



Sistemas Setoriais de Inovação do setor de Máquinas e Equipamentos: uma análise para países selecionados

Karina Palmieri de Almeida¹;
Marisa dos Reis Azevedo Botelho²;

Resumo: Este trabalho objetiva realizar uma análise comparativa dos sistemas setoriais de inovação (SSI) dos países líderes mundiais do setor de Máquinas e Equipamentos (M&E), sendo eles, Alemanha, China e Estados Unidos, a fim de identificar e discutir suas semelhanças e diferenças. Além disso, pretende-se averiguar como o SSI do setor de M&E brasileiro se encontra frente aos líderes do setor. Serão utilizados dados das bases UN COMTRADE, World Bank, Eurostat, Lens e Statista que disponibilizam dados de FBCF e seu percentual no PIB, volume de comércio, *market share* e exportações e importações. Como resultado principal, observa-se que, no Brasil, o dinamismo do setor permanece limitado, especialmente diante da especialização produtiva em atividades de menor conteúdo tecnológico em relação aos países mais desenvolvidos, do baixo investimento em P&D e da predominância de firmas seguidoras e dependentes de tecnologia externa.

Palavras-chave: SSI; Máquinas e Equipamentos; Brasil; Líderes mundiais.

Código JEL: L6; O10; O30

Área Temática: Sistemas de inovação – nacional, regional, setorial, tecnológico

Sectoral Innovation Systems in the Machinery and Equipment Sector: An Analysis for Selected Countries

Abstract: This work aims to conduct a comparative analysis of the Sectoral Innovation Systems (SIS) of the world's leading countries in the machinery and equipment (M&E sector), namely Germany, China, and the United States, in order to identify and discuss their similarities and differences. Furthermore, the aim is to investigate how the SIS of the Brazilian M&E sector compares to the sector leaders. Data from UN COMTRADE, World Bank, Eurostat, Lens, and Statista databases will be used, which provide data on GFCF and its percentage of GDP, trade volume, market share, and exports and imports. As a main result, note that, in Brazil, the dynamism of the sector remains limited, especially given the production specialization and activities of lesser technological content in the relationship with the increasingly developing countries, the low investment in P&D and the dominance of firms followers and dependents of external technology.

Keywords: SSI; Machinery and Equipment; Brazil; World leaders.

¹ Doutora em Economia pela Universidade Federal de Uberlândia. E-mail: kaapalmieri@gmail.com

² Professora Titular do Instituto de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia. E-mail: botelho@ufu.br

1. Introdução

A literatura evolucionária do progresso técnico aborda que a inovação tecnológica difere muito entre os setores, sobretudo, em termos da base de conhecimento e dos processos de aprendizagem relacionados à inovação, i.e., em termos de características, fontes, atores envolvidos, limites de processos, bem como organização e estrutura das atividades inovativas (Malerba, 2002; 2004). Além disso, o conhecimento desempenha um papel essencial no processo de inovação e produção. Destarte, infere-se que a “acessibilidade, oportunidade e cumulatividade são dimensões-chave do conhecimento relacionadas à noção de regimes tecnológicos e de aprendizagem, que diferem entre os setores.” (Malerba, 2002, p. 252).

A natureza das tecnologias difere entre os setores econômicos, assim como a natureza dos clientes e o tipo de competição que as empresas enfrentam e, portanto, as habilidades necessárias e as formas apropriadas de organização e gestão. As indústrias diferenciam-se na medida em que extraem das universidades o conhecimento e as habilidades de que precisam para competir e a natureza das políticas governamentais que podem ajudar a apoiá-las. Os países se diferem na medida em que podem fornecer condições básicas para o desenvolvimento de diferentes indústrias. A esse respeito, Lundvall (2007) demonstrou que existem diferenças importantes entre os Sistemas de Inovação, tanto entre os países avançados quanto entre os países em desenvolvimento. Devido a essas diferenças, a análise dos processos envolvidos no desenvolvimento econômico requer um exame detalhado e minucioso da interação de vários fatores nos níveis setorial e nacional (Malerba; Nelson, 2011).

Dentre as várias abordagens relacionadas à temática de inovação tecnológica na indústria, haja vista que os setores industriais apresentam comportamento diferenciado em relação às suas trajetórias tecnológicas e quanto ao surgimento das inovações, optou-se por utilizar o enfoque setorial da indústria de M&E, sob a ótica dos Sistemas de Inovação. Nesse sentido, pretende-se destacar as diferenças, bem como as semelhanças, dos elementos que compõem os Sistemas Setoriais de Inovação (SSI) no setor de M&E dos países líderes do segmento. Isso posto, se estabelece a seguinte problemática: como se diferenciam os SSI dos países líderes mundiais do setor de M&E?

A análise comparativa entre SSI deve ser averiguada no contexto de certos fatores básicos, logo, algumas evidências sugerem que se pode observar elementos comuns entre os SSI, a saber: aprendizado e capacidade das empresas; acesso a *know-how* estrangeiro; capital humano qualificado; e política governamental. Do mesmo modo, as diferenças mais comuns são: estrutura da indústria; demanda e links verticais; e outros elementos dos sistemas setoriais – e.g., universidades e laboratórios públicos de pesquisa; finanças; tipos de política governamental; e padrões, regulamentos e normas (Malerba; Nelson, 2011).

À luz desse arcabouço teórico geral, este artigo tem como objetivo principal realizar uma análise comparativa dos SSI dos países líderes mundiais do setor de M&E, sendo eles, Alemanha, China e Estados Unidos, a fim de identificar e discutir as semelhanças e diferenças nas suas abordagens para fomentar a inovação e como essas estratégias impactam a competitividade global de cada país no setor de M&E. Além disso, pretende-se averiguar como o SSI do setor de M&E brasileiro se encontra frente aos líderes do setor. A análise focou nos países que detêm as maiores fatias do mercado global no segmento, o que reflete não apenas sua capacidade produtiva, mas também sua competitividade internacional. Os países foram selecionados com base em seu desempenho como os maiores produtores e exportadores globais no setor, a partir das bases de dados do United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN COMTRADE). Para tanto, a pesquisa será realizada a partir de uma análise eminentemente documental, por meio de relatórios, dados estatísticos e documentos oficiais, além de utilizar as bases de dados do World Bank, UN COMTRADE, Eurostat, Lens e Statista para identificar as diferenças e comparar os elementos dos SSI em análise. É importante destacar que, haja vista que os dados foram coletados de diferentes bases, alguns deles não possuem exatamente o mesmo recorte temporal, apesar disso, tornam possível a análise pretendida neste trabalho.

O artigo se estrutura em cinco seções, além da presente introdução e das conclusões. A segunda seção se dedica a discorrer sobre a evolução e dinâmica do SSI dos líderes do setor de M&E. A terceira seção se dedica aos aspectos da estrutura e organização do setor de M&E dos líderes mundiais. Em seguida, a quarta seção analisa os agentes heterogêneos e a formação de redes no setor. A quinta seção, por sua vez, aborda a demanda doméstica e internacional dos líderes do setor. Finalmente, a sexta seção se debruça em analisar a política industrial e tecnológica e incentivos à inovação dos líderes do setor em estudo.

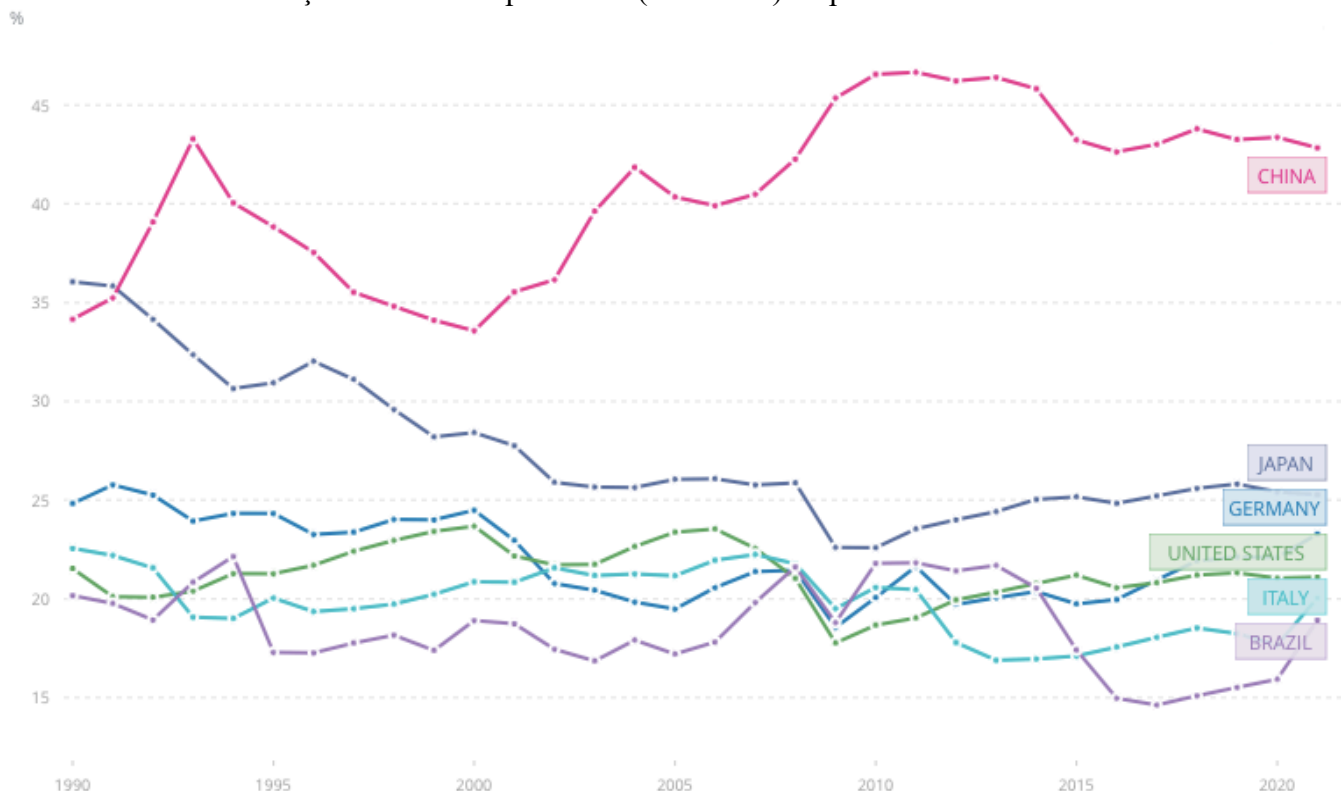
2. Evolução e dinâmica dos Sistemas Setoriais de Inovação: ascensão chinesa na indústria

Desde a década de 1990 até meados dos anos 2010, Alemanha, Estados Unidos e Japão disputaram o topo dos líderes mundiais do setor de M&E. A Alemanha ocupou por maior tempo o primeiro lugar no *ranking* de maiores produtores e exportadores do setor, com média de 18,5% das exportações globais no período, seguida por Japão (14,5%) e Estados Unidos (12,6%). Entretanto, a partir dos anos 2000, a China começou a apresentar expressivo crescimento e nos últimos anos tem competido pela liderança (World Bank, 2022).

Por muitos anos, a indústria chinesa foi sinônimo de produtos de baixa qualidade e mão de obra abundante pouco qualificada. No entanto, a China tem modificado seu *modus operandi*, ao performar um processo de *catching-up* em sua estrutura produtiva, e buscado a liderança mundial de mercado em diversos setores, investindo cada vez mais em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e na ampliação da Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) desde a década de 1990.

O Gráfico 1 apresenta o percentual dos gastos em FBCF em relação ao PIB dos líderes mundiais do setor de M&E. Os dados evidenciam o esforço que a China tem desempenhado para se estabelecer enquanto potência econômica e tecnológica, mantendo por quase duas décadas gastos em FBCF superiores a 40% do PIB, quase o dobro de seus concorrentes próximos – Japão, Alemanha e EUA. Além disso, o Index of Industrial Production (IIP), índice de produção industrial mensal do setor de M&E chinês, em agosto de 2022, foi de 152,5, bem superior aos concorrentes Alemanha (91,4) e EUA (96,3) (UNIDO, 2022). Assim, embora o setor de M&E chinês tenha começado a se desenvolver tardiamente, apresentou forte guinada de crescimento a partir dos anos 2000, sobretudo na última década, em que manteve o crescimento acima de 30% (China, 2021).

