar as prioridades econômicas em direção à regeneração ambiental e ao atendimento das necessidades humanas essenciais. Segundo o Global Risks Report 2024, a transgressão de limites planetários, como o uso excessivo de recursos naturais e a emissão de gases de efeito estufa, não é apenas uma questão ambiental, mas um risco sistêmico com implicações econômicas profundas,

reforçando a urgência de iniciativas públicas que promovam a sustentabilidade industrial (WORLD ECONOMIC FORUM, 2024). Essa abordagem pode ser aplicada ao setor de semicondutores, incentivando cadeias produtivas sustentáveis e garantindo maior segurança econômica.

Figura 3. O modelo de Economia Donut



Fonte: RAWORTH, Kate. Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist. London: Random House Business, 2017.

Nesse contexto, o papel do Estado como motor de desenvolvimento econômico torna-se central na criação de políticas industriais que estejam alinhadas aos princípios da Economia Donut. Isso implica a formulação de incentivos fiscais, subsídios e regulações voltados à transição energética, à economia circular e à promoção de tecnologias limpas. Mariana Mazzucato defende que o Estado deve ser mais do que um regulador passivo, assumindo uma postura visionária e proativa na condução de inovações e na definição de metas estratégicas para uma economia de baixo carbono. Essas intervenções podem ser estruturadas por meio de

parcerias público-privadas que garantam tanto a eficiência quanto a inclusão social, criando mercados onde antes inexistiam incentivos privados para a sustentabilidade (MAZZUCATO, 2014). Essa abordagem pode ser aplicada ao setor de semicondutores, incentivando cadeias produtivas sustentáveis e garantindo maior segurança econômica.

Além disso, a busca pela industrialização sustentável deve ser orientada por indicadores que transcendam o Produto Interno Bruto, incorporando medidas de bem-estar humano e saúde ambiental. Amartya Sen, em sua obra *Development as Freedom*, argumenta que a liberdade econômica deve estar intrinsecamente ligada à preservação ambiental e à capacidade de os indivíduos viverem vidas plenas e satisfatórias. Essa interseção entre liberdades econômicas e ambientais enfatiza que a sustentabilidade não é um luxo ou um custo adicional, mas um elemento constitutivo do desenvolvimento humano. Para isso, o Estado deve priorizar investimentos em infraestrutura verde, educação ambiental e tecnologias que minimizem os impactos ecológicos, enquanto ampliam as oportunidades de emprego e participação social (SEN, 2000).

A implementação desses princípios requer uma abordagem integrada, onde políticas industriais sejam formuladas em harmonia com os compromissos ambientais e as demandas sociais. O uso de ferramentas como impostos ambientais, créditos de carbono e mecanismos de precificação da água e da energia são exemplos de instrumentos que podem realinhar incentivos econômicos às metas de sustentabilidade. O *Global Risks Report 2024* reforça que a incorporação de tais práticas não é apenas viável, mas necessária para mitigar os riscos de longo prazo associados à degradação ambiental, como demonstrado no gráfico sobre "Riscos Ambientais em Perspectiva de Longo Prazo" (WORLD ECONOMIC FORUM, 2024).

Conectando esses elementos à dinâmica do desenvolvimento econômico, o Estado deve ampliar seu escopo de atuação para garantir que os benefícios dessa transição sejam equitativamente distribuídos. Ao fortalecer a resiliência econômica e promover a coesão social, políticas sustentáveis podem criar uma base sólida para a inovação e o progresso industrial, ao mesmo tempo que respondem às demandas do século XXI. Assim, a Economia Donut não apenas aponta um caminho para a sustentabilidade, mas também evidencia a indispensabilidade de um Estado atuante, capaz de coordenar esforços nacionais e globais em prol de um futuro mais justo e regenerativo. Essa abordagem pode ser aplicada ao setor de semicondutores, incentivando cadeias produtivas sustentáveis e garantindo maior segurança econômica.

O papel do Estado como motor do desenvolvimento econômico ganha relevância histórica e contemporânea ao se considerar os exemplos de economias hoje desenvolvidas, que emergiram como potências globais em grande parte devido à atuação estratégica de suas instituições públicas. Ha-Joon Chang, em *Chutando a Escada*, destaca que tanto os Estados Unidos quanto o Reino Unido, frequentemente citados como defensores do livre mercado, consolidaram sua industrialização por meio de políticas protecionistas e intervenções estatais robustas. Esses países não apenas protegeram indústrias nascentes, mas também investiram massivamente em infraestrutura e educação, estabelecendo uma base sólida para o crescimento industrial e tecnológico. Essas lições históricas reforçam a ideia de que o mercado, por si só, não é capaz de impulsionar transformações econômicas profundas, sendo necessário um papel ativo e coordenador do Estado (CHANG, 2004).

O contexto contemporâneo, entretanto, apresenta desafios distintos, exigindo que os governos adaptem suas estratégias de desenvolvimento às demandas de um mundo globalizado e tecnologicamente avançado. Mariana Mazzucato argumenta que o Estado deve adotar uma abordagem visionária e orientada por missões, definindo metas claras e mobilizando recursos públicos e privados em torno de objetivos estratégicos. Essa postura vai além da regulação, promovendo a criação de mercados em setores estratégicos, como energia renovável, inteligência artificial e biotecnologia. A experiência de programas como o DARPA nos Estados Unidos ilustra como investimentos estatais em pesquisa básica e aplicada podem gerar inovações revolucionárias, muitas das quais transformaram indústrias inteiras e redefiniram padrões globais de competitividade (MAZZUCATO, 2014).

A aplicação dessas ideias no presente exige que o planejamento estatal contemple tanto políticas industriais tradicionais quanto novas abordagens que integrem sustentabilidade e inclusão social. Isso inclui o fortalecimento de setores produtivos nacionais por meio de investimentos diretos, incentivos fiscais e mecanismos de financiamento público para inovação. Ha-Joon Chang ressalta que países como Alemanha e Coreia do Sul combinaram essas ferramentas com estratégias de internacionalização, mostrando que a proteção inicial pode ser uma ponte para a competitividade global, desde que acompanhada de esforços para elevar padrões de qualidade e eficiência (CHANG, 2004).

Um exemplo emblemático de planejamento estatal eficaz é o Green New Deal proposto em várias economias avançadas, que incorpora o conceito de "intervenção transformacional" defendido por Mazzucato. Esse tipo de abordagem não apenas busca enfrentar crises climáticas, mas também impulsionar a reindustrialização em bases sustentáveis, gerando empregos de alta qualidade e promovendo a justiça social. Para isso, é crucial alinhar os interesses de atores públicos e privados, garantindo que os benefícios gerados sejam compartilhados de forma equitativa. Nesse sentido, políticas como a precificação de carbono e os subsídios para energia limpa desempenham um papel central ao direcionar investimentos para setores de alto impacto socioeconômico (MAZZUCATO, 2014).

