

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA
DOUTORADO EM ECONOMIA

KARINA PALMIERI DE ALMEIDA

**ENSAIOS SOBRE SISTEMAS SETORIAIS DE INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA DE
MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS: UMA ANÁLISE PARA PAÍSES SELECIONADOS**

UBERLÂNDIA

2024

KARINA PALMIERI DE ALMEIDA

**ENSAIOS SOBRE SISTEMAS SETORIAIS DE INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA DE
MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS: UMA ANÁLISE PARA PAÍSES SELECIONADOS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia do Instituto de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Economia.

Área de concentração: Políticas Públicas e Desenvolvimento Econômico

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marisa dos Reis Azevedo Botelho

UBERLÂNDIA

2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

A447 2024	<p>Almeida, Karina Palmieri de, 1996- Ensaio sobre Sistemas Setoriais de Inovação na indústria de máquinas e equipamentos [recurso eletrônico] : uma análise para países selecionados / Karina Palmieri de Almeida. - 2024.</p> <p>Orientadora: Marisa dos Reis Azevedo Botelho. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Economia. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.te.2024.626 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Economia. I. Botelho, Marisa dos Reis Azevedo, 1961- , (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Economia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 330</p>
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Economia				
Defesa de:	Tese de Doutorado, Nº 95, PPGE				
Data:	20 de agosto de 2024	Hora de início:	08:30	Hora de encerramento:	12:10
Matrícula do Discente:	12013ECO002				
Nome do Discente:	Karina Palmieri de Almeida				
Título do Trabalho:	Ensaio sobre Sistemas Setoriais de Inovação na Indústria de Máquinas e Equipamentos: uma análise para países selecionados				
Área de concentração:	Desenvolvimento Econômico				
Linha de pesquisa:	Políticas Públicas e Desenvolvimento Econômico				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Indústria, Política Industrial e Desenvolvimento Econômico				

Reuniu-se a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Economia, assim composta: Profa. Dra. Ana Paula Macedo de Avellar - UFU; Prof. Dr. Germano Mendes de Paula - UFU; Prof. Dr. Rogério Gomes - UNESP; Prof. Dr. Antonio Carlos Diegues Junior - UNICAMP; Profa. Dra. Marisa dos Reis Azevedo Botelho - UFU orientadora da candidata. Ressalta-se que em conformidade com deliberação do Colegiado do PPGE e manifestação da orientadora, a participação da aluna e dos membros externos da banca ocorreu de forma remota via webconferência. Os professores Rogério Gomes e Antonio Carlos Diegues Junior participaram desde a cidade de Araraquara (SP) e Campinas (SP), respectivamente. Os professores Ana Paula Macedo de Avellar e Germano Mendes de Paula participaram desde a cidade de Uberlândia (MG). A aluna e a orientadora participaram presencialmente, na sala 1J41, campus Santa Mônica, Uberlândia (MG).

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Dra. Marisa dos Reis Azevedo Botelho, apresentou a Banca Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir a senhora presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Marisa dos Reis Azevedo Botelho, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/08/2024, às 12:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula Macedo de Avellar, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/08/2024, às 13:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Germano Mendes de Paula, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/08/2024, às 18:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rogério Gomes, Usuário Externo**, em 22/08/2024, às 17:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Antônio Carlos Diegues Junior, Usuário Externo**, em 29/08/2024, às 19:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5592875** e o código CRC **AF785C22**.

AGRADECIMENTOS

Esta Tese representa uma parte dos esforços realizados ao longo dos últimos quatro anos dedicados ao curso de Doutorado em Economia. Ao longo desse período, vivenciei muitos momentos carregados de ansiedades e incertezas. Alcançar o título mais alto da carreira acadêmica e vivenciar experiências em ambientes altamente qualificados me fez questionar constantemente minhas capacidades. No entanto, acredito que para se alcançar uma grande conquista se faz necessário enfrentar as dificuldades com as ferramentas que se tem, mesmo que em determinadas ocasiões elas não sejam tão adequadas. Em muitos momentos me vi nessa situação, me indaguei se estava sonhando alto demais, temi não estar preparada o suficiente e não ter os recursos necessários para fazer com que meus sonhos se tornassem realidade. Não obstante, é muito gratificante observar que, em meio há tantas dificuldades, toda essa trajetória valeu a pena e consegui traçar um caminho do qual eu possa me orgulhar.

Com muita persistência e resiliência consegui superar desafios que me fizeram crescer enquanto pessoa e profissional. No entanto, para que o encerramento desse importante ciclo em minha vida se concretizasse, muitas pessoas me auxiliaram das mais diversas formas. Portanto, a todos aqueles que contribuíram não só para a finalização deste trabalho, como também para o meu aperfeiçoamento pessoal e profissional, a quem me refiro cuidadosamente nesta seção, dedico minha gratidão.

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade concedida, pela resiliência, pela coragem e por me guiar nessa intensa jornada.

Agradeço à minha orientadora, Marisa dos Reis Azevedo Botelho, por quem tenho imenso respeito e admiração, por ser uma das principais responsáveis pela trajetória da minha carreira acadêmica. Seus esforços em me orientar com imensa maestria e comprometimento durante todos esses anos foram cruciais não apenas para o desenvolvimento deste trabalho, mas para o meu desenvolvimento enquanto profissional.

À minha supervisora no exterior, Maria Enrica Virgillito, pela acolhida e pela incomensurável oportunidade de realizar um intercâmbio na Scuola Superiore Sant'Anna, em Pisa. Agradeço pelos ensinamentos, pelo tempo dedicado a mim durante minha estadia na Itália, bem como por contribuir para a realização do meu tão sonhado Doutorado Sanduíche no exterior. Agradeço ao ilustre professor Giovanni Dosi, que é grande fonte de inspiração para minha carreira profissional, pela oportunidade de aprender com suas aulas e absorver um pouco

de seu amplo conhecimento. Com toda certeza, essa foi uma das experiências mais gratificantes e enriquecedoras que tive a oportunidade de vivenciar em toda a minha vida!

Não poderia deixar de estender meus agradecimentos à banca examinadora, aos professores Ana Paula Macedo Avellar e Germano Mendes de Paula, juntamente aos professores Rogério Gomes e Antônio Carlos Diegues Júnior, por aceitarem participar da banca examinadora desta Tese de Doutorado e contribuir para a minha formação acadêmica.

Agradeço também ao Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE) e a todos os professores e profissionais do Instituto de Economia, em especial, à Camila Bazani, que sempre me atendeu prontamente com grande solicitude de forma muito gentil e atenciosa.

Ao grande amigo Rafael Moraes de Sousa, cuja amizade foi um enorme presente do PPGE que levarei para a vida. Sou muito grata pelo seu companheirismo ao longo de todos esses anos, pela força e pela paciência em me auxiliar nos momentos de dificuldade. Agradeço também aos colegas de Doutorado pelo convívio e pela troca de aprendizado – Antero Neto, Ariana Cericatto, Benito Salomão e Marcelo Silva.

À querida amiga Gina Mocanu, uma das pessoas mais incríveis que tive a honra de conhecer durante minha estadia na Itália. Não sei o que seria sem você nesse período. Agradeço pela amizade, pelos ensinamentos, pelo cuidado e pelo carinho sincero. Serei eternamente grata por tudo!

Aos queridos amigos, Rodrigo Deodato, Patrícia Díaz Gutiérrez, Barbara Stone e Moroni Perrupato, cujas amizades são verdadeiros presentes da cidade de Pisa. Agradeço pelo convívio e pelos momentos partilhados na Itália durante minha estadia no período de Doutorado Sanduíche. Sem dúvidas nossa amizade tornou esta caminhada mais leve e prazerosa.

Aos meus amigos que estiveram presentes mesmo longe, sempre torcendo por mim e se alegrando com as minhas conquistas – Bárbara Dias, Meiriéllen Vieira Lopes, Eduardo Humberto, Renato Montandon, Fabiana Vitorino e Luciana Barcelos.

Meus mais sinceros agradecimentos ao querido Vinícius Carvalho, pela força constante e por acreditar no meu potencial. Nunca me esquecerei do seu apoio, companheirismo e incentivo para a realização do meu Doutorado Sanduíche. Sem dúvidas essa jornada teria sido um pouco mais dura e árdua sem você. Sou muito grata também aos seus pais Vânia Martins e Aldo Carvalho pelo apoio e acolhimento em todos os momentos.

Agradeço à minha família, em especial, à minha mãe Ana Maria Palmieri, por tudo e por tanto. Sou muito grata por todo o seu amor, dedicação e apoio incondicional nessa etapa. Por acreditar, confiar em mim e apoiar as conquistas dos meus sonhos. Agradeço ao meu irmão

Pedro Palmieri pela sincera amizade e por me amparar nos momentos difíceis e à minha querida avó Yone Palmieri, que está sempre torcendo e orando por mim, obrigada pelo imenso carinho e cuidado de sempre! Agradeço também à minha querida Maggie, que me proporciona tanto amor e alegria em minha vida!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro da bolsa de estudos, que me permitiu cursar o Doutorado com dedicação exclusiva e realizar o Doutorado Sanduíche no exterior. É oportuno estender meus agradecimentos à toda sociedade brasileira por financiar meus estudos em uma instituição pública, desde o ensino médio até o curso de doutoramento, e pelas bolsas de estudo (Iniciação Científica, Mestrado, Doutorado e de Doutorado Sanduíche) que me foram concedidas. Sou muito grata e tenho muito orgulho da oportunidade de ingressar na carreira acadêmica e conquistar o título de Doutora. Espero retribuir o investimento e a oportunidade por meio do contínuo desenvolvimento de trabalhos onde eu possa aplicar o conhecimento adquirido ao longo desses anos.

Por último, não menos importante, agradeço à Universidade Federal de Uberlândia (UFU) pela oportunidade de conhecimento e desenvolvimento pessoal que me foi proporcionada ao longo destes quatro anos. A educação de qualidade é certamente um dos bens mais preciosos que o ser humano pode ter!

Enfim, gratidão a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta, mesmo que aqui não tenham sido mencionados, para a minha formação e aprendizado, bem como para que este sonho de concluir o curso de Doutorado se concretizasse.

O prazer mais nobre é a alegria do entendimento.