Gráfico 1 – Formação Bruta de Capital Fixo (% do PIB) de países selecionados do setor de M&E



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do World Bank (2022).

O Brasil, por sua vez, vinha apresentando uma trajetória com pequenas oscilações até o ano de 2011. Nos anos seguintes apresentou os melhores resultados da série, maiores inclusive que o percentual dos EUA, Alemanha e Itália. No entanto, estes resultados foram interrompidos pela crise enfrentada pelo setor a partir de 2015, assim nos cinco anos seguintes o setor apresentou os piores resultados de todo o período.

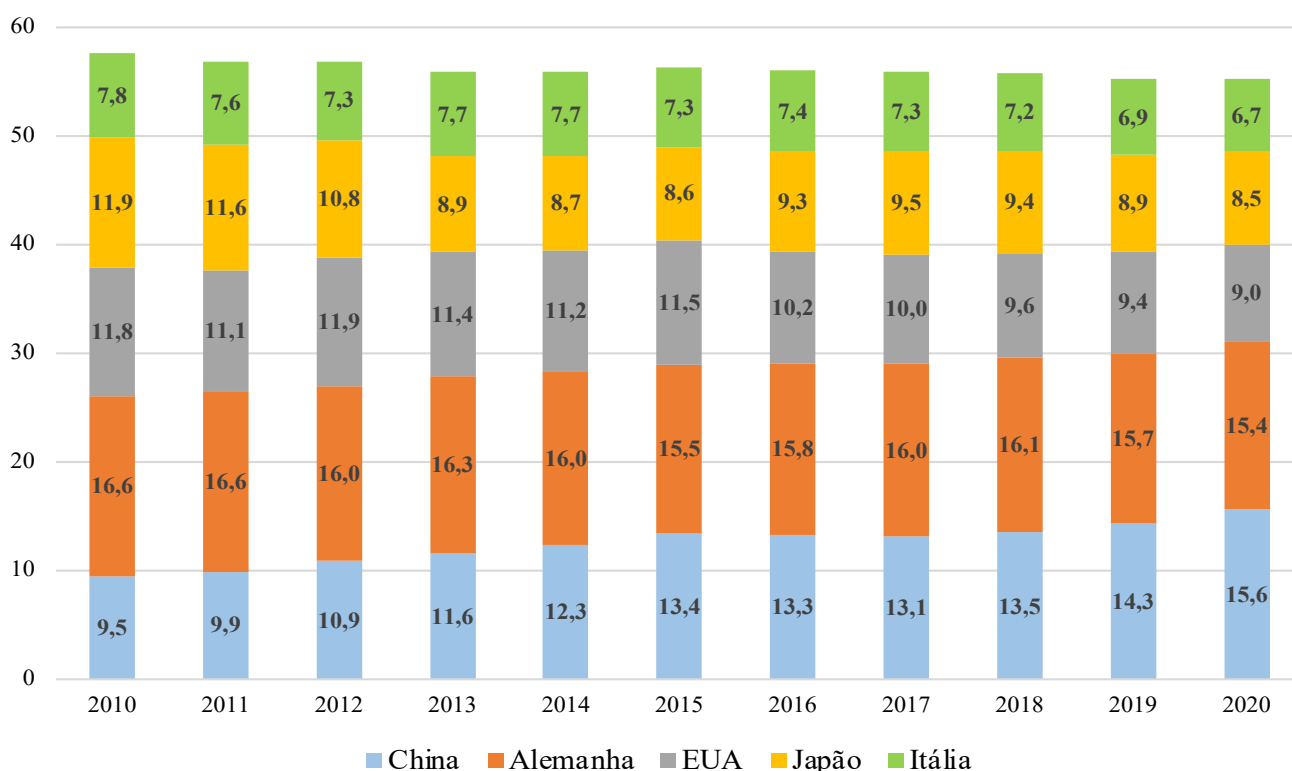
É importante destacar que o setor de M&E chinês beneficiou-se da grande demanda doméstica impulsionada pelo processo de industrialização do país, urbanização de determinadas regiões, bem como atualização tecnológica e reformas do lado da oferta. Durante esse processo, a China se tornou o maior produtor (em termos de valor total da produção), consumidor e importador mundial de M&E em muitos segmentos. De acordo com as Estatísticas de Comércio de *Commodities* das Nações Unidas, a China ocupa o primeiro lugar no mercado global de exportação com 167 tipos de produtos de máquinas.

Em 2004, a China ultrapassava o Japão e já alcançava a terceira colocação no volume de exportações mundiais do setor – cerca de US\$ 118 bilhões. Em 2009, os chineses já ocupavam o primeiro lugar, com 30,2% das exportações – cerca de US\$ 236 bilhões – e segundo maior *market share* global (9,5%), cerca de US\$ 350 bilhões, atrás apenas da liderança consolidada há décadas, composta pela Alemanha (16,6%), Japão (11,9%) e Estados Unidos (11,8%) (Gráfico 2). A partir de então, Alemanha e EUA já começavam a sentir os efeitos de um processo acelerado de diminuição da fatia de *market share* global do setor M&E.

Em 2019, a Alemanha ainda liderava o *ranking* mundial do setor de M&E – em termos de *market share* – e a China estava atrás em 1,4 ponto percentual. No entanto, o ano de 2020 marcou uma mudança no topo do *ranking* dos maiores países fornecedores de M&E. A engenharia mecânica europeia caiu em recessão devido à pandemia da Covid-19, tão logo, a Alemanha apresentou taxa de declínio na produção de 14% em termos reais, o mais acentuado desde a crise financeira em 2008.

Assim, a Alemanha perdeu a liderança de décadas do *market share* global de M&E ao ser ultrapassada pela China. As vendas globais dos líderes do setor foram de cerca de US\$ 1,1 trilhão, das quais as exportações chinesas chegaram a US\$ 417 bilhões, 15,6% do *market share* total, empurrando a Alemanha para a segunda posição com 15,4% do *market share* do segmento, diferença percentual de 0,2 (Gráfico 2) (Tecnologia Guohui Shuo, 2022; VDMA, 2022). Os EUA passaram a ocupar o terceiro lugar entre os líderes mundiais no mercado de M&E com cerca de 9% do *market share* global, seguidos por Japão (8,5%) e Itália (6,7%) (VDMA, 2022). A partir de então, a China consolidou sua posição, se manteve na dianteira e está há mais de uma década na liderança mundial do segmento. Diferentemente dos países líderes, sobretudo da China, o Brasil apresentou uma trajetória quase linear ao longo de toda a série histórica.

Gráfico 2 – *Market share* dos líderes mundiais do setor de M&E, em 2010 – 2020 (em %)



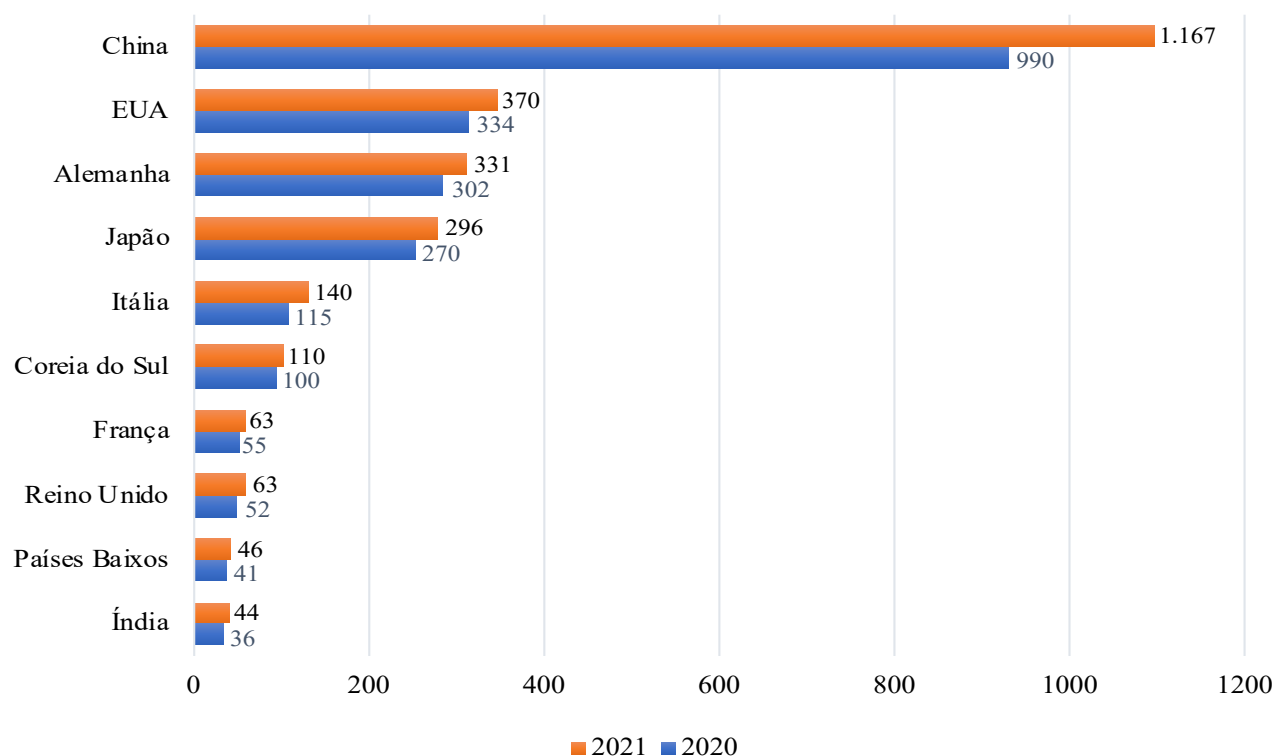
Fonte: Elaboração própria a partir do *Nationale Statistische Ämter, VDMA* (2022).

De acordo com informações da *Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.* (VDMA, 2022), Associação Alemã de Fabricantes Máquinas e Instalações Industriais, somados, o top cinco mundial do setor de M&E pode responder por mais de 70% da receita global e volume de comércio do setor, e os dez primeiros respondem por mais de 80% da receita global. Em 2023, somadas, as exportações do top cinco mundial do setor chegaram a quase US\$ 1,3 trilhões.

Segundo Ackermann, chefe da VDMA, o mercado de vendas de M&E sofreu sérios reveses devido à pandemia da Covid-19. Este advento forneceu um forte impulso para a ascensão da China em particular. Apesar disso, embora a economia mundial já esteja se recuperando e as exportações de máquinas da Alemanha, Estados Unidos e de outros países voltaram a crescer, a longo prazo a tendência é claramente a favor da China, que tem buscado concorrer pela liderança tecnológica mundial.

Vale ressaltar que o desenvolvimento chinês não foi totalmente inesperado, afinal, embora a China tenha alcançado recentemente a liderança de *market share* e das exportações, esta é há muito tempo o maior fabricante mundial de M&E. O volume de negócios da China é equivalente à dos Estados Unidos, Alemanha, Japão e Itália somados, como apresentado no Gráfico 4, sendo considerada a maior “fábrica mundial” (SOHU, 2021). Além disso, os chineses têm perseguido uma estratégia traçada há décadas que visa a liderança mundial de mercado em diversos setores, tanto em relação ao volume de comércio, quanto em termos tecnológicos (Yicai Global, 2021, Tecnologia Guohui Shuo, 2022).