A reindustrialização no século XXI depende, portanto, de um Estado que atue como catalisador, integrador e inovador, promovendo uma visão de longo prazo que transcenda interesses imediatos. A análise comparativa das estratégias protecionistas adotadas por economias líderes no passado, como Estados Unidos, Reino Unido e Alemanha, revela a importância de combinar regulação e incentivo com uma agenda clara de desenvolvimento industrial. Essa combinação é indispensável para enfrentar os desafios de uma economia global em rápida transformação, em que o sucesso depende da capacidade de antecipar tendências e moldar mercados.

Ao conectar essas perspectivas às demandas de reindustrialização do século XXI, torna-se evidente que o Estado deve não apenas reagir às mudanças econômicas, mas liderar o processo de construção de um novo paradigma de desenvolvimento. Isso inclui investir em tecnologias emergentes, promover a resiliência econômica e fortalecer a coesão social, assegurando que a transformação industrial seja inclusiva e sustentável. Com essa abordagem, o Estado reafirma seu papel como principal motor do progresso econômico e social, preparado para enfrentar os desafios e as oportunidades de um mundo em constante evolução.

A reindustrialização no século XXI surge como uma resposta necessária aos desafios impostos pela globalização, pelas crises ambientais e pela crescente desigualdade socioeconômica. Esse processo exige a formulação de políticas públicas que reconheçam as lições do passado, ao mesmo tempo em que incorporem inovações que definem a chamada Indústria 4.0. Joseph Stiglitz, em *Globalization and Its Discontents*, destaca que a exclusão tecnológica, agravada pelas barreiras ao acesso às novas tecnologias e pela concentração de inovação em economias desenvolvidas, têm perpetuado desigualdades estruturais e

marginalizado países em desenvolvimento das cadeias globais de valor. Essa exclusão tecnológica é uma das principais barreiras à reindustrialização em economias emergentes, onde o acesso limitado ao conhecimento e aos recursos tecnológicos restringe sua capacidade de competir em um mercado global em rápida transformação (STIGLITZ, 2002).

A reindustrialização requer, portanto, estratégias coordenadas que vão além da simples replicação de políticas industriais tradicionais. Mariana Mazzucato enfatiza que o Estado deve atuar como um agente dinâmico e transformador, criando condições para que a inovação tecnológica seja acessível e integrada às cadeias produtivas locais. Nesse contexto, o conceito de "missões" proposto por Mazzucato ganha relevância, pois estabelece objetivos claros, como a descarbonização da economia ou a democratização da tecnologia, que alinham esforços públicos e privados. Por meio de financiamento direcionado e parcerias estratégicas, o Estado pode superar as lacunas tecnológicas e criar mercados para setores emergentes, como manufatura aditiva, inteligência artificial e energias renováveis (MAZZUCATO, 2014).

Um aspecto crucial para o sucesso dessas iniciativas é a integração da Indústria 4.0, que combina automação, análise de dados e conectividade para transformar processos produtivos. Embora a implementação dessa revolução industrial dependa amplamente da capacidade tecnológica das nações, cabe ao Estado criar as bases para que tais transformações ocorram de forma inclusiva. Isso inclui investimentos em infraestrutura digital, programas de capacitação profissional e incentivos à adoção de tecnologias avançadas pelas pequenas e médias empresas, que frequentemente enfrentam dificuldades para acessar esses recursos. Sem essas medidas, os benefícios da Indústria 4.0 correm o risco de se concentrar em poucas economias, aprofundando ainda mais as desigualdades globais (STIGLITZ, 2002).

Adicionalmente, o fortalecimento de sistemas educacionais alinhados às demandas do mercado tecnológico é uma prioridade que não pode ser negligenciada. A exclusão tecnológica não é apenas uma questão de acesso físico às ferramentas, mas também de formação de uma força de trabalho capacitada para utilizá-las de forma eficaz. Nesse sentido, a reindustrialização precisa estar associada a políticas educacionais que promovam competências digitais e inovação, garantindo que os trabalhadores possam participar ativamente desse novo modelo econômico. Mazzucato reforça que a integração da educação às políticas industriais é essencial para o fortalecimento da capacidade produtiva de uma nação, criando um ciclo virtuoso de inovação e crescimento sustentável (MAZZUCATO, 2014).

O impacto dessas estratégias pode ser observado em modelos globais de reindustrialização sustentável, como os esforços de algumas economias europeias para integrar tecnologias limpas às suas indústrias tradicionais. A ausência de políticas inclusivas amplifica as disparidades entre países, evidenciando a necessidade de intervenções coordenadas para democratizar os avanços tecnológicos. Essa abordagem reafirma o papel do Estado como facilitador e catalisador, garantindo que a transição para a Indústria 4.0 seja inclusiva e contribua para a redução das desigualdades globais.

Ao conectar essas perspectivas, torna-se evidente que a reindustrialização no século XXI exige um Estado forte, visionário e comprometido com o desenvolvimento inclusivo. Ele deve liderar esforços para superar a exclusão tecnológica, integrar a Indústria 4.0 e assegurar que os benefícios dessa nova fase de desenvolvimento industrial sejam amplamente distribuídos. Apenas assim será possível construir uma economia global mais equitativa e sustentável, onde a inovação sirva como motor de progresso para todas as nações, e não apenas para algumas.

3. 3. Perspectivas da nova política industrial para o uso de microchip

A Nova Política Industrial Brasileira (NPIB) surge como um marco essencial na busca pela reestruturação e fortalecimento da indústria nacional em um cenário global cada vez mais competitivo e tecnologicamente avançado. Este capítulo se dedica a explorar as diretrizes da NPIB voltadas para o setor de semicondutores, um dos pilares fundamentais de uma economia digital global. Trata-se de um esforço para compreender como essa política busca integrar o Brasil em cadeias produtivas estratégicas, fortalecer sua capacidade de inovação e reduzir vulnerabilidades estruturais que há décadas limitam o desenvolvimento industrial do país. O estudo desta política é imprescindível para analisar os desafios e as oportunidades que se apresentam na tentativa de transformar o Brasil em um ator relevante no mercado global de microchips, conectando os debates já introduzidos nesta monografia.

O setor de semicondutores, embora vital, ilustra bem as contradições de um país cuja industrialização tem sido historicamente marcada por altos e baixos. A dependência de importações, que supera 90%, não só fragiliza a economia nacional, como também a coloca em uma posição vulnerável diante de choques externos. Ao mesmo tempo, o Brasil possui uma

base de conhecimento científico significativa, capaz de servir como alicerce para uma estratégia industrial robusta. A NPIB reconhece essa dualidade e busca mobilizar instrumentos para ampliar as capacidades locais, com destaque para o incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento (P&D) e o fortalecimento de centros como o CEITEC, que, embora promissor, ainda carece de maior protagonismo dentro da cadeia global de valor (CAMPANARIO; SILVA; COSTA, 2009).