Leonardo da Vinci

RESUMO

Nos últimos anos, o processo produtivo industrial tem sofrido transformações no padrão dos moldes de produção vigentes. Cada vez mais, o avanço e a difusão de novos paradigmas tecnológicos de informação e comunicação têm transformado a natureza da manufatura e, de maneira geral, da industrialização. Em meio a esse ambiente de transformações tecnológicas, verifica-se a crescente e constante mudança no padrão de concorrência setorial da indústria. O setor de máquinas e equipamentos é uma das atividades fortemente afetadas pelo desenvolvimento e difusão dessas tecnologias disruptivas, pois, além de abastecer os demais setores produtivos da economia, incorpora novos conhecimentos tecnológicos e progresso técnico ao processo produtivo de encadeamentos à montante e à jusante que, por sua vez, transformam a dinâmica produtiva industrial e do sistema econômico. Diante disso, à luz de um arcabouço teórico neoschumpeteriano, a presente Tese de Doutorado tem como objetivo geral avançar sobre a discussão do comportamento inovativo do setor de M&E a nível mundial, por meio da análise dos Sistemas Setoriais de Inovação (SSI) dos países líderes no segmento, bem como analisar de que modo a indústria de M&E brasileira se insere na dinâmica inovativa do setor e qual o hiato tecnológico existente em relação a fronteira tecnológica. Para atender a esse propósito, a Tese de Doutorado avança sobre a discussão relacionada à inovação na indústria de M&E na forma de quatro ensaios. O primeiro ensaio apresenta uma abordagem teórica que, devido à amplitude do tema, serve como arcabouço teórico aos ensaios subsequentes. O segundo ensaio tem como objetivo realizar uma análise comparativa dos SSI do setor de M&E dos países líderes mundiais desse segmento, 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. Neste caso, o intuito é realizar uma análise eminentemente documental, por meio de relatórios, dados estatísticos e documentos oficiais de ministérios, órgãos governamentais e associações do setor, além de utilizar as bases de dados do World Bank, United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) e United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN COMTRADE) para identificar as diferenças e comparar os elementos dos SSI em análise. O terceiro ensaio pretende analisar o SSI do setor de M&E brasileiro, com o intuito de identificar as características intrínsecas a esse sistema e traçar uma análise comparativa entre os SSI dos líderes do setor, analisados no primeiro ensaio. Para tanto, utilizar-se-á um conjunto de dados para caracterizar o panorama geral do sistema de inovação. Os dados foram obtidos a partir da Pesquisa Industrial Anual (PIA), Pesquisa de Inovação (PINTEC), Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) e Sistema de Contas Nacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Banco Central do Brasil (BCB), Secretaria de Comércio Exterior (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços - SECEX/MDIC), Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ) e do UN COMTRADE. O quarto ensaio permanece atrelado à temática de inovação setorial. Assim, o objetivo é investigar a existência e o grau de hiato tecnológico do setor brasileiro de M&E, *vis-à-vis* aos países europeus de maior expressividade no segmento, sendo eles: Alemanha, Itália, Reino Unido, França e Espanha. Para realizar a comparação dos aspectos que tangem a inovação, pretende-se analisar um conjunto de indicadores formulados por meio de dados dos *surveys* de inovação no Brasil (PINTEC/IBGE) e União Europeia (CIS/EUROSTAT), a partir dos anos 2000. Além disso, por meio de uma metodologia baseada no conceito de “Distância Euclidiana”, a partir de dados de esforço e resultado inovativo serão desenvolvidos índices para investigar a existência de hiato tecnológico entre Brasil e países selecionados para o setor analisado. A primeira das hipóteses levantadas é a de que as firmas do setor de M&E brasileiro possuem significativo e crescente atraso tecnológico em relação aos líderes mundiais do setor. A segunda hipótese é

que as firmas brasileiras possuem elevado hiato tecnológico, que por sua vez, foi ampliado nos anos 2000, frente às firmas do mesmo setor dos países europeus líderes no segmento. Os indicadores de esforço inovativo e resultado do setor de M&E brasileiro demonstraram um grande *gap* em relação aos demais países em todas as edições da PINTEC e aponta que o Brasil está muito distante da fronteira tecnológica do setor. Somado a isso, os resultados mostram um cenário ainda mais preocupante, pois, ao longo do período em estudo, o Brasil caminhou na direção contrária e, ao invés de conseguir colmatar o fosso tecnológico em relação aos países desenvolvidos, aumentou significativamente o *gap* tecnológico, distanciando-se ainda mais da fronteira tecnológica ao apresentar o maior hiato do Índice de Inovação já registrado na última edição da PINTEC. Nesse sentido, os resultados da análise poderão ser utilizados como ferramentas para auxiliar na conformação de políticas públicas de inovação e estratégias de apoio ao direcionamento do SSI brasileiro que visem aumentar o ritmo de incorporação do progresso técnico e a redução do hiato tecnológico em relação aos países líderes do setor, de modo a fortalecer o aumento da competitividade e a capacidade inovadora da indústria brasileira.

Palavras-chave: Sistemas Setoriais de Inovação. Setor de máquinas e equipamentos. Hiato tecnológico. PINTEC. CIS.

ABSTRACT

In recent years, the industrial production process has undergone transformations in the standard of current production patterns. Increasingly, the advancement and diffusion of new technological paradigms of information and communication have transformed the nature of manufacturing and, in general, industrialization. In the midst of this environment of technological transformations, there is a growing and constant change in the industry's sectoral competition pattern. The machinery and equipment sector is one of the activities strongly affected by the development and dissemination of these disruptive technologies, as, in addition to supplying other productive sectors of the economy, it incorporates new technological knowledge and technical progress into the production process of upstream and downstream chains that, in turn, transform the industrial production dynamics and the economic system. Given this, in the light of a neo-Schumpeterian theoretical framework, the general objective of this Doctoral Thesis is to advance the discussion of the innovative behavior of the M&E sector at a global level, through the analysis of the Sectoral Systems of Innovation (SSI) of the leading countries in the segment, as well as analyzing how the Brazilian M&E industry fits into the innovative dynamics of the sector and what technological gap exists in relation to the technological frontier. To fulfill this purpose, the Doctoral Thesis advances the discussion related to innovation in the M&E industry in the form of four essays. The first essay presents a theoretical approach which, due to the breadth of the topic, serves as a theoretical framework for the subsequent essays. The second essay aims to carry out a comparative analysis of the SSI in the M&E sector of the world's leading countries in this segment, namely Germany, China and the United States, in order to identify and discuss the similarities and differences in their approaches to fostering innovation and how these strategies impact each country's global competitiveness in the M&E sector. In this case, the aim is to carry out an eminently documentary analysis, through reports, statistical data and official documents from ministries, government bodies and sector associations, in addition to using the databases of the World Bank, United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and *United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN COMTRADE)* to identify differences and compare the elements of the SSI under analysis. The third essay intends to analyze the SSI of the Brazilian M&E sector, with the aim of identifying the intrinsic characteristics of this system and drawing a comparative analysis between the SSI of the sector leaders, analyzed in the first essay. To this end, a set of data will be used to characterize the general panorama of the innovation system. The data were obtained from the *Pesquisa Industrial Anual (PIA)*, *Pesquisa de Inovação (PINTEC)*, *Relação Anual de Informações Sociais (RAIS)* and *Sistema de Contas Nacionais of Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)*, *Banco Central do Brasil (BCB)*, *Secretaria de Comércio Exterior (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços – SECEX/MDIC)*, *Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ)* and the *UN COMTRADE*. The fourth essay remains linked to the theme of sectoral innovation. Thus, the objective is to investigate the existence and degree of technological gap in the Brazilian M&E sector, *vis-à-vis* the European countries with greater expression in the segment, namely: Germany, Italy, United Kingdom, France and Spain. To compare aspects relating to innovation, we intend to analyze a set of indicators formulated using data from innovation surveys in Brazil (PINTEC/IBGE) and the European Union (CIS/EUROSTAT), from the 2000s onwards. Furthermore, through a methodology based on the concept of “Euclidean Distance”, based on data on effort and innovative results, indices will be developed to investigate the existence of a technological gap between Brazil and countries selected for the analyzed sector. The first hypothesis raised is that firms in the Brazilian M&E sector have a significant and growing technological lag in relation to world leaders in the sector. The second

hypothesis is that Brazilian firms have a high technological gap, which in turn was widened in the 2000s, compared to firms in the same sector from leading European countries in the segment. The innovative effort and result indicators of the Brazilian M&E sector demonstrated a large gap in relation to other countries in all editions of PINTEC and indicates that Brazil is very far from the sector's technological frontier. Added to this, the results show an even more worrying scenario, as, throughout the period under study, Brazil moved in the opposite direction and, instead of being able to bridge the technological gap in relation to developed countries, it significantly increased the technological gap, distancing itself even further from the technological frontier by presenting the biggest gap in the Innovation Index ever recorded in the last edition of PINTEC. In this sense, the results of the analysis can be used as tools to help shape public innovation policies and strategies to support the direction of the Brazilian SSI that aim to increase the pace of incorporation of technical progress and reduce the technological gap in relation to other countries. sector leaders, in order to strengthen the increased competitiveness and innovative capacity of Brazilian industry.

Keywords: Sectoral Systems of Innovation. Machinery and equipment sector. Technological gap. PINTEC. CIS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Concentração média de empregos do setor de M&E no Brasil por estado no período entre 2000 – 2021	133
Figura 2 – Diagrama de dispersão da correlação entre Taxa de Inovação e Índice Setorial de Inovação em países selecionados	199

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Formação Bruta de Capital Fixo (% do PIB) dos líderes globais do setor de M&E	69
Gráfico 2 – Volume de exportações dos países líderes do setor de M&E no período 2000 – 2023 (em US\$ bilhões)	70
Gráfico 3 – <i>Market share</i> dos líderes mundiais do setor de M&E, em 2010 – 2020 (em %) .	71
Gráfico 4 – Top 10 <i>ranking</i> de países por volume de negócios no setor de M&E, em 2020 – 2021 (em US\$ bilhões)	73
Gráfico 5 – Evolução do número de patentes registradas pelos líderes mundiais do setor de M&E no período 2000 – 2024	74
Gráfico 6 – Países líderes na produção de máquinas-ferramenta em 2021, com base no valor da produção (em US\$ milhões)	75
Gráfico 7 – <i>Market share</i> dos maiores produtores de máquinas-ferramenta, em 2021	76
Gráfico 8 – Exportações e importações do setor de M&E alemão no período 2000 – 2018 (em US\$ bilhões)	86
Gráfico 9 – Principais países importadores de M&E alemãs, no período 2017 – 2019 (em US\$ bilhões)	87
Gráfico 10 – Principais países exportadores de M&E para a Alemanha, no período 2010 – 2019 (em US\$ bilhões)	88
Gráfico 11 – Exportações e importações do setor de M&E dos EUA no período 2000 – 2023 (em US\$ bilhões)	89
Gráfico 12 – Exportações e importações do setor de M&E da China no período 2000 – 2023 (em US\$ bilhões)	90
Gráfico 13 – Principais países exportadores de M&E para a China entre 2010 – 2019	91
Gráfico 14 – Número de empresas da indústria de M&E brasileira no período entre 2000 – 2022 (em milhares)	118
Gráfico 15 – Pessoal ocupado da indústria de M&E brasileira no período entre 2000 – 2022 (em mil pessoas)	119
Gráfico 16 – Evolução da participação do emprego por porte das empresas da indústria brasileira de M&E no período entre 2006 – 2022 (em %)	121
Gráfico 17 – Tamanho médio das firmas da indústria de M&E brasileira no período entre 2000 – 2022	122

Gráfico 18 – Número de empregados da indústria brasileira de M&E por subsetor, no período entre 2000 – 2021 (Número-índice 2006 = 100)	124
Gráfico 19 – Evolução da FBCF e demanda aparente de M&E no Brasil entre 2001 – 2021	128
Gráfico 20 – Evolução do Nível de Utilização da Capacidade Instalada e carteira de pedidos (em semanas para atendimento) da indústria brasileira de M&E, no período 2001 – 2023... 129	129
Gráfico 21 – Variação da Taxa de Investimento do Brasil, no período 2000 – 2021	131
Gráfico 22 – Taxa de inovação das empresas que implementaram inovações do setor de M&E – PINTEC: período 2001 – 2017 (em %)	137
Gráfico 23 – Esforço inovativo total das empresas que implementaram inovações do setor de M&E – PINTEC: período 2001 – 2017 (em %)	138
Gráfico 24 – Participação percentual dos dispêndios nas atividades inovativas das firmas do setor de M&E brasileiro, que implementaram inovações de produto ou processo –	140
Gráfico 25 – Evolução da participação dos principais destinos das exportações de M&E brasileiras no período entre 2008 – 2023 (em %).....	143
Gráfico 26 – Evolução das exportações de M&E por subsetor no período entre 2015 – 2023	144
Gráfico 27 – Evolução da participação dos principais países de origem das M&E importadas pelo Brasil no período entre 2007 – 2023 (em %).....	145
Gráfico 28 – Evolução das importações de M&E por subsetor no período entre 2015 – 2023	146
Gráfico 29 – Evolução das exportações de M&E desagregadas por subsetor no período entre 2000 – 2023	147
Gráfico 30 – Evolução das importações de M&E desagregadas por subsetor no período entre 2000 – 2023	149
Gráfico 31 – Exportações, Importações e Saldo da Balança Comercial da indústria brasileira de M&E, no período 2000 – 2023 (Valores em US\$ FOB – <i>Free on board</i>) (US\$ bilhões). 150	150
Gráfico 32 – Receita Líquida de Vendas do setor de M&E brasileiro, no período 2000 – 2021	151
Gráfico 33 – Volume de exportações do setor de M&E brasileiro em relação aos países líderes mundiais do segmento no período 2000 – 2023 (em US\$ bilhões).....	153
Gráfico 34 – Volume de importações do setor de M&E brasileiro em relação aos países líderes mundiais do segmento no período 2000 – 2023 (em US\$ bilhões).....	154