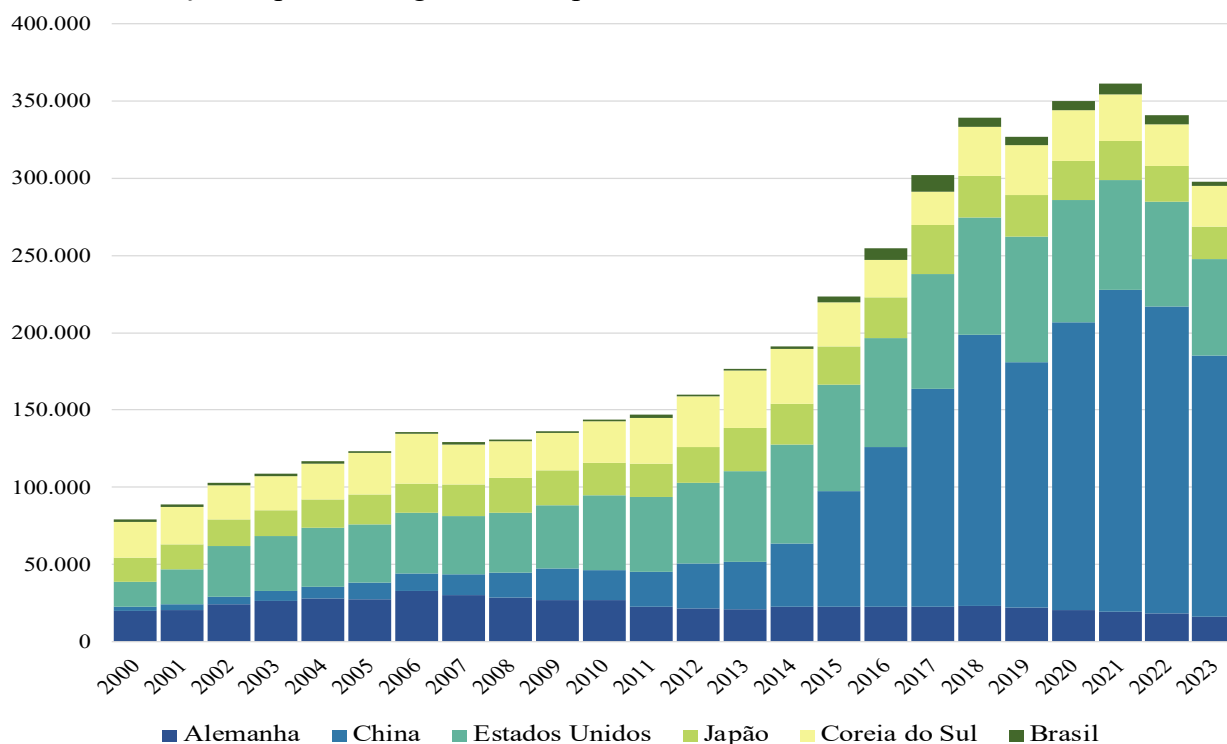
Gráfico 3 – Ranking por volume de negócios no setor de M&E, em 2020 – 2021 (em US\$ bilhões)



Fonte: Elaboração própria a partir das estimativas baseadas no *National Statistics*, *Eurostat* e *UNIDO* apud VDMA (2022).

A liderança chinesa na indústria de M&E também se evidencia em indicadores de desenvolvimento tecnológico. O Gráfico 5 apresenta a evolução dos dados dos países que registraram maior número de patentes do setor de M&E segundo a base de dados de patentes Lens. Além de se reafirmar como “fábrica do mundo”, os dados mostram que os chineses têm investido cada vez mais em P&D de tecnologia própria, o que pode ser comprovado pelo crescimento das patentes registradas.

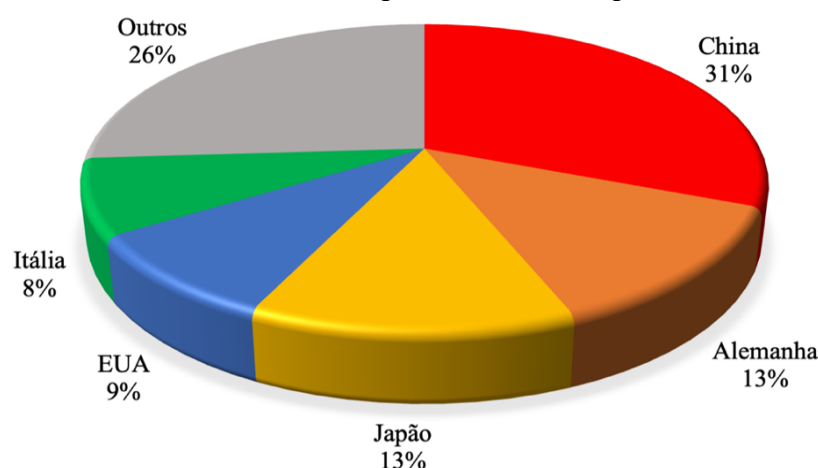
No início dos anos 2000, a China ainda estava longe de figurar entre os líderes do setor, especialmente no que tange à corrida tecnológica. Em contrapartida, na última década, o país deixou de ser apenas um fornecedor de produtos baratos, de baixo valor agregado e qualidade inferior e tornou-se o maior concorrente em termos de liderança tecnológica para as firmas de engenharia mecânica alemãs e norte-americanas, que vêm perdendo importante fatia do mercado global do setor de M&E.

Gráfico 4 – Evolução de patentes registradas de países selecionados do setor de M&E entre 2000 – 2023

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados Lens (2024).

Responsável pela produção de máquinas utilizadas para fabricar outras máquinas, o subsetor de máquinas-ferramenta é estratégico no desenvolvimento industrial de um país e figura entre os maiores subsetores dentro da indústria de M&E. Devido à sua importância e abrangência, o subsetor de máquinas-ferramenta é frequentemente utilizado como parâmetro de comparação dentro do setor de M&E. O Gráfico 6 corrobora com os dados acima apresentados ao ilustrar o *market share* dos líderes na produção de M&E no subsetor de máquinas-ferramenta, no ano de 2021. Observa-se que os maiores produtores deste subsetor são os mesmos líderes do setor de M&E como um todo, apenas com variações nos percentuais de mercado.

Neste segmento, a China se consolidou com produção maior que o dobro do segundo e terceiro colocados, mais de US\$ 25 milhões e fatia de 31% do *market share*. Alemanha e Japão possuem grande tradição na produção de máquinas-ferramenta e estiveram na vanguarda do subsetor, todavia, disputaram o segundo lugar com a produção na casa dos US\$ 10 milhões e fatia de mercado de 13% cada. Já os EUA ficaram na quarta colocação, com mais de US\$ 7 milhões e fatia de mercado de 9%, apesar disso, ressalta-se que este não é o subsetor de M&E com produção mais forte da indústria estadunidense.

Gráfico 6 – *Market share* dos maiores produtores de máquinas-ferramenta, em 2021

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Statista (2023).

A China é o maior produtor, consumidor e importador de máquinas-ferramenta do mundo. Suas importações atingiram US\$ 8,74 bilhões em 2017, a maioria das quais são máquinas CNC (Comando Numérico Central) e componentes principais da Alemanha, Itália, Japão e Coreia do Sul. A usinagem CNC facilita a eficiência das indústrias estratégicas, como aeroespacial, telecomunicações e indústrias de construção naval. Todavia, menos de 20 empresas chinesas fabricam máquinas-ferramenta CNC e apenas 30% das máquinas-ferramenta da China utilizam sistemas CNC, fato que evidencia a dependência tecnológica chinesa de produtos tecnologicamente mais sofisticados. Nos países desenvolvidos, o sistema CNC facilita mais de 70% de suas máquinas-ferramenta (China, 2021).

3. Estrutura e organização do setor de M&E dos líderes mundiais: atores e instituições

Tanto como fornecedor central de produtos complexos para a economia quanto como comprador de suprimentos e serviços tecnologicamente sofisticados, o setor de M&E faz parte da espinha dorsal das indústrias alemã, chinesa e norte americana que, por sua vez, figuram como os líderes mundiais do setor. Haja vista que as firmas são os principais atores da inovação e da produção em um SSI, como apontado por Malerba (2002), é importante destacar que o setor de M&E é por natureza heterogêneo, assim, inclui desde produtores de peças até fabricantes de plantas industriais. Não obstante, nos três países líderes aqui analisados, 90% dos empreendimentos configuram-se como pequenas e médias empresas (PMEs), muitas delas familiares. Por outro lado, também há a presença de grandes empresas públicas e marcas icônicas que comercializam em escala global (Research Germany, 2021, GTAI, 2022).

O setor alemão M&E é o maior do país em nível de atividade, reunindo cerca de 20 mil empresas e exibindo uma estrutura altamente heterogênea, que vai de pequenas firmas familiares de atuação local a grandes grupos com produção e P&D distribuídos globalmente, incluindo companhias de capital aberto, empresas formadas por fusões e aquisições e conglomerados com forte presença internacional. Nesse universo, destacam-se líderes como a Siemens, o Grupo Kion e a Bosch, que combinam ampla rede internacional de subsidiárias com forte desempenho inovador, evidenciado por elevado volume de patentes e relevância em diferentes segmentos industriais e tecnológicos.

Assim como a Alemanha, os Estados Unidos também são líderes de mercado em diversos segmentos de M&E. Composto por mais de 32.500 empresas, o setor destaca-se na produção de equipamentos para as áreas de biotecnologia, *softwares*, microprocessadores, computadores sediando as principais empresas transnacionais existentes devido à sua infraestrutura científico-tecnológica capacitada em áreas relacionadas a tecnologias estratégicas. A força da indústria é impulsionada por uma combinação da tradição de engenharia e tecnologia que também é impulsionada pela elevada demanda doméstica advinda da forte estrutura industrial do país. As maiores indústrias produtoras (petróleo, computadores e eletrônicos, automotiva, farmacêutica, aeroespacial e defesa, e alimentos e bebidas) também são setores clientes e usuários mais importantes para a indústria de M&E estadunidense. Não obstante, o subsetor de maior destaque refere-se às máquinas para construção, mineração e agrícolas, encabeçadas pelas gigantes mundiais Caterpillar e John Deere.

A indústria chinesa de M&E, embora seja um pilar global (US\$ 3,18 trilhões em receita em 2018 e mais de 92 mil empresas em 2020), ainda aprofunda capacidades em tecnologias avançadas. O segmento de baixo custo é dominado por PMEs, enquanto o de máquinas de ponta depende mais de estatais, firmas estrangeiras e *joint ventures*, refletindo a forte demanda por transferência tecnológica e o uso de incentivos estatais para acelerar o *catching-up*. A presença de capital estrangeiro permanece relevante em exportações, apesar do avanço de campeãs nacionais no maquinário de construção (como XCMG, Sany e Zoomlion), que figuraram entre as 5 maiores do mundo, em 2021, atrás em volume de vendas apenas das famosas estadunidense Caterpillar e japonesa Komatsu. A forte presença do Estado na economia faz com que essas firmas representem mais 40% do PIB da China, uma vez que cerca de 75 das 100 maiores empresas de capital aberto do país são estatais (China, 2021; HUAON, 2021).

A indústria brasileira de M&E registrou, em 2022, cerca de 14.959 empresas, predominantemente PMEs (Brasil, 2024). Entretanto, devido à grande heterogeneidade, o setor é composto por estabelecimentos de pequeno, médio e grande portes. Muitas empresas estrangeiras do setor encontram-se instaladas no Brasil e ocupam posições de destaque no mercado doméstico, todavia, o setor brasileiro de M&E possui grandes empresas com reconhecida competitividade internacional e capazes de competirem com base em inovação

e diferenciação de produtos, como as empresas WEG, Romi, Jacto, Stara, Aeris Energy, Stara, Schulz; Kepler Weber, dentre outras.