Além disso, a inserção brasileira no mercado global de semicondutores requer um olhar estratégico sobre as cadeias globais de produção. A NPIB enfatiza a importância de etapas como encapsulamento e testes, que podem agregar valor localmente e criar uma base para um desenvolvimento mais amplo da cadeia produtiva. Essa abordagem é particularmente relevante em um contexto em que países líderes, como Taiwan e Coreia do Sul, já estabeleceram sua posição como hubs tecnológicos. O Brasil, por meio de parcerias internacionais e incentivos fiscais, pode se beneficiar da transferência de tecnologia, ao mesmo tempo em que reduz sua dependência de componentes importados e amplia sua competitividade sistêmica (SUZIGAN; FURTADO, 2006).

Não obstante, a política industrial brasileira enfrenta desafios consideráveis, especialmente no que tange à falta de coordenação público-privada e às barreiras financeiras que dificultam o avanço de projetos estratégicos. A NPIB tenta mitigar esses entraves ao articular esforços entre os setores público e privado, buscando atrair investimentos estrangeiros e criar um ambiente institucional favorável à inovação. A criação de condições para um sistema nacional de inovação robusto é um dos objetivos centrais da política, e sua execução será determinante para o sucesso da iniciativa. Neste sentido, a experiência de outros países demonstra que um planejamento estratégico, aliado a incentivos claros e a uma governança eficiente, é essencial para transformar a indústria local em uma força motriz do crescimento econômico (BRASIL, 2021).

O setor de semicondutores no Brasil apresenta um diagnóstico preocupante, evidenciando as limitações estruturais que comprometem a competitividade do país em um mercado altamente dinâmico e estratégico. Com uma dependência de importações superior a 90%, o Brasil figura como um importador líquido, incapaz de atender à crescente demanda interna por microchips e outros componentes eletrônicos essenciais. Além disso, sua participação global é de apenas 2,5%, refletindo não apenas uma baixa capacidade produtiva,

mas também a dificuldade de se integrar de forma significativa às cadeias globais de valor. Esse desequilíbrio se traduz em um déficit comercial expressivo, agravado pela exportação de silício bruto (uma matéria-prima de baixo valor agregado), enquanto o país importa semicondutores com alto conteúdo tecnológico (CAMPANARIO; SILVA; COSTA, 2009).

Os desafios estruturais do setor não se limitam ao comércio exterior. A infraestrutura insuficiente, aliada a um ecossistema fragmentado de pesquisa e inovação, cria barreiras significativas para o desenvolvimento de uma indústria de semicondutores integrada e competitiva. O alto custo inicial para estabelecer operações neste setor (que requer investimentos massivos em equipamentos, instalações e capacitação técnica) é um obstáculo que poucos atores nacionais conseguem superar. Mesmo com incentivos existentes, como o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS), a coordenação entre os setores público e privado permanece aquém do necessário para impulsionar uma transformação real no cenário industrial brasileiro (SUZIGAN; FURTADO, 2006).

Outro ponto crítico está na limitada capacidade de pesquisa aplicada e inovação tecnológica. Embora o Brasil conte com instituições de excelência na academia e centros de pesquisa como o CEITEC, a conexão entre esses atores e a indústria ainda é incipiente. Esse déficit reflete uma falta de continuidade nas políticas de incentivo à inovação e, sobretudo, na ausência de uma estratégia de longo prazo que articule todos os elos da cadeia produtiva. Essa lacuna impacta diretamente a capacidade do Brasil de competir com grandes players globais, que avançam rapidamente na criação de tecnologias próprias e na produção em larga escala de semicondutores de última geração (BRASIL, 2021).

Além disso, o setor enfrenta um ambiente regulatório pouco favorável à atração de investimentos estrangeiros e à promoção de parcerias estratégicas. Apesar dos esforços recentes no âmbito da Nova Política Industrial Brasileira (NPIB), ainda há necessidade de uma maior previsibilidade e clareza nas políticas públicas para garantir segurança jurídica e incentivos de longo prazo. A falta de políticas consistentes para reduzir a burocracia e criar um ambiente competitivo no mercado doméstico inibe avanços significativos e desestimula investidores potenciais, tanto nacionais quanto internacionais (CAVALCANTI; GOMES, 1999).

As diretrizes da Nova Política Industrial Brasileira (NPIB) para o setor de microchips são desenhadas para enfrentar os desafios estruturais identificados e fomentar uma cadeia produtiva nacional integrada e competitiva. Estas diretrizes concentram-se em três pilares principais: infraestrutura e pesquisa e desenvolvimento (P&D), fortalecimento da cadeia produtiva local e promoção de parcerias estratégicas internacionais. A implementação dessas ações é fundamental para que o Brasil avance em direção a uma maior autonomia tecnológica e aumente sua participação nas cadeias globais de valor.

No âmbito da infraestrutura e P&D, a NPIB prevê investimentos direcionados para ampliar e modernizar centros de excelência, como o CEITEC, bem como laboratórios de referência nas universidades, como o CCSNano na UNICAMP e o LAMINA na USP. Esses investimentos visam não apenas aumentar a capacidade de pesquisa, mas também criar ambientes que facilitem a transferência de conhecimento para o setor industrial. Além disso, o programa PADIS é um exemplo de política complementar que se alinha às metas da NPIB ao oferecer incentivos fiscais específicos para empresas que investem em tecnologia avançada e inovação. Esse conjunto de iniciativas busca reforçar a posição do Brasil como um polo de pesquisa aplicada em semicondutores, condição essencial para competir em um mercado global de alta tecnologia (CAMPANARIO; SILVA; COSTA, 2009).

No que diz respeito ao desenvolvimento da cadeia produtiva, a NPIB propõe uma abordagem focada em agregar valor localmente por meio da expansão de atividades como encapsulamento e testes. Estas etapas, que atualmente são majoritariamente realizadas no exterior, poderiam ser internalizadas com o apoio de incentivos fiscais e mecanismos de financiamento específicos. Ao promover parcerias público-privadas, a política industrial busca atrair capital, tecnologia e expertise, ampliando a capacidade do Brasil de integrar-se em níveis mais elevados das cadeias globais de valor. Além disso, a diversificação das atividades dentro da cadeia produtiva local pode gerar impactos positivos na geração de empregos qualificados e no fortalecimento do mercado interno para insumos e serviços relacionados (SUZIGAN; FURTADO, 2006).