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Padrões setoriais de atividades inovativas das firmas intensivas em produção, segundo a taxonomia de Pavitt	47
Quadro 2 – Padrões setoriais de atividades inovativas de fornecedores especializados em máquinas, do grupo de provedores de conhecimento avançado – Taxonomia de Castellacci .	49
Quadro 3 – Características tradicionais e emergentes dos SSI na indústria de M&E.....	64
Quadro 4 – Síntese das principais características dos SSI dos líderes mundiais do setor M&E	101
Quadro 5 – Síntese das principais características do SSI do setor de M&E brasileiro em relação aos líderes mundiais do segmento	164
Quadro 6 – Compatibilização entre as edições das bases de dados PINTEC E CIS.....	186
Quadro 7 – Indicadores de esforço e resultado inovativo	188

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução da participação do valor adicionado da indústria brasileira de M&E na indústria de transformação e no total geral da indústria no período 2007 – 2021 (1000 R\$) (Número-índice 2022 = 100)	126
Tabela 2 – Evolução da participação do valor da transformação industrial na produção industrial e da produtividade do trabalho no setor de M&E brasileiro e na indústria de transformação, no período 2000 – 2022 (Número-índice 2022 = 100).....	127
Tabela 3 – Indicadores de Esforço e Resultado Inovativo do setor de M&E em países selecionados – CIS 2004, 2006, 2008, 2010, 2014, 2018 e PINTEC 2003, 2005, 2008, 2011, 2014, 2017	191
Tabela 4 – Distância Euclidiana para esforço e o resultado inovativo em países selecionados – CIS 2004, 2006, 2008, 2010, 2014, 2018 e PINTEC 2003, 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 ..	192
Tabela 5 – Índice Setorial de Inovação e Hiato Inovativo em países selecionados – CIS 2004, 2006, 2008, 2010, 2014, 2018 e PINTEC 2003, 2005, 2008, 2011, 2014, 2017	194
Tabela 6 – Eficiência do Esforço Inovativo e seu Hiato entre países selecionados	197

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABIMAQ	Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos
AMP	<i>Advanced Manufacturing Partnership</i>
APLs	Arranjos Produtivos Locais
ATO	<i>Assemble to order</i>
BCB	Banco Central do Brasil
BMKW	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BOC	Bank of China
CAD/CAM	<i>Computer-aided-design/Computer-aided-manufacturing</i>
CCB	China Construction Bank
CDB	China Development Bank
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica
CEOs	<i>Chief Executive Officer</i>
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CGV	Cadeias Globais de Valor
CIE	China Industrial Exposition
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CIS	<i>Community Innovation Survey</i>
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNC	Comando Numérico Computadorizado
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CPC	<i>Cooperative Patent Classification</i>
CPS	<i>Cyber-physical system</i>
CSSC	China State Shipbuilding Corporation
C,T&I	Ciência, Tecnologia & Inovação
C2ER	Council for Community and Economic Research
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DE	Distância Euclidiana
DPI	Direito de Propriedade Intelectual

DPTs	<i>Digital Production Technologies</i>
DSTI	Directorate for Science Technology and Industry
ECNs	Empresas de capital nacional
EEl	Eficiência do Esforço Inovativo
EPO	European Patent Office
ETO	<i>Engineer to order</i>
EUA	Estados Unidos da América
FBCF	Formação Bruta de Capital Fixo
FIDC	Fundo de Investimentos em Direitos Creditórios
FINAME	Financiamento de Máquinas e Equipamentos
GTAI	Germany Trade and Invest
HIT	Harbin Institute of Technology
HP	Hewlett-Packard
HUAON	Huajing Industry Research Institute
IA	Inteligência artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICBC	Industrial and Comercial Bank of China
IEDI	Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial
IFET	Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia
IIP	<i>Index of Industrial Production</i>
IMCAS	Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
INPC	Índice Nacional de Preços ao Consumidor
IoS	<i>Internet of Services</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
ISI	Índice Setorial de Inovação
IVA	Imposto sobre valor agregado
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KIBS	<i>Knowledge Intensive Business Services</i>
KIT	Karlsruhe Institute of Technology
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços

M&E	Máquinas e Equipamentos
MF	Máquinas-ferramentas
MF/CNC	Máquinas-ferramenta / Comando numérico computadorizado
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MITI	Ministry of International Trade and Industry
MIIT	Ministry of Industry and Information Technology
MODERMAQ	Programa de Modernização do Parque Industrial Nacional
MPMS	Micro, pequenas e médias empresas
MTO	<i>Make to order</i>
MTS	<i>Make to stock</i>
M2M	<i>machine to machine</i>
M2H	<i>machine to human</i>
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NUCI	Nível de Utilização da Capacidade Instalada
NIB	Nova Indústria Brasil
OECD	Organisation for Economic Co-Operation and Development
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PBM	Plano Brasil Maior
P,D&I	Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação
PDP	Política de Desenvolvimento Produtivo
P&D	Pesquisa & Desenvolvimento
PIA	Pesquisa Industrial Anual
PIB	Produto Interno Bruto
PINTEC	Pesquisa de Inovação
PIS	Programa de Integração Social
PASEP	Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PITCE	Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior
PMEs	Pequenas e Médias Empresas
PND	Plano Nacional de Desenvolvimento
PNI	Política Nacional de Informática
PO	Pessoal Ocupado
PSI	Programa de Sustentação do Investimento
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais

RHAE	Recursos Humanos para Áreas Estratégicas
RLV	Receita Líquida de Vendas
SAI	Shenyang Instituto of Automation
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SMAB	<i>Sondermaschinen- und Anlagenbau</i>
SNI	Sistemas Nacionais de Inovação
SSI	Sistemas Setoriais de Inovação
STEM	<i>Science, Technology, Engineering and Mathematics</i>
TEP	<i>Technology Economy Programme</i>
TIC's	Tecnologias da Informação e Comunicação
UN COMTRADE	United Nations Commodity Trade Statistics Database
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
USITC	United States International Trade Commission
USPTO	United States Patent and Trademark Office
VAM	Valor Agregado da Manufatura
VBPI	Valor Bruto da Produção Industrial
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VTI	Valor da Transformação Industrial
WIPO	World Intellectual Property Organization
XCMG	Xuzhou Construction Machinery Group
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik - und Elektronikindustrie

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
CAPÍTULO 1 – SISTEMAS DE INOVAÇÃO: UMA ABORDAGEM TEÓRICA	31
1.1 Sistemas de Inovação: origem e construção do conceito	31
1.2 Sistemas Setoriais de Inovação: epistemologia do conceito segundo a abordagem evolucionária do progresso técnico	36
1.3 Padrões setoriais de inovação e suas taxonomias	45
CAPÍTULO 2 – SISTEMAS SETORIAIS DE INOVAÇÃO: UMA ANÁLISE DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	51
2.1 INTRODUÇÃO	51
2.2 Caracterização e dinâmica da indústria de máquinas e equipamentos	53
2.2.1 Processo inovativo e evolução da base tecnológica da indústria de M&E.....	55
2.2.2 Setor de máquinas e equipamentos e as novas tecnologias disruptivas	60
2.2.3 Padrões inovativos, concorrência e barreiras à entrada no setor de M&E	63
2.3 NOTAS METODOLÓGICAS	67
2.4 SISTEMAS SETORIAIS DE INOVAÇÃO DO SETOR DE M&E: UMA ANÁLISE PARA PAÍSES SELECIONADOS	68
2.4.1 Estrutura e organização do setor de M&E dos líderes mundiais: atores e instituições	76
2.4.2 Agentes heterogêneos e a formação de redes no setor de M&E dos líderes mundiais	81
2.4.4 Política industrial e tecnológica e incentivos à inovação	92
2.4.4.1 Alemanha.....	92
2.4.4.2 Estados Unidos da América.....	94
2.4.4.3 China.....	97
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
CAPÍTULO 3 – SISTEMAS SETORIAIS DE INOVAÇÃO: UMA ABORDAGEM DO SETOR DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS BRASILEIRO	107
3.1 INTRODUÇÃO	107

3.2 REVISÃO DE LITERATURA SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA DE M&E NO BRASIL	108
3.3 NOTAS METODOLÓGICAS	116
3.4 SISTEMA SETORIAL DE INOVAÇÃO DO SETOR DE M&E BRASILEIRO	117
3.4.1 Estrutura produtiva e organização	118
3.4.2 Agentes heterogêneos e a formação de redes	131
3.4.3 Características das atividades inovativas.....	135
3.4.4 Demanda doméstica e internacional	141
3.4.5 Política industrial e tecnológica e incentivos à inovação	154
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	162
CAPÍTULO 4 – HIATO TECNOLÓGICO NA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DA PINTEC E CIS PARA PAÍSES SELECIONADOS.....	170
4.1 INTRODUÇÃO	170
4.2 REFERENCIAL TEÓRICO	173
4.2.1 Disparidades produtivas e hiato tecnológico	173
4.2.2 O Hiato tecnológico no setor de M&E e a dependência tecnológica	182
4.3 NOTAS METODOLÓGICAS	185
4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	189
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	200
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	204
ANEXOS.....	207
REFERÊNCIAS.....	208

1. INTRODUÇÃO

A industrialização caracteriza-se, historicamente, como um importante instrumento no processo de aceleração do crescimento e desenvolvimento econômico, de modo que o setor industrial ainda constitui a principal alavanca para o desenvolvimento. Nos últimos anos, o processo produtivo industrial tem sofrido transformações no padrão dos moldes de produção vigentes. Cada vez mais, o avanço e a difusão do novo paradigma tecnológico de informação e comunicação têm transformado a natureza da manufatura e, de maneira geral, da industrialização. Assim, verifica-se que, de fato, não há um único país no mundo que tenha alcançado um alto estágio de desenvolvimento econômico e social sem ter desenvolvido um setor industrial avançado, além disso, os países que alcançaram um crescimento econômico estável, impulsionado pela industrialização, também são os que conseguiram reduzir a pobreza de forma mais eficaz (UNIDO, 2015).

A inovação e a capacidade de introduzir novas tecnologias foi reconhecida pela maioria das economias emergentes como um elemento crucial no processo de industrialização e condição *sine qua non* para o desenvolvimento de regiões e nações. Não obstante, as possibilidades de avanço de tecnologia em economias emergentes estão relacionadas às estratégias de desenvolvimento dos países, contando com particularidades em termos de base de conhecimento, estoque de capital, capacidade de absorção, ambiente institucional e de infraestrutura, baixos custos de mão de obra, condições sociais e ambientais, dentre outros (UNIDO, 2019b).

A inovação constitui uma das principais fontes de crescimento e produtividade da indústria e está se tornando cada vez mais complexa, multidisciplinar e disruptiva, i.e., que provoca uma ruptura aos padrões e tecnologias já estabelecidos. A convergência de disciplinas e tecnologias científicas antes fragmentadas e desconectadas é multifacetada, fazendo avançar a ciência, a tecnologia e a inovação, o empreendedorismo e a transformação estrutural. Assim sendo, nesse paradigma a globalização mais do que nunca se debruça no avanço tecnológico como eixo central do desenvolvimento econômico, com indústrias altamente intensivas em informação (*knowledge intensive*) encabeçando esse processo (UNIDO, 2019b).