Em termos de mercado de trabalho, a engenharia mecânica e de instalações, como é chamada na Alemanha, é o maior e mais importante empregador industrial do país, com cerca de 1,36 milhão de funcionários diretos ao longo da cadeia produtiva. Assim, o número médio de funcionários nas 100 maiores empresas alemãs é de 4.009 (VDMA, 2022). Já nos EUA, o setor emprega cerca de 1,1 milhão de funcionários diretos e 2,8 milhões indiretos ao longo da cadeia produtiva. Assim, é responsável por 12% de todos os empregos no setor manufatureiro do país (International Trade Administration, 2022; U.S. Bureau of Labor Statistics, 2022). No Brasil, o setor emprega mais de 424 mil funcionários diretos e geram mais de dois milhões de empregos indiretos na cadeia produtiva que são induzidos por sua demanda (BRASIL, 2024).

No que tange ao mercado de trabalho da indústria de M&E chinesa, são poucas as informações disponíveis. Não obstante, características como mão de obra abundante a baixos custos, muito inferior aos demais países produtores, por muitos anos, foram consideradas fundamentais para alavancar a capacidade competitiva chinesa, que desafia todos os produtores em condições dificilmente reproduzíveis. Por outro lado, em um cenário de desenvolvimento de alta tecnologia, a indústria chinesa também enfrenta problemas de falta de mão de obra qualificada para lidar com as tecnologias avançadas.

Além dos baixos custos com mão de obra, outros elementos contribuíram para o fortalecimento da capacidade competitiva chinesa. O primeiro são os baixos custos de aquisição de insumos, uma vez que a China é, há décadas, a maior produtora mundial de aço. A escala de produção siderúrgica chinesa implica no aço mais barato do mundo que, graças a uma estrutura patrimonial estatal, é ainda subsidiado. O segundo elemento é a competitividade sistêmica articulada pelo governo, por meio do controle estatal sobre o crédito – abundante e barato – baixa carga tributária e controle sobre o câmbio desvalorizado, que implicam num ambiente macroeconômico favorável à expansão do setor. O terceiro, refere-se ao domínio crescente da tecnologia, sobretudo, por meio de práticas de engenharia reversa e mesmo de quebra de patentes, que encontram guarida no planejamento estatal e na estratégia das empresas (HUAON, 2021).

Vale ressaltar que a pandemia causou aumento dos preços das matérias-primas, que por sua vez, pressiona os preços de toda a cadeia produtiva, inclusive da China. Assim, as empresas chinesas de M&E começaram a enfrentar o dilema de custos crescentes. No que tange aos custos trabalhistas, os salários na China aumentaram significativamente mais rápido do que em outras grandes economias do mundo e a logística e produção de baixo custo enfrenta a ameaça da concorrência de países em desenvolvimento, como o sudeste asiático, em especial a Indonésia.

4. Agentes heterogêneos e a formação de redes no setor de M&E dos líderes mundiais

Além das firmas, um SSI é composto por agentes heterogêneos, que são organizações (firmas ou não-firmas) ou indivíduos caracterizados por processos específicos de aprendizagem e estruturas organizacionais. Além disso, em qualquer SSI, as empresas estão conectadas de várias maneiras por meio de relações de mercado e não de mercado que conformam redes. Sendo assim, os agentes interagem por meio de processos de comunicação, troca, cooperação, competição e comando (Malerba, 2002).

Embora seja heterogênea e descentralizada por natureza, a cooperação entre firmas especializadas e o desenvolvimento de uma vasta rede de interação entre elas, uma prática comum entre as empresas do setor de M&E, permitiu a conformação de *clusters* de inovação e o desenvolvimento de fortes redes da indústria na Alemanha, EUA e China. Isso ajudou esses países a garantir uma posição de liderança internacional em vários campos de tecnologia e consolidou seu *status* de referência internacional. Assim, a estrutura conformada pelos *clusters* industriais do setor de M&E nesses países criou um ambiente no qual operadores de todos os setores podem, em maior ou menor grau, se desenvolver em estreita proximidade com outros importantes atores para o segmento (GTAI, 2022).

A esse respeito, a abordagem evolucionária enfatizou que em ambientes incertos e mutáveis, redes formais e informais surgem não porque os agentes são semelhantes, mas porque são diferentes. Portanto, as redes integram complementaridades em conhecimentos, capacidades e especialização constituindo uma fonte de inovação e mudança em vários sistemas setoriais (Malerba, 2002).

Na Alemanha, a formação de redes no setor de M&E se apoia em aglomerações regionais que

conectam firmas, associações setoriais, universidades e institutos de pesquisa aplicada, criando um ambiente propício à difusão rápida de conhecimento e ao aprendizado coletivo. Regiões como Baden-Württemberg ilustram bem esse padrão ao concentrar manufatura avançada, engenharia de precisão e interação consistente com infraestrutura científico-tecnológica, o que facilita projetos cooperativos de P&D e acelera a transformação de resultados de pesquisa em aplicações industriais. Nesse arranjo, instituições de pesquisa aplicada, como as redes associadas à Fraunhofer, funcionam como ponte entre ciência e indústria, reforçando a capacidade de inovação incremental e, em áreas específicas, também de fronteira.

Já nos EUA, devido à própria característica do setor, a fabricação de M&E está amplamente disseminada pelo país. O *Cluster* da Baía de San Francisco, na Califórnia, região conhecida como Vale do Silício, é uma das áreas mais influentes e inovadoras quando se trata de engenharia mecânica e tecnologia. A Califórnia detém maior número de fabricantes de máquinas industriais. Com cerca de 3.487 empresas, captura 8% da indústria como um todo e sua maquinaria industrial responde por 13% do número geral de empresas de manufatura do estado (International Trade Administration, 2022).

A integração entre engenharia mecânica e ciência da computação está na vanguarda do Vale do Silício. Empresas líderes em tecnologia como Apple, Google, Tesla Intel, e Hewlett-Packard (HP) possuem grandes equipes de engenharia mecânica para suprirem sua demanda tecnológica. Somado a isso, a rede também é composta por várias instituições financeiras que oferecem financiamentos para o setor de M&E como JP Morgan Chase, Bank of American, U.S Bank, Wells Fargo e Citigroup.

Em relação à China, esta também possui uma importante rede de *clusters* que tem sido fortemente apoiada pelo governo, em especial, no tocante à manufatura avançada visando reduzir a dependência tecnológica das importações. A indústria de M&E da China está concentrada nas regiões costeiras orientais, onde se encontra a parte mais desenvolvida do país. Ao longo dos últimos anos, a indústria chinesa de M&E está gradualmente se movendo para oeste, de acordo com a política do governo chinês de desenvolver as regiões ocidentais do país. Sob a Iniciativa do Cinturão e Rota da Seda, tem-se traçado um aumento na produção de maquinário dessas regiões, já que a China busca desenvolver suas regiões interiores e exportar para a Eurásia por rotas terrestres (China, 2021).

O 14º Plano Quinquenal da China (2021 – 2025), liderado especialmente pelo Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação, orienta uma estratégia nacional para fortalecer indústrias-chave e impulsionar *clusters* de manufatura avançada a fim de disputar a competição global, com a meta de transformar esses polos em “campeões mundiais” e ampliar tanto a participação de grandes empresas competitivas quanto de PMEs especializadas. Nesse esforço, destacam-se *clusters* como Jiangsu (robôs e M&E em diversos equipamentos), a região Pequim–Tianjin–Hebei (base industrial diversificada, incluindo setores automotivo, aeroespacial e energia), Xangai (engenharia automotiva, automação e maquinário pesado) e Guangdong (M&E eletrônico e automação), sustentados por uma infraestrutura de ciência e tecnologia composta por universidades de referência em engenharia, institutos de pesquisa estratégicos e por bancos estatais que fornecem financiamento e apoio ao desenvolvimento do setor como o *Industrial and Commercial Bank of China (ICBC)*, *China Construction Bank (CCB)*, *Bank of China (BOC)* e *China Development Bank (CDB)*.

No Brasil, o setor de M&E possui grande disparidade de desenvolvimento entre diferentes regiões do país. Este fato reforça o fenômeno de *clusterização* ou conformação dos chamados Arranjos Produtivos Locais (APLs) do setor, concentrados nas regiões Sul e Sudeste. Apesar de serem identificadas importantes redes de firmas e fornecedores especializados, de acordo com Miguez, Willcox e Daudt (2015), uma deficiência das empresas nacionais se refere aos elos bastante incipientes e informais estabelecidos com os usuários e fornecedores do setor. As empresas líderes nacionais carecem, sobretudo, de relações formais e mais próximas com universidades e institutos de ciência e tecnologia como fonte de informação e inovação tecnológica. Como consequência, trata-se de um setor ainda pouco inovador frente aos líderes do segmento, com um grande obstáculo para funcionar de modo mais satisfatório como difusor de tecnologia para o restante da economia.

Além disso, uma característica estrutural do setor de M&E no Brasil, consiste no fato de que tecnologicamente a maioria das empresas são “seguidoras”. As empresas líderes – as quais cerca de 40% são multinacionais e detêm as maiores fatias de faturamento do setor –, sob a ótica tecnológica, são aquelas de maior porte, com produção em larga escala, sendo este um fator determinante para a competitividade do

setor. No entanto, mesmo as empresas líderes nacionais investem pouco em P&D, quando comparadas às firmas semelhantes em países avançados (Miguez; Willcox; Daudt, 2015).

5. Demanda doméstica e internacional

Como descrito por Malerba (2002), em um SSI, a demanda pode ser doméstica ou internacional, além disso, é composta por consumidores individuais, firmas e órgãos públicos, que podem fazer parte de diferentes países e SNIs, caracterizados por diferentes tamanhos, conhecimentos, processos de aprendizagem e competências, e afetados por diferentes fatores sociais e instituições.

Os países em análise possuem a demanda doméstica do setor de M&E excepcionalmente alta. Na Alemanha, isto ocorre como resultado da forte estrutura industrial e de engenharia do país, haja vista que as quatro maiores indústrias produtoras (química, eletrônica, automotiva e alimentos e bebidas) também são os quatro setores clientes e usuários mais importantes para a indústria de M&E alemã. Do mesmo modo, a força do setor nos EUA foi consolidada sob a égide de uma combinação da tradição de engenharia e tecnologia que também é impulsionada pela elevada demanda doméstica advinda da forte estrutura industrial do país. As maiores indústrias produtoras (petróleo, computadores e eletrônicos, automotiva, farmacêutica, aeroespacial e defesa, e alimentos e bebidas) também são setores clientes e usuários mais importantes para a indústria de M&E estadunidense (GTAI, 2022).

A indústria de M&E chinesa, em especial, a partir dos anos 2000, entrou em um estágio de rápido desenvolvimento e desempenho surpreendente. No entanto, embora tenha se tornado o maior mercado mundial de fabricação de M&E, em muitos subsectores a tecnologia central e os produtos de ponta, alta precisão e as máquinas-ferramentas ainda são fortemente dependentes das importações de países estrangeiros, de modo que ainda há uma grande lacuna entre a China e as potências manufatureiras mundiais, como Alemanha, EUA e Japão.

No que se refere à demanda internacional, a indústria de M&E alemã é considerada o principal setor de exportação do país. Juntamente com o setor automotivo constitui um dos motores tecnológicos que conduz a Alemanha a posto de nação “*high tech*”. As cerca de 20.000 empresas alemãs de engenharia mecânica têm um forte excedente de exportação de cerca de 17%, i.e., saldo comercial positivo com uma fatia de exportação crescente de 79% – 81,5% e uma fatia de importação de 62% (Research Germany, 2021).

Os Gráficos 7 e 8 apresentam o volume de comércio das exportações e importações do setor de M&E dos países líderes internacionais comparados ao brasileiro. Ao longo do período em análise, observa-se que a movimentação do comércio internacional do setor de M&E brasileiro foi baixa e bastante tímida em relação aos países que se encontram na fronteira tecnológica do setor, em especial, em termos de exportações, que conformaram quase uma linha reta ao longo do período. As curvas dos demais países possuem trajetória ascendente e movimentos muito parecidos ao longo de todo o período. Desses movimentos, destaca-se a queda durante a crise de 2008 e desaceleração da trajetória a partir de 2011, momento a partir do qual a China começava a aumentar seu *market share* global no setor de M&E e Alemanha, EUA e Japão começavam a sentir tais efeitos.