A dimensão internacional também desempenha um papel crucial nas diretrizes da NPIB. Reconhecendo que o avanço tecnológico no setor de semicondutores é altamente dependente de redes globais de inovação, a política aposta em uma diplomacia econômica ativa. Parcerias estratégicas com países líderes como Taiwan, Coreia do Sul e Estados Unidos estão no centro

dessa estratégia. Tais colaborações podem facilitar a transferência de tecnologia, o acesso a mercados globais e a capacitação técnica de profissionais brasileiros. Além disso, iniciativas voltadas para acordos comerciais e tecnológicos podem contribuir para alinhar o Brasil às práticas globais de produção e inovação, fortalecendo sua posição em mercados estratégicos, como o de componentes para inteligência artificial e 5G (BRASIL, 2021).

A inserção competitiva do Brasil no mercado global de semicondutores depende de uma estratégia que articule os pilares da Nova Política Industrial Brasileira (NPIB) com as demandas de setores emergentes e com a adoção de tecnologias de ponta. Este tópico explora como a NPIB pode alavancar o potencial do país em áreas estratégicas, integrando avanços tecnológicos, sustentabilidade e inovação como vetores de transformação econômica.

O apoio estratégico da NPIB para setores emergentes, como 5G, Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial (IA), é um passo crucial para alinhar o Brasil às tendências globais. Esses mercados, que demandam semicondutores de alto desempenho, oferecem uma oportunidade única para reposicionar o Brasil em cadeias globais de valor. Ao direcionar investimentos para o desenvolvimento de tecnologias como o nitreto de gálio, essencial para dispositivos de alta eficiência energética, a NPIB busca garantir a competitividade da indústria brasileira nesses setores. Tais investimentos não apenas fortalecem a base produtiva local, mas também promovem a integração do Brasil em mercados de nicho que registram crescimento acelerado (CAMPANARIO; SILVA; COSTA, 2009).

A sustentabilidade e a inovação desempenham um papel central nessa estratégia. A NPIB incentiva o uso de fontes renováveis de energia na produção de semicondutores, alinhando o Brasil a práticas industriais sustentáveis e reduzindo sua dependência de insumos importados. Esses incentivos visam atrair investimentos estrangeiros e consolidar o país como um hub para tecnologias verdes, criando um diferencial competitivo no mercado global. Além disso, a promoção do uso de energia limpa na produção de semicondutores se alinha aos compromissos internacionais de redução de emissões de carbono, reforçando a imagem do Brasil como um player responsável no cenário global (SUZIGAN; FURTADO, 2006).

A integração da NPIB com setores emergentes também é facilitada por iniciativas voltadas à inovação local. Parcerias entre universidades, centros de pesquisa e indústrias são estimuladas para o desenvolvimento de soluções tecnológicas que atendam às necessidades

específicas do mercado brasileiro e global. Esse modelo colaborativo pode não apenas ampliar a capacidade de inovação do Brasil, mas também reduzir a lacuna tecnológica que separa o país de outros players globais. Ao priorizar o desenvolvimento de semicondutores voltados para aplicações específicas, como dispositivos médicos e automação industrial, a NPIB busca agregar valor à produção nacional e explorar mercados onde o Brasil já possui expertise consolidada (BRASIL, 2021).

A operacionalização das diretrizes da Nova Política Industrial Brasileira (NPIB) exige um plano de ação bem estruturado, que articule etapas de curto, médio e longo prazo. Cada fase deve ser projetada para atacar os principais desafios do setor de semicondutores no Brasil, ao mesmo tempo em que cria as bases para uma transformação mais profunda e duradoura da cadeia produtiva nacional. Este tópico delinea as principais estratégias e marcos esperados em cada horizonte temporal, abordando desde as etapas iniciais de fortalecimento do setor até a consolidação do Brasil como um hub regional de tecnologia avançada.

No curto prazo, a prioridade está na expansão e modernização das atividades de encapsulamento e testes de semicondutores. Essas etapas, que representam uma fração importante da cadeia produtiva global, podem ser rapidamente incorporadas ao contexto brasileiro com o apoio de incentivos fiscais e subsídios direcionados. Além disso, a estruturação de parcerias público-privadas desempenha um papel crucial para mobilizar recursos financeiros e tecnológicos, permitindo que empresas locais ampliem sua capacidade produtiva. Este período inicial também envolve a implementação de medidas para capacitar a força de trabalho local, com programas voltados à formação de engenheiros e técnicos especializados em semicondutores¹.

A médio prazo, o foco da NPIB se desloca para a atração de investimentos estrangeiros voltados à produção de wafers e materiais avançados, como o gálio. Esses insumos são fundamentais para a fabricação de semicondutores de última geração e representam um passo essencial para agregar maior valor à cadeia produtiva nacional. A diplomacia econômica é uma ferramenta central nesta etapa, garantindo que o Brasil se posicione como um destino atrativo para empresas globais. Paralelamente, o fortalecimento de centros de pesquisa, como o CEITEC, e o estímulo à inovação tecnológica em universidades e institutos de pesquisa consolidam uma base de conhecimento alinhada às demandas do mercado global (SUZIGAN; FURTADO, 2006).

No longo prazo, o objetivo principal é posicionar o Brasil como um hub regional para design e manufatura de semicondutores. Essa visão de futuro requer uma infraestrutura produtiva robusta, integrada a um ecossistema de inovação bem estabelecido e sustentado por políticas públicas consistentes. A transição para esse estágio avançado envolve, além da expansão da capacidade produtiva, o fortalecimento da posição brasileira em mercados emergentes, como 5G e IoT, e a diversificação da produção para atender setores de alta demanda tecnológica. Essa consolidação depende de uma coordenação eficiente entre os setores público e privado, bem como de uma governança clara e eficaz para garantir a continuidade das políticas implementadas (BRASIL, 2021).

A integração entre a Nova Política Industrial Brasileira (NPIB) e as perspectivas de longo prazo para o desenvolvimento industrial do Brasil oferece um panorama promissor, ainda que desafiador. Este capítulo final reflete sobre como as diretrizes propostas podem transformar a indústria nacional, promovendo maior competitividade, autonomia tecnológica e sustentabilidade econômica. A implementação consistente da NPIB não é apenas uma resposta aos gargalos estruturais atuais, mas também um movimento estratégico para posicionar o Brasil como um ator relevante no mercado global de semicondutores e em outras áreas de alta tecnologia.

A visão de longo prazo da NPIB está fundamentada na ideia de que a industrialização não é apenas um objetivo econômico, mas também um pilar essencial para a soberania nacional. Ao reduzir a dependência de importações e fomentar a produção local de semicondutores e outros bens tecnológicos, o Brasil não só fortalece sua economia, mas também cria as condições necessárias para lidar com crises globais de abastecimento, como a escassez de microchips observada nos últimos anos. Essa abordagem estratégica é sustentada por investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), políticas de incentivo à inovação e parcerias internacionais bem articuladas (CAMPANARIO; SILVA; COSTA, 2009).