Em meio a esse ambiente de transformações tecnológicas, verifica-se a crescente e constante mudança no padrão de concorrência setorial da indústria, uma vez que setores industriais bem desenvolvidos possuem maiores chances de se inserirem nas cadeias mundiais oferecendo ganhos diversos ao país, inclusive de transferência tecnológica, o que aumenta a sua competitividade e a produtividade. Logo, essas transformações são pautadas, sobretudo, pela

necessidade de crescimento das escalas de produção, aumento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), importância crescente da automação industrial e da integração microeletrônica no processo de fabricação e desenho, além da intensificação e complexidade da relação entre fornecedores e usuários (Guerrero; Fonseca, 2018).

Diante disso, gradativamente, observa-se nos setores da indústria a difusão de tecnologia por meio da crescente demanda por mecanização, robótica e equipamentos de alta intensidade tecnológica. Este novo modelo de produção, por sua vez, requer a implementação de tecnologias sofisticadas e a digitalização de processos com ferramentas de manufatura integrada por computador, e.g. *Computer-aided-design/Computer-aided-manufacturing* (CAD/CAM), processos de automação industrial, além do suporte da inteligência artificial (IA), algoritmos e lógica de programação, da necessidade do apoio de *softwares* para processamento e análise de *big data*, computação em nuvem (*cloud computing*), bem como da manufatura aditiva e impressão 3D e, que constituem ferramentas da chamada manufatura avançada.

Para tanto, essas fábricas inteligentes requerem a implementação de máquinas e equipamentos com capacidade de comunicação que possuam sistemas altamente automatizados e integrados por computador, além de sensores e dispositivos interconectados à internet, de modo que sua programação permita ganhos de produtividade, redução dos custos médios de trabalho, aumento da competitividade e otimização na linha de produção a partir de uma nova estratégia de gerenciamento de fábrica (Sacomano *et al.*, 2018). Nesse sentido, o avanço das tecnologias de informação e comunicação (TICs) possibilitou que o próprio sistema produtivo consiga se comunicar por meio da comunicação *machine to machine* (M2M), i.e., máquina a máquina, e/ou *machine to human* (M2H), máquina a humanos.

Soma-se ainda o conjunto de tecnologias digitais avançadas que trazem a implementação de *Cyber-physical system* (CPS), sistemas ciber físicos, bem como o recurso de ferramentas como *Internet of Things* (IoT), internet das coisas, e *Internet of Services* (IoS), internet de serviços, que possibilitam a integração de tecnologias de informação e comunicação no processo produtivo, permitindo a conexão entre o mundo real e o mundo virtual, de modo a revolucionar a estrutura produtiva, a partir da implementação do novo conceito das fábricas inteligentes e da denominada “Indústria 4.0”, ou até mesmo de Quarta Revolução Industrial (Sacomano *et al.*, 2018).

As tecnologias digitais associadas à Indústria 4.0, por sua vez, foram viabilizadas pelos avanços das TICs, em curso nas últimas três décadas. O surgimento e a difusão dessas novas tecnologias atreladas ao processo manufatureiro têm elevado o conteúdo tecnológico dos

setores da indústria, no qual se verifica uma crescente e constante mudança na dinâmica dos processos produtivos e no padrão de concorrência setorial da indústria em escala global que, por sua vez, requerem a implementação de máquinas de alta intensidade tecnológica para a conformação de fábricas inteligentes. Logo, o processo de constante inovação é uma estratégia providencial para a sobrevivência nos mercados. Assim, os países estão se preparando em termos de políticas industriais para enfrentar esse cenário, sobretudo, por meio da articulação de estratégia de avanço tecnológico para transformar os padrões atuais de produção industrial.

A indústria de máquinas e equipamentos¹ (M&E), também denominada de bens de capital mecânicos, é uma das atividades fortemente afetadas pelo desenvolvimento e difusão dessas tecnologias disruptivas, pois, além de abastecer os demais setores produtivos da economia, incorpora novos conhecimentos tecnológicos e progresso técnico ao processo produtivo de encadeamentos à montante e à jusante, indicados como efeitos de transbordamentos (*spillovers*). Deste modo, a disseminação de conhecimento e tecnologia advinda deste setor ocorre por meio da introdução de novas M&E, que permitem, sobretudo, a transferência de tecnologia de forma direta e indireta para os demais setores da indústria, possibilitando elevar a produtividade e a competitividade, bem como contribuir para o desenvolvimento industrial e crescimento econômico.

O setor industrial como um todo vem passando por sucessivas crises nos últimos anos. O mundo tem observado no decorrer do século XXI o acirramento da competição global, pautado não apenas pelo avanço tecnológico, mas também pelo aprofundamento do processo da globalização e financeirização da economia mundial e desequilíbrios econômicos globais. Uma conjuntura econômica marcada por impactos da crise financeira de 2007 – 2008, aumento do *déficit* comercial dos Estados Unidos da América (EUA), ascensão da economia chinesa, que tem se apropriado de grande fatia do produto mundial, taxas de desemprego global elevadas e mais recentemente, pela crise decorrente da pandemia de Covid-19, que tem assolado os países com uma crise econômica e sanitária.

Vale ressaltar que o setor de M&E está entre os primeiros a sentir os efeitos de uma crise e entre os últimos a sair, haja vista que demanda altos investimentos em capacidade

¹ O setor de máquinas e equipamentos é comumente dividido em subsetores de acordo com os mercados finais, e.g., agricultura e construção, maquinário industrial e automação, automotivo e mineração. Não obstante, também costuma ser subdividido em duas categorias: I) máquinas e equipamentos transporte, que contempla caminhões, ônibus, navios, aviões, trens; II) máquinas e equipamentos não transporte, que inclui, além das máquinas utilizadas em processos manufatureiros, as máquinas agrícolas, elétricas, de mineração e construção, e os bens das tecnologias da informação e comunicação (TICs), como computadores e servidores.

produtiva. Assim sendo, tais movimentos têm impactado amplamente a indústria de M&E que enfrentou pontos de inflexão em sua trajetória de crescimento. Além disso, o setor passa por um processo de acirramento concorrencial que acomete a dinâmica inovativa empresarial, uma vez que compõe a estrutura produtiva de grande parte dos setores industriais, i.e., é a indústria de fazer indústrias.

É importante ressaltar que o setor de M&E é fortemente impactado pelo movimento da cadeia produtiva siderúrgica, – haja vista que o aço constitui um dos principais insumos utilizados, seguido pelo alumínio, outros materiais metálicos, componentes eletrônicos, plástico e borracha – e pelo mercado de semicondutores, que atualmente têm enfrentado uma crise global e paralisado linhas de produção por conta da escassez dos componentes. O desabastecimento generalizado de semicondutores tem acometido a produção de chips que integram os mais diversos aparelhos eletrônicos, afetando o setor de M&E, cuja base de conhecimento deixou de ser puramente mecânica e tornou-se intensiva em informação, envolvendo máquinas que integram dispositivos microeletrônicos e eletromecânicos (McKinsey & Company, 2022).

Nesse cenário enfrentado pela indústria mundial, verifica-se a necessidade de elevação da capacidade produtiva e dos investimentos em inovação nos setores estratégicos. O setor de M&E tem garantido lugar entre os setores-chave da indústria, haja vista que é considerado um setor estratégico no processo de industrialização nos diversos estágios de desenvolvimento econômico, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento.

Neste contexto, o principal problema de pesquisa a ser investigado nesta Tese de Doutorado versa analisar duas questões principais: I) Como o SSI de M&E brasileiro se configura frente aos líderes mundiais do setor? II) Qual hiato tecnológico se apresenta entre as firmas do setor de M&E brasileiro e de países europeus selecionados? Assim, a primeira das hipóteses levantadas é a de que as firmas do setor de M&E brasileiro possuem significativo e crescente atraso tecnológico em relação aos líderes mundiais do setor. A segunda hipótese é que as firmas brasileiras possuem elevado hiato tecnológico, que por sua vez, foi ampliado nos anos 2000, frente às firmas do mesmo setor dos países europeus líderes no segmento.

Frente a esse panorama, o objetivo principal desta Tese de Doutorado será, portanto, avançar sobre a discussão do comportamento inovativo do setor de M&E a nível mundial, por meio da análise dos Sistemas Setoriais de Inovação (SSI) dos países líderes no segmento, bem como analisar de que modo a indústria de M&E brasileira se insere na dinâmica inovativa do setor e qual o hiato tecnológico existente em relação à fronteira tecnológica.

Para atender a esse propósito, a Tese de Doutorado avança sobre a discussão relacionada à inovação na indústria de M&E na forma de quatro capítulos que se correlacionam entre si, mas também podem ser tratados como ensaios independentes acerca da mesma temática. O primeiro capítulo apresenta uma abordagem teórica que, devido à amplitude do tema, serve como arcabouço teórico aos demais ensaios subsequentes.

O segundo capítulo tem como objetivo realizar uma análise comparativa dos SSI do setor de M&E dos países líderes mundiais desse segmento, 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. Neste caso, o intuito é realizar uma análise eminentemente documental, por meio de relatórios, dados estatísticos e documentos oficiais de ministérios, órgãos governamentais e associações do setor, além de utilizar as bases de dados do World Bank, United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN COMTRADE), Eurostat, Lens e Statista para identificar as diferenças e comparar os elementos dos SSI em análise.

O terceiro capítulo pretende analisar o SSI do setor de M&E brasileiro, com o intuito de identificar as características intrínsecas a esse sistema e traçar uma análise comparativa entre os SSI dos líderes do setor, analisados no primeiro ensaio. Para tanto, utilizar-se-á um conjunto de dados para caracterizar o panorama geral do sistema de inovação. Os dados foram obtidos a partir da Pesquisa Industrial Anual (PIA), Pesquisa de Inovação (PINTEC), Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) e Sistema de Contas Nacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Banco Central do Brasil (BCB), Secretaria de Comércio Exterior (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços – SECEX/MDIC), Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ) e do United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN COMTRADE).

O quarto capítulo permanece atrelado à temática de inovação setorial. Assim, o objetivo é investigar a existência e o grau de hiato tecnológico do setor brasileiro de M&E, *vis-à-vis* aos países europeus de maior expressividade no segmento, sendo eles: Alemanha, Itália, Reino Unido, França e Espanha. Para realizar a comparação dos aspectos que tangem a inovação, pretende-se analisar um conjunto de indicadores formulados por meio de dados dos *surveys* de inovação no Brasil (PINTEC/IBGE) e União Europeia (CIS/EUROSTAT), a partir dos anos 2000. Além disso, por meio de uma metodologia baseada no conceito de “Distância Euclidiana”, a partir de dados de esforço e resultado inovativo serão desenvolvidos índices para

investigar a existência de hiato tecnológico entre Brasil e países europeus selecionados para o setor analisado.

Diante do exposto, os ensaios percorrem um caminho balizado pela análise do comportamento inovativo do setor de M&E abrangendo tanto um contexto internacional, quanto nacional. Portanto, esta Tese contribui com a teoria evolucionária do progresso técnico na medida em que proporciona uma análise comparativa entre elementos fundamentais dos SSI de países líderes do setor de M&E, um setor industrial de grande dinamismo e relevância para o sistema econômico.

Em linhas gerais, a Tese também contribui para a literatura ao aprofundar a discussão sobre inovação tecnológica no setor de M&E e possibilitar uma compreensão mais aprofundada das diferentes estratégias de inovação utilizadas nas economias que se encontram na fronteira tecnológica, que podem ser adaptadas ou adotadas por países menos desenvolvidos que buscam melhorar seus próprios SSI. Nesse sentido, os resultados da análise poderão ser utilizados como ferramentas para auxiliar na conformação de políticas públicas de inovação e estratégias de apoio ao direcionamento do SSI brasileiro que visem aumentar o ritmo de incorporação do progresso técnico e a redução do hiato tecnológico em relação aos países líderes do setor, de modo a fortalecer o aumento da competitividade e a capacidade inovadora da indústria brasileira. Ademais, este trabalho servirá como uma base sólida para futuras pesquisas sobre SSI e estudos sobre inovação e hiato tecnológico no setor de M&E, oferecendo um panorama comparativo que pode ser aplicado a outros setores e contextos nacionais.