Por muito anos, a Alemanha seguida pelos EUA e Japão estiveram na vanguarda mundial do setor. É interessante observar que no início dos anos 2000, o setor de M&E brasileiro, em termos de volume de exportações, não apresentava grande discrepância em relação à China e Itália. No entanto, ao longo dos anos, estes países apresentaram diferente trajetória de crescimento, com destaque para a China, que se beneficiou da grande demanda doméstica impulsionada pelo processo de industrialização e reformas do país, e modificou o *ranking* dos líderes do setor, se tornando o maior produtor (em termos de valor total da produção), consumidor, exportador e importador mundial de M&E em muitos segmentos.

Somado a isso, em 2020, acredita-se que a pandemia da Covid-19 deu um forte impulso à ascensão da China no setor já que esta foi atingida muito cedo e de forma mais breve, enquanto os mercados europeu e norte americano foram severamente atingidos pelo surto por um período mais longo (SOHU, 2021). Em 2020, o setor representou 24,1% da indústria nacional, a receita operacional representou 21,5% e o lucro total representou 22,7% da indústria nacional, o que reforça essa tendência de mudança (CGEE, 2013; CINN, 2021). De acordo com os dados do *Ministry of Industry and Information Technology (MIIT)* da China, em 2021 as exportações de M&E representaram US\$ 467 bilhões e as importações foram de

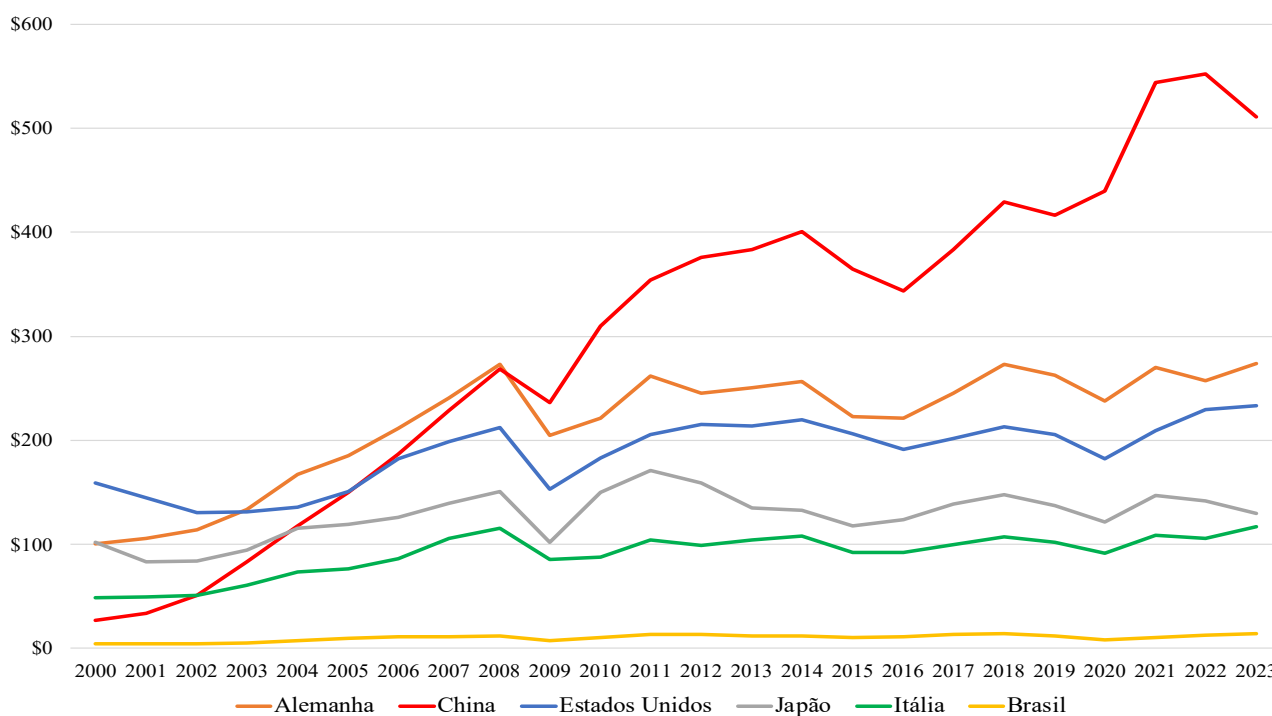
aproximadamente US\$ 317,7 bilhões. O *superávit* comercial do ano foi de US\$ 149,4 bilhões e a taxa de crescimento do valor agregado do setor de 25% (CIE, 2022). Os 5 principais destinos das exportações de M&E chinesas, em 2021, foram os EUA (US\$ 33,1 bilhões), Japão (US\$ 11,8 bilhões), Vietnã (US\$ 11,2 bilhões), Índia (US\$ 9,5 bilhões) e Alemanha (US\$ 9 bilhões).

É importante destacar que devido à estrutura de conformação da indústria chinesa, as firmas com investimento estrangeiro contribuem com 49,9% do valor total das exportações do setor de M&E e as empresas privadas e estatais, respectivamente, compartilharam 38,6% e 11,5% das exportações totais de maquinário da China. Diante desse cenário, o governo também tem atuado fortemente para mudar essa proporção e alavancar as firmas nacionais. Não obstante, no que diz respeito à tecnologia avançada, vale ressaltar que a China ainda possui alta dependência tecnológica das importações de países estrangeiros, de modo que ainda há uma grande lacuna entre a China e as potências manufatureiras mundiais. Assim, os principais países fornecedores de M&E para a China são, desde a última década, formados por cinco países, que representaram os respectivos valores no ano de 2018: Japão (US\$ 32 bilhões), Alemanha (US\$ 23 bilhões), Coreia do Sul (US\$ 16,4 bilhões), EUA (US\$ 11,3 bilhões) e Taiwan (US\$ 6,3 bilhões).

Por outro lado, a líder Alemanha, enfrentava leve queda marcada por alto custo dos materiais, baixos ganhos de produtividade e aumento dos custos com pessoal. Além disso, as vantagens tecnológicas das empresas alemãs começaram a diminuir em relação aos concorrentes globais devido ao acirramento concorrencial.

Assim como a Alemanha, o setor de M&E estadunidense vem perdendo participação no mercado internacional nos últimos anos devido à pressão competitiva chinesa, como já abordado anteriormente. No entanto, a indústria dos Estados Unidos, juntamente com Alemanha e Japão, está a frente no que diz respeito à tecnologia avançada. A integração entre engenharia mecânica e ciência da computação está na vanguarda do Vale do Silício.

Gráfico 7 – Volume de exportações do setor de M&E brasileiro em relação aos países líderes mundiais do segmento no período 2000 – 2023 (em US\$ bilhões)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do *UN COMTRADE* (2024).

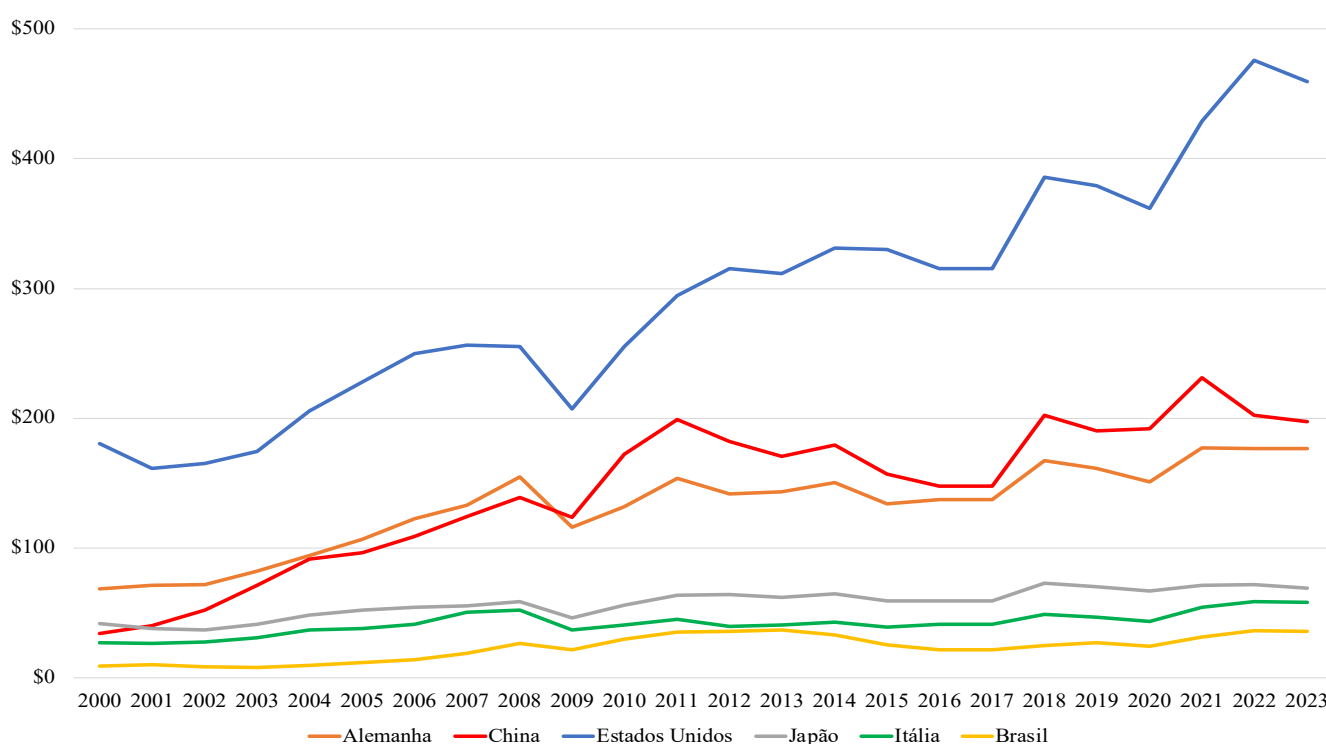
Em relação às importações, em geral, os países em desenvolvimento possuem elevado volume de importações devido à dependência tecnológica e necessidade de suprir a demanda doméstica com produtos estrangeiros de maior conteúdo tecnológico. Apesar desse fato, o Brasil apresentou baixo volume de importações quando comparado aos demais. Por outro lado, verifica-se que mesmo os países líderes do setor apresentam grande volume de importações quando comparados ao Brasil que, por sua vez, apresentou

ligeira tendência de aumento até 2008, que foi impactada pela recessão econômica mundial. Em seguida, apresentou nova leve tendência de aumento, em especial nas importações, mas voltou a apresentar queda a partir de 2013 devido à recessão doméstica.

Em relação à Alemanha, nota-se que embora o valor das exportações seja muito superior ao das importações, quase o dobro em alguns períodos, ambas as curvas possuem trajetória ascendente e movimentos muito parecidos ao longo de todo o período. É importante salientar que os perigos de uma alta dependência das exportações são agravados pelo crescente sucesso dos fabricantes estrangeiros. O setor de M&E alemão e estadunidense vem perdendo participação no mercado internacional nos últimos anos e esta pressão competitiva é impulsionada em grande parte pelos fabricantes chineses.

Nota-se que o valor das importações dos Estados Unidos é maior do que o valor das exportações em todo o período, com grande destaque a partir de 2009. Acredita-se que este fato foi registrado devido às transformações do sistema nacional produtivo norte americano, à grande demanda por equipamentos de fabricação de semicondutores e *hardware* para investimento em tecnologias avançadas, e ao intenso fenômeno da transnacionalização produtiva visando exploração de mão de obra barata, especialmente no leste asiático. Ademais, os principais países fornecedores de M&E para os EUA também são, desde a última década, formados por cinco países, que representaram os respectivos valores no ano de 2019: China (US\$ 50,5 bilhões), México (US\$ 35 bilhões), Japão (US\$ 20,6 bilhões), Alemanha (US\$ 20,3 bilhões) e Canadá (US\$ 15 bilhões).