Além disso, a NPIB reconhece que a competitividade da indústria brasileira depende da capacidade de se alinhar às tendências globais. Setores emergentes, como 5G, IoT e inteligência artificial, não são apenas nichos de mercado, mas também direcionadores de inovação que têm o potencial de transformar a economia como um todo. Ao apoiar tecnologias verdes e modelos de produção sustentáveis, a política industrial brasileira não apenas se posiciona como uma

resposta às demandas ambientais globais, mas também cria uma vantagem competitiva significativa para o país (SUZIGAN; FURTADO, 2006).

No entanto, alcançar essas metas de longo prazo requer uma governança eficaz, baseada na coordenação entre os setores público e privado. A continuidade das políticas, a simplificação do ambiente regulatório e a garantia de recursos financeiros suficientes são elementos indispensáveis para assegurar que os avanços alcançados sejam duradouros. Além disso, o engajamento ativo de todos os atores envolvidos (desde governos locais até grandes corporações) será essencial para construir um ecossistema industrial integrado e inovador (BRASIL, 2021).

Com base nessa integração entre política industrial e desenvolvimento econômico, o Brasil pode redefinir sua posição no cenário global, promovendo uma transformação estrutural que ultrapasse as barreiras históricas de sua economia. Essa visão de futuro, embora ambiciosa, é ancorada em ações concretas delineadas ao longo deste estudo, que demonstram o potencial de convergência entre os objetivos da NPIB e os interesses nacionais.

Por fim, mais do que um roteiro para o fortalecimento da indústria de semicondutores, a Nova Política Industrial Brasileira reflete um compromisso mais amplo com o desenvolvimento sustentável e a inovação, consolidando-se como uma peça-chave para o futuro econômico do Brasil. A continuidade e o aprimoramento dessa política serão determinantes para que o país possa navegar com sucesso pelos desafios e oportunidades de uma economia global cada vez mais interconectada e digitalizada.

4. CONCLUSÕES E REFLEXÕES FINAIS

A escassez global de microchips evidenciada pela pandemia de Covid-19 não foi um evento isolado, mas o ponto de ruptura de um sistema produtivo altamente concentrado, complexo e interdependente. Como demonstrado ao longo da monografia, semicondutores são insumos estratégicos que alimentam setores com efeito multiplicador significativo, como automóveis, saúde, defesa, tecnologia da informação e comunicação. Uma paralisação na oferta, como a ocorrida entre 2020 e 2021, tem efeitos em cadeia com repercussões profundas na economia global.

A cadeia produtiva dos semicondutores é composta por múltiplas etapas distribuídas entre poucos países. Os Estados Unidos lideram o design e os equipamentos de produção; Taiwan e Coreia do Sul dominam a fabricação. A China concentra a maior parte das fábricas e reservas de matérias-primas estratégicas, como o Silício e o Gálio. O Brasil, por sua vez, ainda ocupa uma posição periférica: fornece parte do Silício, importa mais de 90% do que consome e participa de maneira limitada em etapas de encapsulamento e testes.

Essa realidade expõe a vulnerabilidade do Brasil diante de uma eventual nova crise de semicondutores. Com alta dependência tecnológica, o país não possui autonomia produtiva para garantir o funcionamento de setores-chave em momentos de disrupção global. A ausência de uma política industrial consistente para semicondutores contribui para essa fragilidade. Iniciativas como o PADIS e instituições como a CEITEC e o ITA são importantes, mas ainda insuficientes frente ao desafio de ampliar a participação nacional na cadeia global de valor.

Diante disso, o papel do Estado brasileiro torna-se central. É necessário criar um ambiente favorável à pesquisa, desenvolvimento e industrialização de semicondutores, com incentivos fiscais, estímulo à cooperação internacional, fortalecimento da diplomacia comercial e investimentos em infraestrutura logística. A diversificação de parceiros e a formação de estoques estratégicos são ações fundamentais para reduzir os riscos de paralisação produtiva. O caso da Toyota no Japão, que adaptou sua estratégia após o tsunami de 2011 e mitigou melhor os impactos da crise de 2021, serve de exemplo para o setor privado brasileiro.

Portanto, o Brasil precisa tomar decisões estratégicas nos próximos anos. Ignorar a relevância geopolítica e econômica dos semicondutores é comprometer a competitividade da indústria nacional e a soberania tecnológica do país. Aproveitar a janela de oportunidade aberta pela reconfiguração das cadeias globais é fundamental para garantir um futuro menos dependente, mais resiliente e mais preparado para os desafios da nova ordem digital.

Apesar dessa monografia ter tido como foco os aspectos estruturais e históricos da cadeia global de semicondutores, é de suma importância reconhecer eventos recentes que reconfiguraram o setor. Em 2025, o governo estadunidense sob a segunda administração do presidente Donald Trump, têm anunciado diversos pacotes tarifários que impactaram o objeto de estudo dessa monografia: semicondutores.

Países como China, Coreia do Sul e Taiwan receberam alíquotas elevadas sobre chips e insumos, por instância. Apesar de ser recente, é possível observar alguns impactos no setor como: aumento nos custos de insumos, reconfiguração de rotas logísticas e grande incerteza global. O “tarifaço” reforça os riscos geopolíticos e logísticos analisados ao longo da monografia, constatando que a alta dependência de elos específicos da cadeia produtiva tornam o setor extremamente sensível a mudanças e choques exógenos, como foi o caso. Por se tratar de uma cadeia produtiva altamente globalizada, uma crise pontual pode desencadear uma policrise.

Por se tratar de um evento recente e com desdobramentos ainda em curso, os impactos do “tarifaço” serão utilizados como objeto de análise para pesquisa futuras. Com os estudos realizados, acredito que os efeitos das políticas protecionistas do governo Trump, aliadas à guerra tecnológica e à globalização das cadeias produtivas irá agravar ainda mais a complexidade, fragilidade e relevância estratégica global já existente nas cadeias de suprimentos de semicondutores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES; IDC. ABES e IDC apresentam números e tendências para o mercado brasileiro de software em 2023. ABES, 15 mar. 2023. Disponível em: <<https://abes.com.br/en/abes-e-idc-apresentam-numeros-e-tendencias-para-o-mercado-brasileiro-de-software-em-2023/>>. Acesso em: 5 maio 2025.