CAPÍTULO 1

SISTEMAS DE INOVAÇÃO: UMA ABORDAGEM TEÓRICA

1.1 Sistemas de Inovação: origem e construção do conceito

A evolução do conceito de inovação como um processo de aprendizado não linear, cumulativo, específico da localidade e conformado institucionalmente teve origem, dentre outros, nos trabalhos encabeçados por Nathan Rosenberg na Universidade de Stanford contribuíram para o melhor entendimento do processo inovativo. Por meio de livros como *Perspectives on Technology* (1976) e *Inside the Black Box: Technology and Economics* (1982), Rosenberg apresentou uma pesquisa sobre a evolução histórica, do ponto de vista tecnológico, de diversos setores, e.g., máquinas, ferramenta, aviação, eletrônica, química, madeira, dentre outros, demonstrando as especificidades dos fatores que determinaram o avanço tecnológico.

Diante disso, Rosenberg (1976; 1982) rejeita as noções de linearidade sugeridas tanto pelos modelos neoclássicos quanto pelo esquema schumpeteriano que aponta o processo de invenção; inovação e difusão de maneira linear. Rosenberg enfatizou o fato de que as inovações, para serem introduzidas com sucesso no mercado, necessitavam do que ele denominou *post innovation improvements*. A partir do desenvolvimento desses projetos, a inovação deixou de ser vista como um processo de descoberta de novos princípios técnicos e científicos e passou a ser entendida como um processo de aprendizado não linear (Cassiolato; Lastres, 2005).

Segundo Cassiolato e Lastres (2005), embora a palavra “rede” ainda não fosse utilizada, estes estudos empíricos demonstraram, pela primeira vez, a importância de redes formais e informais de inovação. Tais trabalhos representam, de fato, os pilares básicos sobre os quais a teoria da inovação vem sendo desenvolvida nas últimas décadas. A partir deles, o processo de inovação passou a ser entendido como *path dependence*.

A partir da evolução do debate acerca da inovação e seu entendimento enquanto processo de caráter sistêmico e não linear, foi elaborada a abordagem de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) (Freeman, 1987b; Lundvall, 1992; Nelson, 1993). A primeira tentativa sistemática e teoricamente fundamentada acerca dos SNI remonta a Friedrich List (1841/1959) (Lundvall, 2016). A preocupação de List estava relacionada à proteção da indústria infante e de um amplo conjunto de políticas públicas desenhadas para o processo de industrialização e

crescimento econômico da Alemanha que, naquele momento, era vista como um país subdesenvolvido em relação à Inglaterra (Freeman, 1995).

O caráter sistêmico da inovação já era reconhecido, assim, a partir da década de 1970, ampliou-se o entendimento da inovação, que passou a ser vista não mais como um ato isolado, mas sim como um processo derivado de complexas interações entre agentes. Essas evoluções possibilitaram a fusão do conceito do processo inovativo com as propostas de políticas de inovação, que ganharam relevância em organizações internacionais, sobretudo, nos documentos e estudos de políticas da Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), que debatiam possibilidades de superação para a crise do capitalismo daquele período.

Essas pesquisas no âmbito da OCDE ocorreram no Directorate for Science Technology and Industry (DSTI), por meio de um grupo de assessoramento em Ciência, Tecnologia e Competitividade composto por François Chesnais, Christopher Freeman, Keith Pavitt, Richard Nelson, dentre outros. O grupo produziu o *Technical Change and Economic Policy* (OECD, 1980), primeiro documento de política de inovação desenvolvido por um órgão internacional a desafiar as interpretações macroeconômicas tradicionais para a crise dos anos 1970, e que enfatizou o papel das tecnologias em sua superação (Cassiolato; Lastres, 2005).

Mais tarde, Freeman (1982) contribuíra para a difusão do conceito de SI ao associar as ideias sobre o processo inovativo subjacentes à abordagem do surgimento do novo paradigma tecnológico. Todavia, o primeiro uso explícito do conceito de SNI pode ser o do livro de Freeman (1987a; 1987b) sobre o Japão (Edquist, 2005; Lundvall, 2016). Neste caso, o conceito refere-se tanto à organização de subsistemas específica da nação quanto à sua interação, organização da P&D e da produção, às relações entre empresas e o papel do governo e do Ministry of International Trade and Industry (MITI).

Paralelamente, Richard Nelson apresentou estudos sobre o SNI norte americano (1987, 1988). O foco da análise recaiu sobre o caráter público e privado combinado à tecnologia, papel do governo e universidades na produção de novas tecnologias. A partir disso, mostrou-se que setores industriais utilizam diferentes métodos para apropriar-se dos benefícios de suas inovações (Lundvall, 2016). A esse respeito, Lundvall (2016) afirma que as abordagens de Freeman (1987a; 1987b) e Nelson (1987; 1988) diferem em dois importantes aspectos:

Primeiro, enquanto o foco do trabalho de Nelson está na produção de conhecimento e inovação e no sistema de inovação em sentido estrito, Freeman foca na interação entre o sistema de produção e o processo de inovação. Em segundo lugar, enquanto Freeman aplica uma combinação de teoria de organização e inovação – quais formas

organizacionais são mais propícias ao desenvolvimento e uso eficiente de novas tecnologias? – A principal ferramenta teórica de Nelson está relacionada ao direito e à economia – até que ponto diferentes configurações institucionais podem levar em conta e resolver o dilema privado/público de informação e inovação técnica? (Lundvall, 2016, pp.102, tradução própria).

Em 1988, foi publicada a clássica coletânea *Technical Change and Economic Theory* (Dosi *et al.*, 1988) que contribuiu para a disseminação do conceito em estudos de inovação, apresentando uma sessão dedicada à discussão sobre sistemas de inovação com contribuições de Freeman, Nelson, Pelikan e Lundvall. Somado a isso, entre 1988 e 1992, o DSTI implementou o programa *Technology Economy Programme* (TEP), por meio do qual foi possível inserir nos documentos de políticas da OCDE os conceitos sobre sistemas de inovação, e.g., formação de redes de cooperação, parcerias estratégicas, *spillovers* e conhecimento tácito.

A partir de então, a inovação passou a ser vista como um processo sistêmico e interativo, o programa visava a contribuir para a integração das políticas de ciência e tecnologia com outras políticas governamentais de forma sistêmica. Assim, a inovação passa a ser o mais importante componente das estratégias de desenvolvimento (e não apenas das políticas de C&T ou das políticas industriais); e as políticas a ela direcionadas passam a ser entendidas como “políticas direcionadas a sistemas de inovação” (Cassiolato; Lastres, 2005).

Os conceitos acerca da inovação não apenas foram inseridos nos documentos da OCDE, mas tornaram-se produtos de suas pesquisas, haja vista que naquele mesmo período publicou-se a primeira edição do Manual de Oslo (OCDE, 1992). O Manual foi baseado no modelo de inovação denominado “*chain link model*” de Klinik-Rosenberg e ainda é utilizado como referência para as tentativas de mensuração dos processos de inovação (Cassiolato; Lastres, 2005). Porter (1990) também contribuiu com os estudos sobre SNI ao apontar quatro determinantes que afetam a competitividade de uma indústria nacional, a saber: estratégia da empresa, condições dos fatores, condições da demanda e indústrias de apoio. Porter se refere à constelação de determinantes como um sistema, e argumenta que o nível em que esse sistema funciona mais fortemente é nacional (e local) e não internacional e global (Lundvall, 2016).

Na década de 1990, foram publicadas duas grandes obras – Lundvall (1992) e Nelson (1993) – que se consagraram na literatura de Sistemas Nacionais de Inovação. O trabalho de Nelson (1993) enfatiza mais os estudos de caso empíricos do que o desenvolvimento da teoria, bem como nos sistemas de P&D das nações. Já o trabalho Lundvall (1992) se debruça a uma análise orientada teoricamente e busca desenvolver uma alternativa à tradição econômica neoclássica por meio da abordagem *learning interactive* no centro da análise, assim, se discute

que a estrutura de produção e a configuração institucional são as duas dimensões mais importantes que definem um sistema de inovação (Edquist, 2005).

O foco em conhecimento, aprendizado e interatividade deu sustentação à ideia de sistemas de inovação (Lundvall, 1992; 1995; Freeman, 1987a; 1987b). Isto posto, sistemas de inovação podem ser conceituados como:

um conjunto de instituições distintas que contribuem para o desenvolvimento da capacidade de inovação e aprendizado de um país, região, setor ou localidade – e também o afetam. Constituem-se de elementos e relações que interagem na produção, difusão e uso do conhecimento. A ideia básica do conceito de sistemas de inovação é que o desempenho inovativo depende não apenas do desempenho de empresas e organizações de ensino e pesquisa, mas também de como elas interagem entre si e com vários outros atores, e como as instituições – inclusive as políticas – afetam o desenvolvimento dos sistemas. Entende-se, deste modo, que os processos de inovação que ocorrem no âmbito da empresa são, em geral, gerados e sustentados por suas relações com outras empresas e organizações, ou seja, a inovação consiste em um fenômeno sistêmico e interativo, caracterizado por diferentes tipos de cooperação (Cassiolato; Lastres, 2005, pp. 37).

A abordagem dos sistemas de inovação retrata, sobretudo, a relevância dos aspectos organizacionais, institucionais e econômicos na análise dos resultados da produção, da difusão e do uso de Ciência, Tecnologia e Inovação. A partir dos anos de 1990, começaram a surgir outras abordagens dos sistemas de inovação além da abordagem nacional, como apontado:

Existem outras especificações de sistemas de inovação além das nacionais. Carlsson e colegas se concentram em “sistemas tecnológicos”, argumentando que estes são exclusivos dos campos de tecnologia (Carlsson, 1995). A abordagem setorial de Breschi e Malerba (1997) também se concentra em um grupo de empresas que desenvolvem e fabricam o produto de um setor específico e que geram e utilizam as tecnologias desse setor. O conceito de “sistemas regionais de inovação” foi desenvolvido e utilizado por Cooke *et al.* (1997) e Braczyk *et al.* (1998), Cooke (2001) e Asheim e Isaksen (2002) (Edquist, 2005, pp. 183-184, tradução própria).

Portanto, as três perspectivas – nacional, setorial e regional – podem ser apresentadas como variações dentro da abordagem de Sistemas de Inovação e utilizadas como foco de análise. Ademais, na próxima sessão discutir-se-á sobre cada uma das abordagens citadas, todavia, com maior enfoque na abordagem dos sistemas setoriais de inovação, uma vez que, consiste na classificação de maior interesse para esta pesquisa.

A pesquisa dentro da abordagem dos sistemas de inovação apontou que em seu processo de inovação, as empresas interagem com uma ampla gama de atores heterogêneos que vão desde fornecedores e usuários, organizações científicas, agências governamentais e organizações financeiras em várias esferas geográficas (Edquist, 1997; Edquist; McKelvey,

2000 *apud* Malerba; McKelvey, 2018). Apesar de os primeiros trabalhos acadêmicos e os relatórios de política utilizando a abordagem de sistemas de inovação apresentarem um recorte nacional (Freeman, 1987a; 1987b), a origem do conceito trata da inovação como um processo localizado. Logo, uma vez que a noção de sistema de inovação compreende distintas análises, os estudos que tangem essa temática desdobram-se em três distintos recortes com enfoque nacional, regional/local, setorial e tecnológico, a saber:

- I) Sistemas Nacionais de Inovação: possuem uma dimensão geográfica correspondente a um país, incluindo instituições e fronteiras, e foram os primeiros examinados (Freeman, 1987b; Lundvall, 1993; Nelson, 1993 *apud* Malerba; McKelvey, 2018).
- II) Sistemas Regionais de Inovação: este abrange o nível regional, local ou de *cluster*. O foco está na interação entre empresas e instituições locais, o conhecimento é compartilhado e trocado de várias maneiras, o que por sua vez afeta fortemente a criação de empreendedorismo e a formação de *clusters* industriais (Cooke; Piccaluga, 2004; Boschma; Frenken, 2011; Boschma; Martin, 2010 *apud* Malerba; McKelvey, 2018).
- III) Sistemas Setoriais de Inovação: destacam as principais diferenças entre os setores em termos de conhecimento, atores não empresariais e instituições que apoiam a inovação. Verificam-se sistemas setoriais bastante diferentes em termos de base de conhecimento, fornecedores, usuários, universidades, organizações financeiras e agências governamentais ou instituições em termos de regulamentação, padrões ou mercados de trabalho (Malerba, 2002, 2004; Carlsson, 1995 *apud* Malerba; McKelvey, 2018).