Gráfico 8 – Volume de importações do setor de M&E brasileiro em relação aos países líderes mundiais do segmento no período 2000 – 2023 (em US\$ bilhões)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do UN COMTRADE (2024).

Em relação à China, como mencionado, esta tem deixado de competir somente em preços e tem competido também em produtos de alta qualidade. O setor global depende fortemente da China, que é fundamental tanto do ponto de vista da demanda quanto da oferta, haja vista que representa quase um quinto das exportações globais do setor de M&E e muitos países dependem das importações da China para produtos intermediários.

Frente à trajetória tardia de desenvolvimento do setor de M&E chinês, no início dos anos 2000 as importações do setor eram superiores às exportações. Até o ano de 2004, o valor das exportações e das importações andavam em estreita consonância, porém, a partir de então verifica-se que a curva das exportações de M&E segue uma trajetória de expressiva ascendência enquanto a curva das importações

segue uma trajetória ascendente um pouco mais contida. Em 2011, o setor de M&E já representava 42% da pauta de exportação, a China já alcançava a primeira colocação no volume de exportações globais do setor e já se preparava para alcançar a liderança de mercado até o final da década.

6. Política industrial e tecnológica e incentivos à inovação

No setor de M&E dos três países líderes aqui examinados, a política industrial e tecnológica ativa dos governos estimulou o aprendizado e o desenvolvimento de capacidades por parte das empresas domésticas. Nos três casos, os governos intervieram de diferentes formas e intensidades, utilizando diversos instrumentos de política industrial para o fortalecimento do setor de acordo com as particularidades do SSI.

6.1 Alemanha

O processo de desenvolvimento dos SSI de M&E remonta à formação dos SNI ao longo do século passado, e foi originalmente impulsionado pelo amplo papel do governo no financiamento científico e tecnológico. No início do século XX, a Alemanha ascendeu, junto com os EUA, à liderança econômica e tecnológica global, com PIB superior ao da Grã-Bretanha e da França. Porém, os alemães viveram uma ruptura e reconfiguração institucional entre o pós-guerra e a reunificação do país em 1989. O país ficou dividido e sofreu sanções e restrições impostas pelos vencedores, o que limitou, naquele período, setores estratégicos e forçou a reorganização da indústria, das universidades e do financiamento de P&D.

Nos anos 1980 e início dos anos 1990 houve uma série de programas do governo federal alemão direcionados às tecnologias de fabricação, das quais o setor de M&E constituía parte importante. A primeira medida em 1980 apoiou amplamente a P&D cooperativa em sistemas de manufatura flexíveis. Programas posteriores ampliaram o espectro para a difusão de “tecnologias de outros setores”, como CAD/CAM e *Computer Integrated Manufacturing* (CIM), dentro das indústrias manufatureiras para aumentar sua competitividade. O processo prosseguiu com o programa “Produção 2000 e Pesquisa para a Produção de Amanhã”, e com propostas voltadas especificamente para máquinas-ferramentas (Wengel; Shapira, 2004).

Essas medidas foram importantes para manter a Alemanha na liderança do setor de M&E desde a década de 1990. A partir de então, o governo estabeleceu importantes medidas para uniformizar o nível tecnológico entre Alemanha oriental e ocidental e investiu ativamente em gastos em P&D para lidar com potenciais ameaças à liderança tecnológica, assim o setor de M&E também esteve no centro desse processo (CGEE, 2013).

Ao longo de muitas décadas, a indústria alemã conquistou uma excelente reputação por fornecer produtos inovadores de alta qualidade, graças a seus trabalhadores altamente qualificados e excelente P&D industrial. Essa condição é proveniente de pesados investimentos estatais em educação, que fizeram as universidades e escolas técnicas alemãs se tornarem referência mundial já no fim do século XIX, e consolidou o sistema de educação com forte viés na pesquisa e com grande interação com o setor industrial (CGEE, 2013; BMKW, 2022).

Em 2006, concebeu-se a *High-Tech Strategy*, com o objetivo de atrair todos os atores da economia em torno da inovação e orientar as políticas de inovação da Alemanha sob na mesma direção. Assim, ciência e indústria são incentivadas a trabalharem em conjunto, como já era prática na Alemanha, visando rapidamente transformar resultados de pesquisa multidisciplinares em produtos. *A priori*, o plano duraria até 2010, mas foi ampliado para 2020, com algumas modificações e reestruturado para 2025 (CGEE, 2013).

No que se refere à iniciativa estratégica de implementação da Indústria 4.0, a Alemanha é pioneira e berço desse conceito, bem como referência na produção industrial avançada com ferramentas de alta tecnologia, conceito esse que começou a ser difundido a partir de 2011, na Feira Industrial de Hannover. A partir da nova *High-Tech Strategy*, que vem sendo implementada no país como um projeto bem estruturado de política industrial alemã para o futuro, por meio de soluções inteligentes, esse novo conceito propõe uma verdadeira revolução na forma como as fábricas operam.

Dentro da estratégia de alta tecnologia, o governo oferece apoio especial para parcerias tecnológicas e fornece subsídios e empréstimos para P&D. O Projeto Futuro INDUSTRIE 4.0 da Alemanha é uma das prioridades declaradas na nova *High-Tech Strategy 2025*. O governo federal está fornecendo suporte abrangente para estabelecer a Alemanha como um mercado líder e fornecedor de tecnologias-chave e como um centro de produção mundial (GTAI, 2022).

Atualmente, o programa “go-cluster”, que dá continuidade ao *Leading-Edge Cluster Competition*, ou *Top Cluster Programme*, reúne quase 100 *clusters* de inovação de toda a Alemanha. O financiamento é fornecido para projetos modelo para o desenvolvimento de *clusters* prospectivos e novos modelos de negócio. Em 2021, o *Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz* – BMKW (Ministério Federal de Assuntos Econômicos e Proteção Climática) estabeleceu financiamentos para incentivar as organizações de gerenciamento de *cluster* a garantir o futuro de seus atores e apoiá-los na afirmação de sua posição na concorrência nacional e internacional. Além disso, o governo possui um projeto focado nas inovações em PMEs, assim, implementou o Programa Central de Inovação para PMEs e o programa de Pesquisa Industrial Conjunta (BMKW, 2022; GTAI, 2022).

Como a nova medida emblemática *High-Tech Strategy 2025* do governo alemão, a iniciativa do *cluster Zukunfts*, denominada “Cluster4Future”, lança concursos para as melhores ideias inovadoras e tende a fazer uma importante contribuição para a transferência de tecnologia em todo o país. Criado para estabelecer uma nova geração de redes regionais de inovação, a competição de *clusters* intenciona ajudar a Alemanha a construir e consolidar sua forte posição entre os líderes mundiais de inovação, sobretudo, no setor de M&E, e a superar os desafios em importantes campos futuros (GTAI, 2022).

6.2 Estados Unidos da América

Após a Segunda Guerra Mundial e durante a Guerra Fria, por meio das missões com objetivos tecnológicos, o governo federal despendeu uma quantidade massiva de recursos em P&D para desenvolvimento da tecnologia de defesa (indústria bélica, energia nuclear e gastos militares), nas TICs e no complexo de saúde. Além disso, a Guerra Fria intensificou a intenção de constituir uma supremacia tecnológica por meio das corridas armamentistas e espaciais, contra a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) (CGEE, 2013).

Nesse contexto, percebeu-se a necessidade de articulação entre importantes organizações de seu corpo institucional, dentre elas o Pentágono, a *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* – Administração Nacional Aeronáutica e Espacial, e a *Atomic Energy Commission* (Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos). O impacto econômico do desenvolvimento desses setores se estendeu por toda a economia dos EUA, com destaque para fabricação de M&E que fornecem tecnologia essencial e altamente sofisticada para muitas outras indústrias de manufatura e serviços (CGEE, 2013).

A emergência das TICs na década de 1960, que tem viabilizado o avanço das tecnologias digitais associadas à Indústria 4.0, também remonta a esse período e está intimamente ligada à *Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)*, principal organização de inovação do *Department of Defense* que abrigava parte significativa da P&D bélica. Essa instituição também desempenhou papel central na integração das redes de conhecimento e pesquisa, públicas e privadas, em especial com a tecnologia em rede (*ARPAnet*), que viria a constituir a internet e sua utilização seria difundida por centros de P&D e universidades, estas que a décadas são a base da liderança dos EUA em C,T&I e figuram entre as melhores universidades do mundo (CGEE, 2013).

O governo federal não apenas financiou a infraestrutura e o desenvolvimento de P&D para os setores estratégicos, mas executou e foi o maior demandante nos setores mais incipientes. Nesse sentido, uma importante medida para a política científico-tecnológica, implementada em 1933, que vigora até os dias atuais, é o uso explícito das políticas de compras governamentais como instrumento de política industrial, denominado *Buy American Act*. Essa legislação consiste em uma espécie de protecionismo que define uma série de medidas aplicadas às compras do governo, visando privilegiar empresas locais (CGEE, 2013).

A partir dos anos 2000, a apreensão em torno da perpetuação do *american way of life* e à segurança do país no cenário internacional foram abaladas com os atentados de 11 de setembro de 2001, eclosão da crise financeira de 2008 e com a emergência da China como potência global. A guerra ao terrorismo legitimou discursos nacionalistas e belicistas com a crença de um “império sob ameaça” (CGEE, 2013). Assim, as disputas orçamentárias e estratégicas se inclinaram novamente para questões que tangem à segurança nacional e à proteção dos interesses das empresas norte americanas diante da perda relativa de liderança tecnológica, culminando em uma guerra comercial na última década, entre EUA e China.

Com o avanço das tecnologias digitais e implantação da Indústria 4.0 na Alemanha na última década, questões relacionadas começaram a surgir rapidamente por todo o mundo. Para recuperar a

liderança e a competitividade da indústria de transformação nos setores de alta tecnologia disputados, em especial, por Alemanha, China, Japão e Coreia do Sul, o governo norte americano colocou como prioridade o desenvolvimento da manufatura avançada e reagiu por meio do apoio às políticas de inovação com a implementação da *Advanced Manufacturing Partnership*, *National Robotics Initiative* e *Materials Genome Initiative*.

Em 2011, implementou-se a *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP), criada pelo presidente Barack Obama como estratégia para que indústria, academia e governo trabalhem em parceria para revitalizar a manufatura. Em 2012, elaborou-se o *The National Strategic Plan for Advanced Manufacturing* (Plano Nacional Estratégico de Manufatura Avançada) para orientar os investimentos federais em tecnologias transversais críticas, sobretudo, para corresponder às necessidades nacionais, à demanda global e às novas transformações tecnológicas (International Trade Administration, 2022). Assim, os EUA continuam sendo o país que mais investe em P&D, apesar de o diferencial que o separa dos seus principais competidores estar caindo significativamente nos últimos anos.

Nos EUA, o complexo de C,T&I é sustentado por uma miríade de políticas governamentais e instrumentos. No entanto, é importante destacar que cada estado possui autonomia e suas próprias leis estaduais, portanto, as políticas industriais se diferenciam em cada estado. A grande parte dos programas referem-se a concessão, isenção e redução de impostos, taxa preferencial e várias linhas de empréstimo e crédito fiscal. O *State Business Incentives Database* (Banco de Dados de Incentivos Empresariais Estaduais), criado em 1999 pelo *Council for Community and Economic Research* (C2ER) – Conselho de Pesquisa Comunitária e Econômica, apresenta todos os programas de incentivos empresariais em cada um dos 50 estados do país, que somados chegam a quase 2.000 programas.

6.3 China

Até a década de 1970, os chineses ainda não almejavam o *status* de potência tecnológica global. Somente a partir de 1978, iniciou-se na China um período de reformas econômicas e abertura por meio de políticas que visavam a modernização da agricultura, indústria, C&T e defesa nacional para sair da posição de país subdesenvolvido. Nesse período, grandes empresas estatais se desenvolveram, sobretudo, no setor de M&E. O apoio do Estado chinês não se restringiu às empresas estatais e incluiu também empresas privadas que se desenvolveram sob a égide dos incentivos do governo, bem como incentivos para atrair investimento direto externo e absorção de tecnologias. A partir dos anos 2000, o governo priorizou segmentos estratégicos e definiu diretrizes para transformar a China na maior potência tecnológica global na segunda metade do século XXI (CGEE, 2013; Arbix *et al.*, 2018).