ALLEN, Gregory C.; THADANI, Akhil. Mapping the Semiconductor Supply Chain: The Critical Role of the Indo-Pacific Region. CENTER FOR STRATEGIC & INTERNATIONAL STUDIES, 2023. Disponível em: <<https://www.csis.org/analysis/mapping-semiconductor-supply-chain-critical-role-indo-pacific-region>>. Acesso em 15 jun. 2024.

APPLE. Apple introduces M2 Ultra. 2023. Disponível em: <https://www.apple.com/newsroom/2023/06/apple-introduces-m2-ultra/>. Acesso em: 15 jun. 2024.

BORTOLASO, Ingridi Vargas; BALESTRIN, Alsones; TEIXEIRA, Rafael; FACCIN, Kadigia. Trajectory of the Brazilian Semiconductor Industry and Supply Chain: Economic, Governmental, and Technological Perspectives. *Journal of Operations and Supply Chain Management*, v. 6, n. 2, p. 20–39, jul./dez. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.12660/joscmv6n2p20-39>>. Acesso em: 5 maio 2025.

BOWN, Chad. How the United States marched the semiconductor industry into its trade war with China. Google Scholar, 2020. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3766574>. Acesso em 1 mar. 2024.

BRINCO, Ricardo. Semicondutores digitais: um setor industrial estratégico a nível internacional. *Revista Estudos de Planejamento*, 1989. Disponível em: <<https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/ensaios/article/view/1280>>. Acesso em 1 mar. 2024.

BURKACKY, Ondrej.; DEICHMANN, Johannes.; PFINGSTAG, Philipp.; WERRA, Julia. Semiconductor shortage: How the automotive industry can succeed. Google Scholar, 2022. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/semiconductors/our%20insights/semiconductor%20shortage%20how%20the%20automotive%20industry%20can%20succeed/semiconductor-shortage-how-the-automotive-industry-can-succeed.pdf>>. Acesso em 1 mar. 2024.

BURKACKY, Ondrej.; DRAGON, Julia.; LEHMANN, Nikolays. The semiconductor decade: A trillion-dollar industry. Google Scholar, 2022. Disponível em: <<https://www.gsaglobal.org/wp-content/uploads/2022/05/McKinsey-the-semiconductor-decade-a-trillion-dollar-industry-v3.pdf>>. Acesso em 1 mar. 2024.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Transporte rodoviário de cargas. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transporte-terrestre/transporte-rodoviario-de-cargas>>. Acesso em: 5 maio 2025.

BRASIL. Plano de ação: produção de componentes semicondutores no Brasil. Brasília: Ministério da Economia, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/setor-automotivo/PlanoBrasilSemicondutores.pdf>. Acesso em: 5 maio 2025.

CAMPANARIO, Milton de Abreu; SILVA, Marcello Muniz da; COSTA, Tiago Ribeiro. Política industrial de apoio ao desenvolvimento da indústria brasileira de semicondutores. *Revista de Ciências da Administração*, v. 11, n. 24, p. 69–101, maio/ago. 2009. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/administracao/article/view/1984>. Acesso em: 5 maio 2025.

CANNON, Christopher.; GOLDSMITH, Kelly.; ROUX, Caroline. A self-regulatory model of resource scarcity. *Google Scholar*, 2019. Disponível em: <https://myscp.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jcpy.1035>. Acesso em 1 mar. 2024.

CAVALCANTI, Marcos; GOMES, Elisabeth. A sociedade do conhecimento e a política industrial brasileira. *Revista Inteligência Empresarial*, n. 1, out. 1999.

CHANG, Ha-Joon. Chutando a escada: a estratégia do desenvolvimento em perspectiva histórica. Tradução de Luiz Antônio Oliveira de Araújo. São Paulo: Editora UNESP, 2004.

CHOPRA, Sunil; SODHI, ManMohan S. Reducing the risk of supply chain disruptions. *MIT Sloan Management Review*, 2014. Disponível em: <https://sloanreview.mit.edu/article/reducing-the-risk-of-supply-chain-disruptions/>. Acesso em: 5 maio 2025.

CLARK, Lincoln.; GIBSON, Mark.; GENTLE, Chris.; MUELLER, Jessica. Semiconductor outlook buoyed by AI and automotive. KPMG, 2024. Disponível em: <https://kpmg.com/kpmg-us/content/dam/kpmg/pdf/2024/global-semiconductor-industry-outlook.pdf>. Acesso em 4 jun. 2024.

CNN BRASIL. GM reabre fábrica do Onix no Brasil após cinco meses de pausa. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/gm-reabre-fabrica-do-onix-no-brasil-apos-cinco-meses-de-pausa/>. Acesso em: 16 jun. 2024.

DOOLEY, Ben.; SANG-HUN, Choe. Japan Imposes Broad New Trade Restrictions on South Korea. The New York Times, 2019. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2019/08/01/business/japan-south-korea-trade.html>>. Acesso em 15 jun. 2024.

DOWBOR, Ladislau. A era do capital improdutivo: por que oito famílias têm mais riqueza do que a metade da humanidade e como isso nos afeta. São Paulo: Autonomia Literária, 2016.

FILIPPIN, Flavia. Estado e desenvolvimento: a indústria de semicondutores no Brasil. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, mar. 2020. 438 p. (Prêmio BNDES de Economia; 37). Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/19660/1/Premio37_Mestrado.pdf>. Acesso em: 5 maio 2025.

FRANCE 24. Lessons from 2011 disaster help Toyota ride out chip shortage. France 24, 25 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.france24.com/en/live-news/20210825-lessons-from-2011-disaster-help-toyota-ride-out-chip-shortage>>. Acesso em: 5 maio 2025.

FRIESKE, Benjamin.; STIELER, Sylvia. The “semiconductor crisis” as a result of the COVID-19 pandemic and impacts on the automotive industry and its supply chains. Google Scholar, 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2032-6653/13/10/189>>. Acesso em 1 mar. 2024.

FP ANALYTICS. Semiconductors and the U.S.-China Innovation Race. Foreign Policy, 2021. Disponível em: <<https://foreignpolicy.com/2021/02/16/semiconductors-us-china-taiwan-technology-innovation-competition/>>. Acesso em 4 jun. 2024.

FURTADO, Celso. Formação econômica do Brasil. São Paulo: Companhia das Letras, 1959.

GARTENBERG, Chaim. Intel CEO warns chip shortage won’t end until at least 2023, as laptop sales get hit by supply issues. The Verge, 2021. Disponível em: <<https://www.theverge.com/2021/10/21/22739192/intel-chip-shortage-q3-2021-earning-laptop-revenue>>. Acesso em 15 jun. 2024.

GIL, Pedro. O nefasto prejuízo de uma greve dos caminhoneiros. *Veja – Radar Econômico*, 2021. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/coluna/radar-economico/o-nefasto-prejuizo-de-uma-greve-dos-caminhoneiros>>. Acesso em: 5 maio 2025.