Lundvall (2007) demonstrou que existem diferenças importantes no SNI, 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 os países em desenvolvimento (Malerba; Mani, 2009; Malerba, 2010; Malerba; Nelson, 2011; Lee; Malerba, 2017).

1.2 Sistemas Setoriais de Inovação: epistemologia do conceito segundo a abordagem evolucionária do progresso técnico

A classificação de maior interesse para esta pesquisa refere-se aos sistemas setoriais de inovação e produção, pois compreende um arcabouço teórico para a análise do setor de M&E. Uma estrutura de sistema setorial considera o setor como um sistema e se concentra no conhecimento que sustenta a inovação e a produção, o aprendizado e as capacidades das empresas, os outros atores não-empresariais envolvidos na inovação e na produção e as instituições que caracterizam um setor (Lee; Malerba, 2018).

A noção de sistema setorial de inovação parte da abordagem dos sistemas de inovação e de conceitos da teoria evolucionária, fortemente influenciada pela obra de Joseph Schumpeter e revisitada por Richard Nelson e Sidney Winter, e se afasta do conceito tradicional de setor usado na economia industrial, pois examina outros agentes além das firmas, com enfoque nas interações mercadológicas e não mercadológicas, bem como em recursos sistêmicos em relação a conhecimento e fronteiras, heterogeneidade de atores e redes, instituições e concentra-se na transformação do sistema por meio de processos coevolucionários (Malerba, 2002; 2003).

A literatura evolucionária do progresso técnico aborda que a inovação tecnológica difere 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 tecnológicos² e de aprendizagem, que diferem entre os setores.” (Malerba, 2002, p. 252).

Essa premissa corrobora com o trabalho de Dosi e Soete (1983), que identificam a existência de assimetrias tecnológicas, fincadas no desenvolvimento da estrutura produtiva de cada país, bem como pela oferta de bens, serviços e processos que requerem investimentos em capacitação tecnológica e eficácia das instituições.

Partindo da perspectiva de concorrência schumpeteriana – pautada pela busca permanente de diferenciação das empresas, por meio de estratégias deliberadas visando à conquista de vantagens competitivas que gerem lucros de monopólio, ainda que temporários – Dosi (1982) propõe uma abordagem de paradigmas e trajetórias tecnológicas para análise da

² A esse respeito, ver Dosi (1982).

dinâmica industrial, por meio da qual ressalta a presença de assimetrias tecnológicas e produtivas, bem como sua importante influência nos padrões da dinâmica industrial, geradas ou reforçadas pela criação e difusão de inovações tecnológicas.

Dosi (1982) sugere que a natureza e os princípios das “tecnologias” são similares aos preceitos que caracterizam a “ciência”. Assim, Dosi desenvolve a análise de paradigmas tecnológicos com referência aos paradigmas científicos de Thomas Khun, definindo-o em sua adaptação como um “modelo” ou “padrão” de soluções de problemas tecnológicos selecionados, baseado em princípios selecionados, derivados das ciências naturais e em tecnologias materiais *selecionadas*” (Dosi, 1982, p. 152, grifos do autor, tradução própria).

De acordo com Kupfer (1996), que analisa o argumento de Dosi (1982), um paradigma tecnológico age como um diferenciador do progresso técnico, definindo *ex ante* as oportunidades a serem perseguidas e aquelas a serem abandonadas. O progresso técnico, intrínseco a um paradigma tecnológico, leva à uma determinada trajetória tecnológica, que consiste em um padrão de atividade de resolução de problemas, isto é, de progresso com base naquele paradigma tecnológico. Portanto, a base de informações do sistema setorial é determinada pelas trajetórias de desenvolvimento tecnológico do setor (Wengel; Shapira, 2004). Deste modo, Dosi (1982) elucidada:

Assim como a “ciência normal” constitui a “efetivação de uma promessa” contida num paradigma científico, o “progresso técnico” é definido por meio de certo “paradigma tecnológico”. Definiremos a *trajetória tecnológica* como o padrão da atividade normal de resolução do problema (isto é, “progresso”), com base num paradigma tecnológico (DOSI, 1982, p. 152, grifos do autor, tradução própria).

Existe um padrão de atividade normal de solução de problemas tecnológicos, bem como de progresso técnico dentro de um paradigma tecnológico, que ocorre pela busca de aperfeiçoamentos desses modelos de solução, que são progressivamente melhorados ao longo do tempo, e por meio da resolução de *trade-offs* técnico-econômicos entre as variáveis tecnológicas que o paradigma define como relevantes. Portanto, “o progresso pode ser definido como o aprimoramento desses *trade-offs*.” (DOSI, 1982, p. 154). Assim, Possas (1989) afirma:

Essa noção, claramente próxima da “trajetória natural” de Nelson e Winter, contém simultaneamente elementos tecnológicos e econômicos, cujas dimensões definem, a cada passo, o *trade-off* relevante para ser focalizado pela pesquisa tecnológica e consequentemente a direção a ser tomada pelo “progresso técnico” (Possas, 1989, p. 13-14).

Em uma trajetória tecnológica o “progresso” terá características de natureza cumulativa. As atividades inovativas tendem a serem seletivas e realizadas com direcionamento específico, haja vista que “os paradigmas tecnológicos possuem um poderoso efeito de exclusão” (DOSI, 1982, p. 153). Ademais, nas capacitações necessárias ao processo produtivo, adquiridas por meio de diferentes formas de aprendizado, predominam aspectos de cumulatividade, pois a direção do progresso técnico está inexoravelmente ligada às escolhas precedentes em um processo cumulativo e específico às firmas, portanto, sua trajetória tecnológica futura está intrinsecamente condicionada ao conhecimento tecnológico passado (*path dependence*).

Deste modo, a questão da cumulatividade e apropriabilidade do conhecimento tecnológico são essenciais para o entendimento do progresso técnico e das inovações. Quando se pensa nas possibilidades de desenvolvimento a partir de firmas ou países, entende-se que aqueles que conseguirem acumular maior conhecimento tecnológico, terão vantagem no processo de inovação, sobretudo, pelo fato de ocuparem melhor posição em relação à fronteira tecnológica, além de garantirem melhor retorno econômico proveniente da apropriabilidade do progresso técnico (Dosi, 1982).

O conhecimento pode ser mais ou menos cumulativo, entretanto, além de possuir diferentes graus de acessibilidade, “o domínio de conhecimento refere-se aos campos específicos científicos e tecnológicos na base de atividades inovadoras em um setor” (Dosi, 1998; Nelson; Rosenberg, 1993 *apud* Malerba, 2002; 2004). Já o segundo domínio, refere-se aos usuários e demanda por produtos setoriais, no entanto, outras dimensões do conhecimento podem ser relevantes para explicar atividades inovadoras em um setor (Malerba, 2002; 2004).

Por outro lado, é importante ressaltar que o conhecimento se constitui por uma parte tácita, i.e., intangível, e outra codificada, sendo que as características tácitas do conhecimento são de difícil reprodução, cópia ou codificação (Nonaka; Takeuchi, 1997; Dosi, 2006). Em algum grau, aspectos do conhecimento tecnológico não são incorporáveis ao conhecimento das firmas, i.e., fica contido em seus recursos humanos na forma de capital intelectual.

A teoria evolucionária do progresso técnico coloca uma ênfase especial na dinâmica, nos processos de inovação e transformação econômica. Agentes “limitadamente racionais” agem, aprendem e pesquisam em ambientes incertos e mutáveis. Assim, a aprendizagem, o conhecimento e o comportamento implicam a heterogeneidade dos agentes na experiência e organização. Além disso, também foca nos processos de criação de variedade, como tecnologias, produtos, empresas e organizações, replicação que gera inércia e continuidade no

sistema e seleção que reduz a variedade no sistema econômico e desestimula a utilização ineficiente ou ineficaz de recursos (Malerba; McKelvey, 2018).

Para a abordagem evolucionária, o ambiente e as condições em que os agentes operam podem diferir drasticamente. Portanto, são enfatizadas as principais diferenças setoriais nas oportunidades relacionadas à ciência e às tecnologias, não obstante, o mesmo se aplica à base de conhecimento que sustenta as atividades inovadoras, bem como ao contexto institucional. Logo, a aprendizagem, o comportamento e as capacidades dos agentes são restringidos e limitados pela tecnologia, base de conhecimento e contexto institucional. Entretanto, a perspectiva de um sistema setorial não deve ser vista como uma estrutura rígida e fechada, mas como uma estrutura ampla, aberta e flexível, capaz de abranger diferentes elementos e variáveis, de acordo com o foco da análise (Malerba; McKelvey, 2018).

O processo de geração de conhecimento, criação de novas tecnologias e acumulação de P&D necessita de esforços substanciais de aprendizado, que podem ser internos e externos à firma. Entretanto, ressalta-se que os processos externos não podem substituir os internos, mas sim aumentar a sua velocidade e/ou modificar sua direção e dimensões relevantes. Assim, verifica-se que a firma se caracteriza por distintos processos que envolvem a construção de competências e aprendizado interno e externo. Sumariamente, o aprendizado interno é ligado às funções principais da empresa (e.g., P&D, produção, *marketing*, organização, dentre outros). Assim, os principais tipos de aprendizado interno são classificados da seguinte maneira (Malerba, 1992; Lundvall, 2004; Cassiolato, 2005):

- Aprendizado por experiência (*learning by doing*): está atrelado ao processo produtivo da firma que pode gerar ganhos de produção provenientes da experiência adquirida na realização de processos;
- Aprendizado por uso (*learning by using*): adquirido pela experiência e adaptação da firma ao uso de sistemas complexos ao longo do tempo, portanto, apresenta-se como um conhecimento altamente tácito. Rosenberg (2006) destaca a importância deste processo de aprendizado para a produção de bens de capital, uma vez que o domínio do entendimento neste setor não pode ser atingido antes de uma prolongada experiência de uso das máquinas e equipamentos, sobretudo, se tratando da produção de bens de capital sob encomenda.
- Aprendizado por busca (*learning by searching*): ocorre por meio de atividades dirigidas à criação e desenvolvimento tecnológico de novos conhecimentos e gera a introdução de inovações incrementais e radicais, como é o caso da P&D.

Somado a isso, a natureza sistêmica e complexa do processo inovativo e a multidisciplinaridade de novos conhecimentos, sugerem que o aprendizado interno deve ser cada vez mais vinculado a aprendizados externos. Portanto, o aprendizado interno é condição *sine qua non* para a firma assimilar o aprendizado externo. Diante disso, os principais tipos de aprendizado externo são descritos como:

- Aprendizado por interação (*learning by interacting*): interação externa à firma e relacionada às fontes de conhecimento entre fornecedores e usuários, ou cooperação com outras firmas pode aumentar a competência de ambos. Logo, o processo de aprendizado se dá por meio do intercâmbio de informações.
- Aprendizado com os avanços em ciência e tecnologia (*learning from advances in science and technology*): externos à firma e relacionados à absorção de novos conhecimentos baseados no avanço da ciência e tecnologia:
- Aprendizado por imitação (*learning by imitating*): ocorre por meio da reprodução de inovações introduzidas por outra firma, que por sua vez, é desenvolvida de maneira autônoma e não cooperativa. É importante ressaltar que a imitação difere da réplica, haja vista que, as vezes ocorre por meio de licenciamento e transferência de tecnologia ou por engenharia reversa.
- Aprendizado por transbordamentos intersetoriais e por cooperação (*learning from inter-industry spillovers and cooperating*): refere-se aos projetos colaborativos com outras empresas, inclusive concorrentes, e outras organizações, como universidades e institutos públicos de pesquisa, visando ao compartilhamento de custos associados aos chamados projetos de desenvolvimento tecnológico pré-competitivos (inclusive de P&D) e outras atividades inovativas.