Além da função de catalisador, o Estado chinês atuou fortemente como produtor direto nas áreas estratégicas. Em 2005, foi estimado que mais de 40% da produção nacional da China ainda eram provenientes das estatais (CGEE, 2013; Arbix *et al.*, 2018). A divisão entre a esfera pública e a privada na China não é bem clara, devido às fortes interconexões entre as empresas privadas, estatais e o Estado. A título de exemplo, em 2009, aproximadamente 17.000 empresas privadas eram subsidiárias de empresas estatais (Mulvenon; Tyroler-Cooper, 2009 *apud* CGEE, 2013).

Apesar dos avanços conquistados, na primeira metade dos anos 2000 o SNI chinês ainda apresentava importantes deficiências em setores-chave. A indústria de M&E, por exemplo, integrava as cadeias globais de valor (CGVs) de forma subordinada, com altas taxas de importação e baixa interatividade com as empresas locais chinesas. Não desempenhava, portanto, o importante papel de setor irradiador de inovação para o restante da economia (CGEE, 2013). Somado a isso, ao longo daquela década, verificou-se na China o esgotamento do modelo baseado na absorção de tecnologias levadas por subsidiárias de empresas transnacionais e a necessidade de construir as próprias capacidades inovativas.

Nos últimos anos, a China lançou diversas políticas destinadas a promover o desenvolvimento de maquinário de ponta e fabricação inteligente, os subsectores estratégicos e fortalecer os elos mais fracos do setor que dependem fortemente de importações, criando um ambiente político favorável à transformação e modernização da indústria de M&E. Para tanto, os políticos chineses estão intervindo cada vez mais no mercado, por meio de políticas industriais, direcionamento de recursos em P&D e iniciativas de financiamento favoráveis ao desenvolvimento da indústria ou restringindo o acesso ao processo de licitação do Estado (China, 2021; HUAON, 2021; SOHU, 2021).

Somado a isso, também se verificam pesados investimentos em educação visando as áreas estratégicas, como os programas educacionais focados em ciência, tecnologia, engenharia e matemática (*STEM*, no acrônimo inglês). Além da ênfase em atrair talentos estrangeiros como mão de obra altamente qualificada para o país, foca-se também em financiar o estudo e promover o retorno de estudantes chineses que estudaram no exterior, evitando assim a chamada “fuga de cérebros” e garantindo que os conhecimentos sejam aplicados no desenvolvimento do país.

Por meio da estratégia “*Made in China 2025*”, lançada em 2015, e o atual Plano Quinquenal, a China se esforça para aumentar a capacidade inovadora da indústria nacional e alcançar a liderança tecnológica global em vários segmentos, como manufatura inteligente, robótica e tecnologia agrícola até 2035, que há muito tempo são dominadas por empresas estrangeiras no país. No que tange ao setor de M&E, o “*Made in China 2025*” é uma iniciativa do governo chinês para alcançar a independência tecnológica em um período relativamente curto. Assim, serão capazes de fabricar M&E com tecnologia de ponta com seus próprios direitos de inovação e propriedade intelectual, além de atender às necessidades do país nos setores de energia, transporte, novos materiais, maquinário agrícola e máquinas-ferramenta.

6.4 Brasil

Após um longo período em que as políticas industriais sofreram descontinuidades no Brasil, a partir dos anos 2000, verificou-se um conjunto de mudanças do aparato político-institucional que direcionou substancialmente o apoio do governo ao estímulo à inovação. A economia brasileira contou com a implementação de um conjunto de planos de política industrial e desenvolvimento produtivo, que abrangeram o período 2004 – 2014, a saber, a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), em 2004, a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), em 2008, e o Plano Brasil Maior (PBM), em 2011.

Dado seu caráter estratégico ao crescimento e desenvolvimento industrial, o setor de M&E esteve entre os setores priorizados por todos esses planos de política industrial. De modo geral, as políticas industriais para o segmento de M&E visavam, sobretudo, elevar o consumo aparente ao passo que o coeficiente de importações seria reduzido, bem como aumentar as exportações e a competitividade do setor.

Apesar de toda a sua formulação e articulação, a PITCE foi dificultada pelos efeitos da política macroeconômica restritiva, pela precariedade da infraestrutura econômica, bem como do sistema de C,T&I. Todavia, apesar das dificuldades em alcançar os resultados esperados, a PITCE possibilitou a conformação de bases mais sólidas para as políticas industriais posteriores (LAPLANE; LAPLANE, 2017).

A PDP estabeleceu programas para vinte e cinco setores, dentre eles, o setor de bens de capital – bens de capital seriados e sob encomendas. Os resultados efetivos da PDP ficaram bastante aquém das metas estabelecidas em razão, principalmente, dos impactos da crise internacional de 2008. Não obstante, a PDP avançou muito na articulação e abrangência de instrumentos de política industrial (LAPLANE; LAPLANE, 2017).

Mais tarde, projetado para vigorar no período 2011 – 2014, o Plano Brasil Maior (PBM), política de desenvolvimento industrial e tecnológico do governo federal, foi lançado para dar continuidade à PITCE (2004 – 2007) e à PDP (2008 – 2010), por meio do estímulo à inovação tecnológica, ao adensamento produtivo e à produção nacional para alavancar a competitividade da indústria brasileira e retomar o crescimento e desenvolvimento econômico (BRASIL, [s.d.]). No entanto, o PBM foi implementado em uma conjuntura macroeconômica bastante adversa, com taxas de investimento e crescimento descendentes, na qual o cenário externo também apresentava perspectivas pouco animadoras do ponto de vista do comércio exterior.

Após alguns anos de descontinuidade e desmantelamento das políticas industriais, em 2024, o Governo lançou uma nova política industrial, chamada Nova Indústria Brasil (NIB), que visa impulsionar o desenvolvimento nacional, até 2033. Para reverter a desindustrialização precoce do país, a nova política prevê a articulação de diversos instrumentos de Estado, como linhas de crédito especiais, recursos não-reembolsáveis, ações regulatórias e de propriedade intelectual, além de uma política de obras e compras públicas, com incentivos ao conteúdo local, para estimular o setor produtivo em favor do desenvolvimento do país. Como ainda está em fase de implementação, ainda não é possível tecer comentários acerca de resultados desse novo programa.

Embora as políticas industriais mencionadas não tenham produzido os resultados esperados para a indústria de modo geral, ressalta-se que foi a partir delas que o desenvolvimento da indústria nacional foi inserido na agenda de políticas públicas do país como um instrumento de desenvolvimento econômico. A partir das políticas industriais, também ficou evidente a necessidade de elaboração de instrumentos para lidar com os problemas de competitividade no mercado internacional, que, por sua vez, refletem o atraso tecnológico da indústria doméstica em relação aos países desenvolvidos.

Quanto ao setor de M&E, restaram poucas medidas que contemplam o setor de M&E, uma delas é o Financiamento de Máquinas e Equipamentos (FINAME), do BNDES, que continuará sendo uma ferramenta crucial dentro do escopo da nova política industrial, contribuindo para a modernização e expansão da capacidade produtiva do parque industrial brasileiro por meio do financiamento de M&E novos.

Neste sentido, é importante criar condições que possibilitem o investimento em inovação tecnológica, modernização e gastos em P&D, que, por sua vez, são importantes instrumentos capazes de contribuir para o aumento da competitividade, produtividade e desempenho do setor. Por conseguinte, isso permitirá ao setor alcançar patamares de desenvolvimento e capacidade tecnológica mais avançados, capazes de engendrar maiores níveis de demanda e aumento das exportações de M&E nacionais, proporcionando avanços na participação da produção nacional e maiores fatias de mercado – *market share* –, bem como melhoria do faturamento, aumento dos postos de trabalho e renda.

Síntese e conclusões

Este artigo buscou levantar os principais aspectos comparativos dos SSI de M&E dos líderes mundiais do setor, sendo eles, Alemanha, China e Estados Unidos, a fim de identificar e discutir as semelhanças e diferenças nas suas abordagens para fomentar a inovação e como essas estratégias impactam a competitividade global de cada país no setor, bem como averiguar como o SSI do setor de M&E brasileiro se encontra frente aos líderes do setor. A análise da evolução desses SSI mostra que, nos últimos anos, o setor de M&E está experienciando constantes mudanças, ao passo que um novo *modus operandi* está sendo forjado à medida que as próprias fronteiras tecnológicas do setor evoluem.

Há muitos aspectos convergentes e divergentes entre as potências tecnológicas no segmento de M&E que são responsáveis pelo desempenho do setor a nível mundial. Apesar das particularidades intrínsecas a cada um deles, como elemento comum, os três casos analisados consideram o setor de M&E como um dos elementos da força motriz da economia e priorizam as novas tecnologias digitais, com foco em automação avançada, inteligência artificial e C,T&I. Além disso, de diferentes formas (centralizada ou descentralizada), apontam para um protagonismo estratégico da atuação do Estado.

Nos três SSI dos líderes em análise, observa-se na estrutura a consolidação de grandes *clusters* do setor de M&E, e apesar da participação das grandes empresas, são formados principalmente por PMEs. A respeito da formação das redes de interação entre atores do sistema, nos casos da Alemanha e EUA, se verificam intensos investimentos na área de educação e estreita relação entre governo, indústria, institutos de pesquisa e universidades, estas consagradas entre as melhores do mundo. Essa integração facilita a transferência de conhecimento e a aceleração do desenvolvimento tecnológico. Já a China, apesar dos investimentos em educação e esforços para atrair mão de obra altamente qualificada, enfrenta menor interatividade na relação entre indústria e universidade, com algumas relações ainda muito incipientes, bem como maior dificuldade de industrializar os resultados de suas pesquisas.

Embora cada SSI possua suas particularidades, nos três casos analisados, o processo de interação, o acesso ao conhecimento estrangeiro, o capital humano qualificado e a política industrial e tecnológica fortemente ativa dos governos funcionaram de maneira sistêmica e complementar, e não isoladamente. Deste modo, o aprendizado e a formação de competências pelas empresas foram apoiados por um sistema educacional que desenvolveu uma força de trabalho qualificada e por um governo que lançou políticas de apoio ao aprendizado, pesquisa e aquisição de conhecimento estrangeiro. Esses exemplos realçam o fato de que, embora os SSI possuam elementos em comum, ao mesmo tempo são heterogêneos em suas características intrínsecas e podem diferir drasticamente (Malerba; Mani, 2009).

Em relação aos elementos distintos, observa-se que Alemanha e EUA são fortemente integrados nas CGV, exportando produtos de alta qualidade e tecnologia para todo o mundo. Já a China tem se esforçado

para subir nas CGV, passando de um foco em manufatura de baixo custo para produtos mais sofisticados e de maior valor agregado, visando reduzir a dependência tecnológica de outros países. Nessa mesma direção, observa-se que, diferente dos demais, a China ainda enfrenta desafios referentes à propriedade intelectual e promove políticas que incentivam a transferência de tecnologias estrangeiras para empresas locais, muitas vezes como condição para o acesso ao mercado chinês, como *joint ventures* e parcerias.

As diferenças também se apresentam na conformação da estrutura dos três SSI, estas condicionadas a fatores históricos, interesses políticos e econômicos de cada país, que também foram responsáveis pelo direcionamento e enfoque de desenvolvimento do setor em sua base. Na área da indústria de pesquisa intensiva, a Alemanha é particularmente forte em tecnologias de alta qualidade – áreas de tecnologia de transporte, máquinas e sistemas elétricos, bem como elementos de máquinas. Assim, por trás do estabelecimento das fronteiras tecnológicas alemãs, estão objetivos como proteção de interesses nacionais, manutenção da inserção geopolítica mundial e enquanto potência europeia, desenvolvimento de tecnologias social e ambientalmente sustentáveis, principalmente associadas a fontes de energia limpas (CGEE, 2013).