HOWLEY, Daniel. These 169 industries are being hit by the global chip shortage. *Yahoo! Finance*, 2021. Disponível em: <https://finance.yahoo.com/news/these-industries-are-hit-hardest-by-the-global-chip-shortage-122854251.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAALF6tw69cbRDHldt27jONpewRHg4DBWljYegcRdsDIuVQCTMvln9q0X4bKYTHMf7G4c0c2tIeiDEPJmoj_AWBrhbsjLsJinhvni7pg2cqQEPTxlO7WgW9d0Nzp_Jes-7AgZW9o9G6HMOJfdgzQ4CqW1dwcK6d-_o2qgin5fUbes>. Acesso em 15 jun. 2024.

HSU, Jinn-Yuh. State transformation and the evolution of economic nationalism in the East Asian developmental state: the Taiwanese semiconductor industry as case study. *Transactions of the Institute of British Geographers*, v. 42, n. 2, p. 212–224, 2017. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/45147080>. Acesso em: 5 maio 2025.

JACOBSEN, Kurt. Microchips and Public Policy – The Political Economy of High Technology. *Google Scholar*, 1992. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/journals/british-journal-of-political-science/article/microchips-and-public-policy-the-political-economy-of-high-technology/F138A6693AA5DB5489967B929D7EC474>>. Acesso em 1 mar. 2024.

JIN, Hyunjoo. Automakers, chip firms differ on when semiconductor shortage will abate. *Reuters*, 2022. Disponível em: <<https://www.reuters.com/business/autos-transportation/automakers-chip-firms-differ-when-semiconductor-shortage-will-abate-2022-02-04/>>. Acesso em 16 jun. 2024.

KENNEDY, Scott. Assuring Taiwan’s Innovation Future. *Carnegie Endowment for International Peace*, 8 jan. 2020. Disponível em: <https://carnegieendowment.org/research/2020/01/assuring-taiwans-innovation-future?lang=en>. Acesso em: 13 maio 2025.

KIM, Sohee.; LEE, Jeong-Ho. South Korea Passes Its ‘Chips Act’ Amid US-China Friction. Bloomberg, 2023. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-03-29/south-korea-to-pass-its-own-chips-act-amid-us-china-friction>>. Acesso em 15 jun. 2024.

LA PEDUS, Mark. Brazil Paves New Semiconductor Path. Semiconductor Engineering, 22 fev. 2021. Disponível em: <<https://semiengineering.com/brazil-paves-new-semiconductor-path/>>. Acesso em: 5 maio 2025.

MAZZUCATO, Mariana. O Estado Empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado. Tradução de Elvira Serapicos. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.

MATHIEU, Edouard.; RITCHIE, Hannah.; ROSER, Max. What is Moore’s Law?. Our World in Data, 2023. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/moores-law>>. Acesso em 15 jun. 2024.

MEIRELLES, Fernando. Uso de TI no Brasil: País tem mais de dois dispositivos digitais por habitante, revela pesquisa. FGVcia, 3 maio 2023. Disponível em: <<https://portal.fgv.br/noticias/uso-ti-brasil-pais-tem-mais-dois-dispositivos-digitais-habitante-revela-pesquisa>>. Acesso em: 5 maio 2025.

MOHAMMAD, Wassen.; ELOMRI, Adel.; KERBACHE, Laoucine. The global semiconductor chip shortage: Causes, implications, and potential remedies. Google Scholar, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896322017293>>. Acesso em 1 mar. 2024.

MONDAL, Monika. What does a changing cobalt market mean for the Democratic Republic of the Congo?. Dialogue Earth, 2024. Disponível em: <<https://dialogue.earth/en/business/what-does-a-changing-cobalt-market-mean-for-the-democratic-republic-of-the-congo/#:~:text=As%20of%20December%202023%2C%20over,government%20revenue%20for%20the%20country>>. Acesso em 15 jun. 2024.

OFFICIAL DATA FOUNDATION. \$10,000,000 in 1971 → 2025 | Inflation Calculator. In2013Dollars.com, 2025. Disponível em:

<https://www.in2013dollars.com/us/inflation/1971?amount=10000000>. Acesso em: 5 maio 2025.

GENERAL MOTORS DO BRASIL. Onix tem o dobro de semicondutores e módulos que outros compactos. 7 jun. 2021. Disponível em: <<https://media.gm.com/media/br/pt/chevrolet/home.detail.html/content/Pages/news/br/pt/2021/jun/0607-onix.html>>. Acesso em: 16 jun. 2024.

PENNISI, Salvatore. Pandemic, shortages, and electronic engineering. Google Scholar, 2022. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9880507/>>. Acesso em 1 mar. 2024.

PERETTO, Pietro F. Through scarcity to prosperity: Toward a theory of sustainable growth. Google Scholar, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304393220300040>>. Acesso em 1 mar. 2024.

PIMENTEL, André.; PINHO, Isabela.; MANO, Apoena.; SOARES, Anna. A escassez dos semicondutores e as transformações recentes do mercado automotivo. Biblioteca da PUC-SP, 2023. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ts/a/7nSYRKBfZSFy3Hh83f6j3qv/?lang=pt>>. Acesso em 1 mar. 2024.

RAMANI, Vinay.; GHOSH, Debabrata.; SHODI, Manmohan S. Understanding systemic disruption from the Covid-19-induced semiconductor shortage for the auto industry. PubMed Central, 2022. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9363154/>>. Acesso em 6 jun. 2024.

RAWORTH, Kate. Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist. London: Random House Business, 2017.

RODRIK, Dani. Geopolítica não pode matar a economia. O Valor Econômico, 2022. Disponível em: <<https://valor.globo.com/google/amp/opiniaao/coluna/geopolitica-nao-pode-matar-a-economia.ghtml>>. Acesso em 1 mar. 2024.

RT STAFF REPORTERS. Chip shortage affects the whole world – and Brazil imports 90% of what it consumes. The Rio Times, 9 maio 2021. Disponível em: <<https://www.riotimesonline.com/brazil-news/brazil/chip-shortage-affects-the-whole-world-and-brazil-imports-90-of-what-it-consumes/>>. Acesso em: 5 maio 2025.

SAKPAL, Manasi. Gartner Says Global Smartphone Sales Grew 6% in 2021. Revista Gartner, 2022. Disponível em: <<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2022-03-01-4q21-smartphone-market-share>>. Acesso em 16 jun. 2024.

SATHER, Andrew. R&D Spending as a Percentage of Revenue by Industry [S&P 500]. eInvesting for Beginners, 8 mar. 2021. Disponível em: <<https://einvestingforbeginners.com/rd-spending-as-a-percentage-of-revenue-by-industry/>>. Acesso em: 5 maio 2025.