Ademais, o aprendizado, segundo a visão neoschumpeteriana é entendido como um processo obtido por meio de diferentes formas de relacionamento, no qual o conhecimento avança mediante trocas de informações tácitas e codificadas (Cassiolato, 2005). Não obstante, os setores mudam ao longo do tempo seguindo os ciclos de vida, haja vista que, vários atores, conhecimentos e instituições de um sistema setorial estão mais ou menos conectados, resultando em um processo coevolucionário específico do setor.

Portanto, durante a evolução dos SSI, podem ocorrer mudanças nos regimes tecnológicos e de aprendizado, assim como nos padrões de inovação, envolvendo conhecimento, tecnologia, atores e instituições. Essas mudanças podem ocorrer na base de conhecimento de atividades inovadoras, que, por sua vez, requerem novas competências, bem

como na demanda e usuários que são capazes de transformar a dinâmica do sistema setorial e podem favorecer a entrada de novas firmas em detrimento do sucesso de empresas estabelecidas (Nelson, 1994; Metcalfe, 1998; Malerba, 2003; 2007; Malerba; Nelson, 2011).

Nesse sentido, Malerba e Mani (2009) definem um setor como:

Uma estrutura de sistema setorial concentra-se na natureza, estrutura, organização e dinâmica da inovação e produção nos setores. Um setor pode ser amplamente definido como um conjunto de atividades que são unificadas por alguns grupos de produtos vinculados para uma demanda dada ou emergente e que compartilham algum conhecimento comum. Todavia, as empresas em um setor têm alguns pontos em comum e, ao mesmo tempo, são heterogêneas em termos de processos e capacidades de aprendizagem (Malerba; Mani, 2009, p. 5, tradução própria).

Segundo Malerba e Mani (2009), a temática de SSI têm sido uma área crescente de pesquisa em economia industrial e economia da inovação, sobretudo, por dois motivos. O primeiro, refere-se ao fato de que uma abordagem de SSI tem uma perspectiva dinâmica e uma visão de processo. Assim, foca nas relações de troca, competição e cooperação em um ambiente coevolucionário. O segundo motivo consiste no fato da abordagem setorial considerar uma ampla gama de fatores que afetam a inovação em um determinado setor, colocando empresas, capacidades e processos de aprendizagem relacionados como os principais motores de inovação e produção. Ao mesmo tempo, também trata de outros fatores relevantes que afetam a inovação e a produção em um setor, como a variedade de atores, redes, demanda e instituições.

Desse modo, Malerba e Mani (2009) afirmam que uma abordagem de SSI examina a inovação como resultado de variáveis específicas das empresas (como aprendizagem e capacidades das empresas, investimentos em P&D e produção, estratégias e estrutura organizacional) e o tipo de conhecimento e tecnologias que caracterizam um setor, os vínculos e interdependências com outros setores relacionados, o papel dos atores (como concorrentes, fornecedores, usuários, universidades, organizações financeiras, órgãos públicos e o governo), as características da demanda e o tipo de instituições (como padrões, regulamentos e normas).

Diante disso, Malerba (2002) define sistema setorial da seguinte forma:

[...] um conjunto de produtos novos e estabelecidos para usos específicos e o conjunto de agentes que realizam interações de mercado e não-mercado para a criação, produção e venda desses produtos. Um sistema setorial possui uma base de conhecimento, tecnologias, insumos e uma demanda existente, emergente e potencial. Os agentes que compõem o sistema setorial são organizações e indivíduos (e.g. consumidores, empreendedores, cientistas). As organizações são firmas (e.g. usuários, produtores e fornecedores de insumos) e organizações não-firmas (e.g. universidades, instituições financeiras, agências governamentais, sindicatos ou associações técnicas), incluindo subunidades de organizações maiores (e.g. departamentos de P&D ou produção) e grupos de organizações (e.g. associações industriais). Os agentes são

caracterizados por processos específicos de aprendizagem, competências, crenças, objetivos, estruturas e comportamentos organizacionais. Eles interagem através de processos de comunicação, intercâmbio, cooperação, competição e comando, e suas interações são moldadas por instituições (regras e regulamentos) (Malerba, 2002, p. 250, tradução própria).

Nesse sentido, Malerba e Mani (2009) discutem brevemente os principais elementos que conformam a estrutura de um sistema setorial de inovação, sendo elas:

- I) Firms do setor: as firms são os principais atores da inovação e da produção em um sistema setorial. Elas são caracterizadas por processos de aprendizagem específicos, capacidades e estruturas organizacionais, bem como por crenças, expectativas e objetivos (Nelson; Winter, 1982; Teece; Pisano, 1994; Dosi *et al.*, 2000 *apud* Malerba; Mani, 2009).
- II) Outros atores: além das empresas, um setor é composto por agentes heterogêneos que são organizações ou indivíduos. As organizações podem ser firms (e.g., usuários, produtores e fornecedores de insumos) ou não-firms (e.g., universidades, instituições financeiras, agências governamentais, sindicatos ou associações técnicas). Os indivíduos podem ser consumidores, empresários ou cientistas. Esses agentes são caracterizados por processos específicos de aprendizagem, competências, crenças, objetivos, estruturas organizacionais e comportamentos. Além disso, os agentes interagem por meio de processos de comunicação, troca, cooperação, competição e comando.
- III) Redes: em qualquer sistema setorial, as empresas estão conectadas de várias maneiras por meio de relações de mercado e não de mercado. As análises tradicionais das organizações industriais examinaram os agentes envolvidos em processos de troca, competição e comando (como a integração vertical). Em análises mais recentes, os processos de cooperação formal ou mecanismos de interação informal entre empresas e organizações não-firms foram examinados em profundidade (e.g. literatura sobre *conluio* tácito ou explícito, formas de governança híbrida ou cooperação formal em P&D). 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.

- IV) Demanda: Em um sistema setorial, a demanda pode ser doméstica ou internacional. A demanda não é vista como um conjunto agregado de compradores semelhantes ou de clientes atomísticos indiferenciados, mas como composta de agentes heterogêneos que interagem de várias maneiras com os produtores. Dessa forma, a demanda passa a ser composta por consumidores individuais, firmas e órgãos públicos, que podem fazer parte de diferentes países e sistemas nacionais de inovação, caracterizados por diferentes tamanhos, conhecimentos, processos de aprendizagem e competências, e afetados por diferentes fatores sociais e instituições.
- V) Instituições: a cognição e as ações dos agentes, bem como as interações entre eles são moldadas por instituições, que, por sua vez, compreendem normas, rotinas, hábitos comuns, práticas estabelecidas, regras, leis, padrões, dentre outros. As instituições podem variar desde aquelas que vinculam ou impõem fiscalizações aos agentes até aquelas que são criadas pela interação entre os agentes (como contratos), de mais vinculativas a menos vinculativas, e de formais a informais (como leis de patentes ou regulamentos específicos contra tradições e convenções). Muitas instituições são nacionais (como o sistema de patentes), algumas são específicas de setores (como mercados de trabalho setoriais ou instituições financeiras de setores específicos) enquanto outras podem ser internacionais. Em todos os sistemas setoriais, as instituições desempenham um papel importante em afetar a taxa de mudança tecnológica, a organização da atividade inovadora e o desempenho.
- VI) Base de conhecimento: a literatura evolucionária propôs que setores e tecnologias diferem muito em termos de base de conhecimento e processos de aprendizagem relacionados à inovação. De forma dinâmica, o foco no conhecimento e no domínio tecnológico coloca no centro da análise a questão dos limites setoriais, que normalmente não são fixos, mas mudam com o tempo. O conhecimento é altamente idiossincrático em nível da empresa, não se difunde automática e livremente e deve ser absorvido pelas empresas por meio de suas habilidades diferenciais acumuladas ao longo do tempo.
- VII) Os principais processos e coevolução: a inovação é considerada um processo que envolve interações sistemáticas entre uma ampla variedade de atores. As interações incluem relações de mercado e não mercantis que são mais amplas

do que o mercado de licenciamento e conhecimento tecnológico, alianças e redes formais de empresas. Ao longo do tempo, um sistema setorial passa por processos de mudança e transformação por meio da coevolução de seus elementos. Este processo envolve tecnologia, demanda, base de conhecimento, processos de aprendizagem, firmas, organizações não firmas e instituições que são específicos do setor. Assim, acredita-se que em setores caracterizados por um produto do sistema e consumidores com demanda homogênea, a coevolução leva ao surgimento de um *design* dominante e concentração industrial (Klepper, 1996 *apud* Malerba; Mani, 2009). No entanto, em setores com demanda heterogênea, podem surgir produtos especializados e uma estrutura de mercado mais fragmentada.

Nesse sentido, Cohen e Levinthal (1989) desenvolvem o conceito de capacidade absorptiva, por meio do qual argumentam que, embora a P&D gere inovações, ela também desenvolve a capacidade da empresa de identificar, assimilar e explorar o conhecimento do ambiente, que, por sua vez, difere dos ganhos do *learning by doing*. Os efeitos de *spillovers* de P&D também foram abordados na literatura por Cohen e Levinthal (1989) ao afirmarem a necessidade de se investir em P&D para se adquirir a capacidade de absorver as inovações das outras firmas. Deste modo, os autores apontam que os *spillovers* intraindústria podem estimular o investimento em P&D na indústria geral, i.e., a facilidade e o caráter do aprendizado em uma indústria afetarão os gastos em P&D, bem como, condicionarão a influência da apropriabilidade e das condições tecnológicas de oportunidades em P&D.

Segundo Verspagen e Loo (1999) os *spillovers* de P&D ocorrem porque o conhecimento tecnológico e as inovações não podem ser completamente apropriados por quem os desenvolveu, portanto, a criação de nova tecnologia poderá ser utilizada por outras firmas ao longo da cadeia produtiva por meio do conhecimento incorporado nessa inovação. Entretanto, há limites para esses *spillovers*, pois a liderança tecnológica das firmas é mantida por meio de *know-how*, segredo industrial das inovações de processo, mediante as inevitáveis defasagens técnicas de imitação e proteção patentária.

Assim sendo, os *spillovers* de tecnologia podem ocorrer de duas formas, a saber: a primeira ocorre por meio de tecnologias incorporadas em investimentos em M&E, que estão relacionados ao fluxo de mercadorias entre as firmas, pois toda a cadeia produtiva à jusante receberá parte da inovação do produto utilizado anteriormente como insumo. A segunda ocorre por meio de tecnologias não incorporadas, nas quais a apropriabilidade decorre, normalmente,

de atividades interativas do conhecimento, como conhecimento tácito, *know-how*, expertise, experiência acumulada, bem como engenharia reversa, intercâmbio de pesquisadores entre empresas e venda de patentes (Verspagen; Loo, 1999; Nassif, 2008).

A perspectiva setorial fornece ferramentas para análise da dinâmica e transformação dos setores, assim como para a identificação dos fatores que afetam a inovação e o desempenho e a competitividade de firmas e países. Além disso, os sistemas setoriais constituem uma ferramenta para os formuladores de políticas compreenderem as diferenças e similaridades nos sistemas de inovação, de modo a identificar as principais dimensões que afetam a estrutura do sistema e ações dos agentes, bem como os atores específicos que devem ser influenciados pelas políticas públicas em cada setor (Malerba, 2002; 2003).