Em relação aos EUA, a competitividade do setor de M&E e da economia estadunidense se desenvolveram atreladas às tecnologias associadas ao complexo produtivo militar, sobretudo, aquelas relacionadas às TICs. A crença de um império sob ameaça tem direcionado a economia novamente para questões que tangem à segurança nacional e à proteção dos interesses das empresas norte americanas diante da perda relativa de liderança tecnológica. Os EUA têm prioridades nas áreas de defesa, informática, tecnologia médica e comunicação digital e apesar da perda de participação da indústria no PIB desde o final do século passado, ainda se encontra na liderança disparada de alguns subsectores.

No que se refere à China, nos últimos anos, as nações industriais estabelecidas se beneficiaram da ascensão chinesa, proveniente de seu processo de industrialização tardio. Esta tem se mostrado uma grande surpresa para a competitividade global no setor e tem conquistado importante fatia do mercado de M&E, antes pertencente à Alemanha e EUA. Os dados deste artigo reafirmam que, além de realizar um processo de *catching-up* em um curto período de tempo, a China deixou de ser apenas um fornecedor de produtos baratos, de baixo valor agregado e qualidade inferior. A China é o cliente mais importante e o maior concorrente em termos de liderança tecnológica para as firmas de engenharia mecânica alemãs e norte-americanas, como evidenciado pela evolução do número de patentes registradas. Os gigantes da tecnologia do Vale do Silício estão se tornando parceiros importantes em termos de *software*, porém, tem reivindicado alta margem de lucros com dados do usuário para si mesmos (VDMA, 2022).

Esse cenário de elevada concorrência entre os líderes tecnológicos acrescenta novas características aos SSI do setor de M&E, ao passo que as próprias fronteiras e tecnologias do setor evoluem e pressionam os padrões de manufatura. Ademais, o cenário atual do setor também reafirma que um sistema setorial não deve ser visto como uma estrutura rígida e fechada, mas como uma estrutura ampla, aberta e flexível, capaz de abranger uma gama de elementos heterogêneos e ilustra como a dinâmica e as transformações econômicas moldam esse SSI por meio de processos de caráter coevolucionário (Malerba, 2002; Malerba; McKelvey, 2018).

Lundvall (2007) demonstrou que existem diferenças importantes nos SNIs, tanto entre os países avançados quanto entre os países em desenvolvimento. Somado a isso, Malerba (2004) afirma que aqueles países que não possuem sistemas setoriais maduros e consolidados possuem maior dificuldade de se inserirem nos mercados internacionais. Logo, a dimensão setorial dos SI provou ser relevante tanto em países avançados quanto em países em desenvolvimento. Isso posto, tem havido um interesse emergente em análises de SSI em países em desenvolvimento, em especial, pelo fato de a inovação tornar-se relevante para o seu desenvolvimento (Malerba; Mani, 2009; Malerba, 2010; Malerba; Nelson, 2011; Lee; Malerba, 2017).

Nesse sentido, ao traçarmos uma breve linha de comparação entre o SSI brasileiro de M&E em relação aos países líderes mundiais, observa-se que, no Brasil, o setor apresenta determinadas características intrínsecas que não correspondem ao padrão de desenvolvimento dos líderes no âmbito internacional. Enquanto Alemanha, China e Estados Unidos fortalecem seus setores de M&E com políticas industriais robustas, inovação tecnológica e forte apoio estatal, no Brasil, os esforços governamentais, historicamente, concentraram-se no apoio à compra de M&E com tecnologias incorporadas. O dinamismo do setor permanece limitado, especialmente diante da especialização produtiva em atividades de menor conteúdo

tecnológico em relação aos países mais desenvolvidos, do baixo investimento em P&D e da predominância de firmas seguidoras e dependentes de tecnologia externa. Muitas das firmas do setor são seguidoras, possuem estratégias tecnológicas passivas, imitativas, baixos esforços inovativos e cerca de 40% das firmas líderes do setor no país são multinacionais estrangeiras (Miguez; Willcox e Daudt, 2015).

Como agravante à situação do setor, não pode deixar de ser considerado o processo de desindustrialização enfrentado pela economia brasileira somado ao cenário econômico recessivo interno que o Brasil vivencia desde a última década, pois, ambos recaem sobre o setor de M&E que, nos últimos anos, tem apresentado perda relativa de importância na indústria de transformação e na indústria de modo geral.

Considera-se que o setor de M&E ainda tem um longo caminho a percorrer em termos de evolução tecnológica. Logo, é necessário que o Estado brasileiro assuma o protagonismo no desenvolvimento do setor e da indústria de modo geral, coordenando e direcionando investimentos para os setores-chave. Assim, faz-se necessário a implementação de políticas públicas de apoio e incentivo à inovação para se reverter esse processo de regressão do setor e engendrar níveis de desempenho e capacidade tecnológica mais avançados, capazes de alavancar a competitividade e produtividade da indústria no cenário competitivo global.

Referências bibliográficas

- ARBIX, Glaucio; MIRANDA, Zil; TOLEDO, Demétrio Cirne; ZANCUL, Eduardo de Senzi. **Made in China 2025 e Indústria 4.0: a difícil transição chinesa do catching up à economia puxada pela inovação.** Tempo Social, 30(3), pp. 143-170, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11606/0103-2070.ts.2018.144303>
- BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Industrial Anual – PIA – Empresa.** 2024a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9042-pesquisa-industrial-anual.html>. Acesso em: 25 jul. 2024.
- BMWK – BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ. **New High-tech Strategy – Innovation for Germany.** 2022. Disponível em: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Artikel/Technology/high-tech-strategy-for-germany.html>. Acesso em: 15 set. 2022.
- CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS: Ciência, Tecnologia e Inovação. **Dimensões estratégicas do desenvolvimento brasileiro.** As fronteiras do conhecimento e da inovação: oportunidades, restrições e alternativas estratégicas para o Brasil. – Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, v.2., 212 pp., 2013.
- CHINA. 中华人民共和国中央人民政府 (Governo Popular Central da República Popular da China). 製造業集群是經濟增長的關鍵 (**Clusters de manufatura são essenciais para o crescimento econômico**). 2021. Disponível em: <https://www.gov.cn>. Acesso em: 02 out. 2022.
- GTAI – GERMANY TRADE & INVEST. **The Machinery & Equipment Industry in Germany.** Issue 2022/2023. 2022. Disponível em: <https://www.gtai.de/en/invest/industries/industrial-production/machinery-equipment#77206>. Acesso em: 12 ago. 2022.
- HUAON – HUAJING INDUSTRY RESEARCH INSTITUTE. **Análise do estado de desenvolvimento da indústria de máquinas e equipamentos, o ambiente de desenvolvimento das empresas de fabricação de máquinas precisa ser melhorado.** 2021. Disponível em: <https://m-huaon-com>. Acesso em: 24 set. 2022.
- INTERNATIONAL TRADE ADMINISTRATION. **Machinery and Equipment Industry.** Select USA. 2022. Disponível em: <https://www.trade.gov/selectusa-machinery-and-equipment-industry>. Acesso em: 29 nov. 2022.
- LAPLANE, M.; LAPLANE, A. Planes industriales y los desafíos del desarrollo sostenible en Brasil. CEPAL: **Políticas industriales y tecnológicas em América Latina**, pp. 133-74, 2017.
- LEE, Keun; MALERBA, Franco. Catch-up cycles and changes in industrial leadership: Windows of opportunity and responses of firms and countries in the evolution of sectoral systems. **Research Policy**, 42(1), 338–351, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.09.006>
- LENS.ORG – **Patents.** Disponível em: <https://www.lens.org>. Acesso em: 10 jul. 2024.

- LUNDVALL, Bengt-Åke. National innovation systems-analytical concept and development tool. **Industry and Innovation**, 14(1), 95–119. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1080/13662710601130863>.
- MALERBA, Franco. Sectoral System of Innovation and Production. **Research Policy**, 31: 247–264, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00139-1](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00139-1).
- MALERBA, Franco. Sectoral systems: how and why innovation differs across sectors. In: FAGERBERG, Jan; MOWERY, David C.; NELSON, Richard R. (eds). **The Oxford Handbook of Innovation**. Oxford University Press, pp. 380-406, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0014>.
- MALERBA, Franco; MANI, Sunil. Sectoral systems of innovation and production in developing countries: an introduction. In: MALERBA, Franco; MANI, Sunil (ed.). **Sectoral Systems of Innovation and Production in Developing Countries**, chapter 1, Cheltenham: Edward Elgar Publishing. 2009. DOI: <https://doi.org/10.4337/9781849802185>
- MALERBA, Franco. **Knowledge-intensive entrepreneurship and innovation systems: evidence from Europe**, Abington. New York: Routledge, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203857403>
- MALERBA, Franco; NELSON, Richard R. Learning and catching up in different sectoral systems: evidence from six industries. **Industrial and Corporate Change**, v. 20, n. 6, pp. 1645-1675, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dtr062>.
- MALERBA, Franco; MCKELVEY, Maureen. Knowledge-intensive innovative entrepreneurship integrating Schumpeter, evolutionary economics, and innovation systems. Springer. **Small Bus Econ**, n. 54 503–522, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11187-018-0060-2>.
- MIGUEZ, Thiago; WILLCOX, Luiz Daniel; DAUDT, Gabriel. O setor de bens de capital: diagnóstico do período 2000-2012 e perspectivas a partir do cenário econômico. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 42, pp. 297-336, set. 2015.
- RESEARCH GERMANY. **Mechanical Engineering Industry in Germany: Our Industry Report**. 2021. Disponível em: <https://www.researchgermany.com/mechanical-engineering-industry-in-germany-our-industry-report/>. Acesso em: 11 ago. 2022.
- SOHU. 超越德国，中国成为2020全球最大机械制造出口国 (**Ultrapassando a Alemanha, a China se torna o maior exportador mundial de fabricação de máquinas em 2020**). 2021. Disponível em: https://www.sohu.com/a/477027734_99985415. Acesso em: 11 out. 2022.
- STATISTA. **Industrial Machinery Manufacturing**. Disponível em: <https://www.statista.com>. Acesso em: 11 ago. 2022.
- TECNOLOGIA GUOHUI SHUO. **Entre as seis maiores potências mecânicas do mundo, quem está no topo?** 2022. Disponível em: <https://www-163-com>. Acesso em: 22 set. 2022.
- UN COMTRADE. **United Nations Commodity Trade Statistics Database**. Disponível em: <https://comtradeplus.un.org>. Acesso em: 20 ago. 2024.
- UNIDO – UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. **Databases**. 2022. Disponível em: <https://stat.unido.org> Acesso em: 20 fev. 2022
- U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS. **Machinery Manufacturing Subsector**. 2022. Disponível em: <https://www.bls.gov/iag/tgs/iag333.htm> Acesso em 26 nov. 2022.
- VDMA – VERBAND DEUTSCHER MASCHINEN- UND ANLAGENBAU E.V. **Maschinenbau in Zahl und Bild 2022**. Volkswirtschaft und Statistik Economics and Statistics. 2022. Disponível em: <https://www.vdma.org/association>. Acesso em: 08 jul. 2022.
- WENGEL, Jürgen; SHAPIRA, Philip. “Machine tools: the remaking of a traditional sectoral innovation system” In: MALERBA, Franco (Ed). **Sectoral System of Innovation: Concepts Issues and Analyses Six Major Sector in Europe**, UK, Cambridge University Press, pp. 243-286, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511493270.008>.
- WORLD BANK. **World Development Report 2016: Digital Dividends**. Washington, DC: World Bank. 2016. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2016>. Acesso em: 10 dez. 2021.
- YICAI GLOBAL. **China Becomes World’s Largest Machinery Equipment Exporter**. 2021. Disponível em: <https://www.yicaiglobal.com/news/china-becomes-world-largest-machinery-equipment-exporter>. Acesso em: 11 ago. 2022.