SAVOY, Conor M.; RAMANUJAM, Sundar R. Diversifying supply chains: the role of development assistance and other official finance. Center for Strategic & International Studies, 2021. Disponível em: <<https://www.csis.org/analysis/diversifying-supply-chains-role-development-assistance-and-other-official-finance>>. Acesso em: 5 maio 2025.

SCHNEBELE, Emily K. SILICON. U.S. Geological Survey, 2021. Disponível em: <<https://www.csis.org/analysis/mapping-semiconductor-supply-chain-critical-role-indo-pacific-region>>. Acesso em 15 jun. 2024.

SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION. 2021 state of the U.S. semiconductor industry. 2021. Disponível em: <<https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/09/2021-SIA-State-of-the-Industry-Report.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2024.

SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION. From microchips to medical devices. 2020. Disponível em: <<https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2020/10/From-Microchips-to-Medical-Devices-SIA-White-Paper.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2024.

SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION. Semiconductors are the brains of modern electronics. 2024. Disponível em: <<https://www.semiconductors.org/semiconductors-101/what-is-a-semiconductor/>>. Acesso em: 15 jun. 2024.

SEN, Amartya. Development as freedom. New York: Alfred A. Knopf, 2000.

SEONG, Jeongmin.; WHITE, Olivia.; WOETZEL, Lola.; SMIT, Sven.; BIRSHAN, Michael.; DEVESA, Tiago.; SAMANDARI, Hamid. Global flows: The ties that bind in an interconnected world. McKinsey Global Institute, 2022. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/capabilities/strategy-and-corporate-finance/our-insights/global-flows-the-ties-that-bind-in-an-interconnected-world>>. Acesso em 4 jun. 2024.

SILVA, Guilherme Jorge da. Semicondutores: um estudo para a China e Estados Unidos nas cadeias globais de valor. Portal de Periódicos UFSC, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/economia/article/view/90995>>. Acesso em 1 mar. 2024.

SIMONS, Christie.; KULIK, Brandon.; NICHOLAS, Jan.; BISH, Jordan.; STEWART, Duncan.; RAMACHANDRAN, Karthik. 2024 global semiconductor industry outlook. Deloitte, 2024. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/technology-media-telecommunications/us-tmt-semiconductor-industry-outlook-2024v2.pdf>>. Acesso em 4 jun. 2024.

SPRENGER, Leandro. PADIS: o que é. Fazcomex, 11 mar. 2025. Disponível em: <<https://www.fazcomex.com.br/regimes-aduaneiros/padis/>>. Acesso em: 5 maio 2025.

STIGLITZ, Joseph E. Globalization and its discontents. New York: W.W. Norton, 2002.

SUZIGAN, Wilson; FURTADO, João. Política industrial e desenvolvimento. Revista de Economia Política, v. 26, n. 2, p. 163–185, abr./jun. 2006. Disponível em: <https://centrodeeconomiapolitica.org.br/repos/index.php/journal/article/view/831>. Acesso em: 5 maio 2025.

THE RIO TIMES. Brazil's Quest in Global Semiconductor Competition: Challenges and Opportunities. The Rio Times, 25 nov. 2022. Disponível em: <<https://www.riotimesonline.com/brazil-news/technology/brazils-quest-in-global-semiconductor-competition-challenges-and-opportunities/>>. Acesso em: 5 maio 2025.

THE WHITE HOUSE. Building resilient supply chains, revitalizing American manufacturing, and fostering broad-based growth. 2021. Disponível em: <<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2024.

THE WHITE HOUSE. Fact sheet: CHIPS and Science Act will lower costs, create jobs, strengthen supply chains, and counter China. 2022. Disponível em: <<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/08/09/fact-sheet-chips-and-science-act-will-lower-costs-create-jobs-strengthen-supply-chains-and-counter-china/>>. Acesso em: 15 jun. 2024.

TRAINER, Ted. Entering the era of limits and scarcity: the radical implications for social theory. Google Scholar, 2019. Disponível em: <<https://journals.uair.arizona.edu/index.php/JPE/article/view/23057/0>>. Acesso em 1 mar. 2024.

UNITED STATES. Department of Commerce. Analysis for CHIPS Act and BIA briefing. 2022. Disponível em: <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2022/04/analysis-chips-act-and-bia-briefing>. Acesso em: 15 jun. 2024.

WALL STREET JOURNAL. Chip Shortage Limits U.S.'s Ability to Supply Weapons to Ukraine, Commerce Secretary Says. The Wall Street Journal, 27 abr. 2022. Disponível em: <<https://www.wsj.com/livecoverage/russia-ukraine-latest-news-2022-04-27/card/chip-shortage-limits-u-s-s-ability-to-supply-weapons-to-ukraine-commerce-secretary-says-pCWERV2HkSPzTdQG4CRI>>. Acesso em: 5 maio 2025.

WOLF, Martin. Geopolítica não pode matar a economia. O Valor Econômico, 2022. Disponível em: <<https://valor.globo.com/google/amp/opiniaao/coluna/geopolitica-nao-pode-matar-a-economia.ghtml>>. Acesso em 1 mar. 2024.

WOLF, Martin. How to think about policy in a polycrisis. Financial Times, 2022. Disponível em: <<https://www.ft.com/content/a1918fec-2c8f-4051-ad78-c300b0fc9adb>>. Acesso em 4 jun. 2024.

WORLD ECONOMIC FORUM. The Global Risks Report 2024. Geneva: World Economic Forum, 2024. Disponível em: <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024>. Acesso em: 4 dez. 2024.

YANG, Zeyi. Inside the software that will become the next battle front in US-China chip war. MIT Technology Review, 2022. Disponível em: <<https://www.technologyreview.com/2022/08/18/1058116/eda-software-us-china-chip-war/>>. Acesso em 15 jun. 2024.

YEUNG, Henry Wai-Chung ; COE, Neil. Toward a dynamic theory of global production networks. Google Scholar, 2015. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/ecge.12063>>. Acesso em 1 mar. 2024.

YOUNG, Robert C. Breaking Boundaries: Brazil's Tech Revolution and the Semiconductor Surge. Sidera Consult, 23 fev. 2024. Disponível em: <<https://www.sideraconsult.com/post/breaking-boundaries-brazil-s-tech-revolution-and-the-semiconductor-surge>>. Acesso em: 5 maio 2025.

ZANINI, Fábio. Does Brazil Have What It Takes to Become a Semiconductor Powerhouse? BNamericas, 28 fev. 2024. Disponível em: <<https://www.bnamericas.com/en/interviews/does-brazil-have-what-it-takes-to-become-a-semiconductor-powerhouse>>. Acesso em: 5 maio 2025.