1.3 Padrões setoriais de inovação e suas taxonomias

No campo da economia da inovação e progresso técnico foram elaboradas propostas de taxonomias com base em indicadores de atividades inovativas e esforços tecnológicos, com o intuito de caracterizar os diferentes padrões setoriais tecnológicos e classificá-los sumariamente em categorias conforme as características da estrutura produtiva (Cavalcante, 2014; Marques; Roselino; Mascarini, 2019).

Assim, haja vista que a inovação tecnológica difere entre os setores da indústria em diversos aspectos, o estudo pioneiro de Pavitt (1984) sugere uma taxonomia dos padrões setoriais de mudança tecnológica conforme identificados por meio de informações advindas de firmas da Grã-Bretanha, que pode ser explicada pelas fontes de tecnologia, demandas dos usuários e possibilidades de apropriação, com o propósito de descrever e explicar padrões setoriais de mudança tecnológica.

De acordo com Pavitt (1984), duas características centrais das inovações e das firmas inovadoras podem ser apontadas. A primeira afirma que a maior parte do conhecimento aplicado pelas firmas em inovações tecnológicas não é facilmente difundido, mas sim apropriado por firmas específicas para determinados processos. Logo, ao escolherem que inovações desenvolver e produzir, as firmas são obrigadas a restringirem sua escolha ao seu conjunto de conhecimentos, qualificações, planta produtiva, bem como máquinas e equipamentos disponíveis. Deste modo, assim como retratado por Dosi (1982), infere-se que a inovação tecnológica é amplamente um processo cumulativo e específico às firmas (*path*

dependence), pois suas trajetórias tecnológicas estão fortemente condicionadas ao que elas foram capazes de fazer tecnologicamente no passado (Pavitt, 1984).

A segunda característica refere-se à variedade, onde o autor aponta que os setores variam quanto à importância relativa das inovações de produto e de processo, às fontes de tecnologia de processo, bem como quanto ao tamanho e padrão de diversificação tecnológica das firmas inovadoras (Pavitt, 1984). Sob essa perspectiva, segundo Pavitt (1984), as características e variações das firmas podem ser classificadas numa taxonomia de três partes, a saber: I) Firmas dominadas pelos fornecedores; II) Firmas intensivas em produção, que se subdivide em duas categorias, sendo elas, produtores em larga escala e fornecedores de equipamentos e instrumentos; e III) Firmas baseadas em ciência.

A classificação de maior interesse para esta pesquisa refere-se às firmas intensivas em produção, pois compreende o setor de M&E (Quadro 1). As firmas intensivas em produção estão presentes em setores para os quais a crescente fabricação e montagem em larga escala são importantes, particularmente, diante de um volume de demanda sensível ao preço, como de materiais padronizados, bens de consumo duráveis, veículos e M&E. Características intrínsecas dessas firmas, como a divisão do trabalho e a simplificação das tarefas resultantes do alargamento do tamanho do mercado, possibilitaram a crescente inserção da alta tecnologia nos processos produtivos, possibilitando a redução dos custos de produção.

Diante disso, as firmas intensivas em produção desdobram-se em duas categorias (Quadro 1). A primeira delas é formada pelos produtores em larga escala, dentre eles os de bens de capital seriados, para os quais os processos de inovação são relevantes e as fontes de inovação são internas, via P&D e *learning-by-doing*, e externas, por meio dos produtores de equipamentos. Além disso, nessa categoria as firmas são relativamente grandes e a liderança tecnológica é mantida por meio de *know-how*, segredo industrial das inovações de processo, mediante as inevitáveis defasagens técnicas de imitação e proteção patentária.

A segunda categoria é constituída pelos fornecedores de equipamentos e instrumentos. Para esses produtores, sobretudo, os de bens de capital não-seriados, ou seja, fornecedores especializados, o sucesso competitivo depende de habilidades específicas às firmas, aprimoramento e confiabilidade, bem como da capacidade de responder às demandas dos usuários de diversos setores sob determinadas especificações. As fontes de inovação são internas, a partir do conhecimento tácito, de experiência acumulada, e de fontes externas, a partir da interação entre produtores-usuários, de modo que a apropriabilidade é decorrente da natureza localizada e interativa do conhecimento, bem como do tamanho das firmas.

Quadro 1 – Padrões setoriais de atividades inovativas das firmas intensivas em produção, segundo a taxonomia de Pavitt

Categoria da firma	Firmas intensivas em produção	
	Firmas intensivas em escala	Fornecedores especializados
Principais atividades	produção de materiais volumosos (e.g., aço, vidro); montagem (e.g., bens de consumo duráveis e automóveis)	maquinaria; instrumentos de precisão
Fontes de tecnologia	engenharia de produção dos fornecedores; P&D	projeto e desenvolvimento pelos usuários
Tipos de Usuário	sensível ao preço	sensível ao desempenho
Mecanismos de apropriação	segredo e <i>know-how</i> de processo; defasagens técnicas; patentes; economias dinâmicas de aprendizado	<i>know-how</i> de projeto; conhecimento dos usuários; patentes
Fontes da tecnologia de processo	interna; fornecedores	interna; clientes
Inovação relativamente predominante	processo	produto
Tamanho relativo das firmas inovadoras	grande	pequeno
Intensidade e direção da diversificação tecnológica	alta vertical	baixa concêntrica

Fonte: Elaboração própria a partir de Pavitt (1984).

Além das ligações entre as diferentes categorias de firmas, Pavitt (1984) busca representar os principais fluxos tecnológicos que emergem de sua taxonomia e teoria dos padrões setoriais de mudança tecnológica. Diante disso, segundo a taxonomia pavittiana, tanto as firmas intensivas em produção (bens de capital seriados) quanto as firmas baseadas em ciência recebem e fornecem tecnologia para fornecedores especializados de equipamentos de produção (bens de capital não-seriados).

As firmas dominadas pelos fornecedores obtêm a maior parte de suas tecnologias de firmas intensivas em produção (e.g., produção em larga escala) e firmas baseadas em ciência (e.g., energia, eletrônica de consumo, ferramentas e equipamentos de transporte). Além disso, as firmas baseadas em ciência também transferem tecnologia para as intensivas em produção (ex.: eletrônica de consumo na indústria automobilística). Assim, a partir dos encadeamentos tecnológicos, verifica-se que a indústria de M&E desenvolve parte do progresso técnico que, por sua vez, é difundido para os demais setores da indústria incorporado em novas M&E.

A taxonomia proposta por Pavitt (1984) foi muito bem-sucedida na pesquisa empírica, além de tornar-se um clássico da Economia Industrial moderna e inspirar várias pesquisas nesse

campo. Assim, nas décadas seguintes, desenvolveram-se aprimoramentos para a taxonomia proposta por Pavitt (1984), como Lall (2000) e UNCTAD (2002), surgiram outras com métodos estatísticos mais refinados e novas taxonomias, como a de Castellacci (2007), bem como uma revisão da taxonomia, que foi realizada pelo próprio Pavitt conjuntamente a outros autores.

Assim sendo, Pavitt *et al.* (1989) propõem uma revisão de sua taxonomia, na qual inclui a categoria de “setores intensivos em informação” e exclui a categoria de “firmas dominadas pelos fornecedores”. Segundo Pavitt *et al.* (1989) a inclusão da primeira pode ser explicada, sobretudo, por meio do potencial inovador das oportunidades tecnológicas criadas pelas tecnologias computacionais. Em contrapartida, a exclusão da segunda ocorre pelo fato dessas firmas assumirem papel ativo na interação com os fornecedores, tornando-as aptas à alocação em setores intensivos em escala ou intensivos em informação.

De acordo com Castellacci (2007), a literatura sobre regimes tecnológicos, trajetórias e articulações verticais compreende, principalmente, o setor manufatureiro, uma vez que este representou o principal mecanismo de crescimento e a parte mais inovadora do sistema econômico no pós-guerra. Entretanto, nas últimas décadas, o setor de serviços obteve rápido crescimento e, desde então, representa grande parcela do valor agregado, emprego e comércio na maioria dos países industrializados.

Castellacci (2007) propõe uma taxonomia de padrões setoriais de inovação de relevância empírica, com referência nas atividades inovadoras e no desempenho econômico das indústrias de manufatura e serviços dentro de uma mesma estrutura. Além disso, destaca o papel fundamental desempenhado pelas ligações verticais que os unem, bem como dos intercâmbios intersetoriais de conhecimento. Em suma, a taxonomia apresenta a crescente articulação de algumas das principais ligações verticais e intercâmbios intersetoriais de conhecimento entre as indústrias de manufatura e serviços dentro de um SNI (Castellacci, 2007).

A tipologia de Castellacci (2007) é constituída por quatro grupos de setores principais, e seus respectivos subgrupos, a saber:

- I) Provedores de conhecimento avançado:
 - 1. Dentro do ramo manufatureiro, fornecedores especializados em máquinas, equipamentos e instrumentos de precisão;
 - 2. Dentro dos serviços, provedores de conhecimento especializado e soluções técnicas, tais como *software*, P&D, engenharia e consultoria.
- II) Serviços de apoio infraestrutural:
 - 1. Provedores de serviços de infraestrutura física e distributiva;

- 2. Provedores de serviços de infraestrutura de rede.
- III) Setores produtores de bens de produção em massa:
 - 1. Indústrias intensivas em escala;
 - 2. Setores baseados em ciência.
- IV) Produtores de bens e serviços pessoais:
 - 1) produtores de bens pessoais;
 - 2) provedores de serviços pessoais.

Na taxonomia de Castellacci (2007), os setores são divididos em quatro principais grupos e analisados por meio do eixo Y, que se refere à posição do setor na cadeia vertical da economia. No eixo X, subdivide-se cada um dos quatro blocos em dois subgrupos, de modo a representar o conteúdo tecnológico de uma indústria, que se refere ao nível geral de capacidades tecnológicas das empresas inovadoras no sistema setorial. Portanto, sugere o grau de dependência tecnológica dos setores industriais, i.e., se estes são capazes de criar tecnologias internamente ou dependem da aquisição externa de máquinas, equipamentos e conhecimento de seus fornecedores ou de outros setores da economia (Castellacci, 2007).

O setor de M&E é classificado como provedor de conhecimento avançado (Quadro 2), pois, além de ser tecnologicamente avançado, é capaz de desenvolver novas tecnologias internamente e fornecê-las aos demais setores industriais. Os ramos da economia de manufatura e serviços são representados como um sistema de grupos setoriais verticalmente integrados, ressaltando uma das características essenciais da indústria de M&E, uma vez que seu desenvolvimento dá apoio à expansão de outros setores industriais (Castellacci, 2007).

Quadro 2 – Padrões setoriais de atividades inovativas de fornecedores especializados em máquinas, do grupo de provedores de conhecimento avançado – Taxonomia de Castellacci

Categoria setorial	Provedores de conhecimento avançado
Subgrupo	Fornecedores especializados em máquinas
Setores típicos	Máquinas e instrumentos
Principal função e relação com paradigmas tecnológicos	A base de conhecimento de suporte do paradigma Fordista
Regimes tecnológicos	Níveis de oportunidade: alto; Fontes externas: usuários; Apropriabilidade: patentes; know-how de design; Tamanho da empresa dominante: pequenas e médias empresas (PMEs)
Trajetórias tecnológicas	Tipo de inovação: novos produtos; Gastos e estratégia em inovação: P&D; aquisição de máquinas e <i>software</i>

Fonte: Elaboração própria a partir de Castellacci (2007).

Diferentemente de Pavitt (1984), que reúne na categoria das firmas intensivas em produção duas subcategorias (produtores em larga escala e fornecedores de equipamentos e instrumentos), Castellacci (2007) classifica os bens de capital seriados como outra categoria, denominada de bens de produção em massa, e.g., os veículos em geral. Cabe ressaltar que esta apresenta regimes tecnológicos distintos das máquinas e instrumentos da categoria de conhecimento avançado. Geralmente, são caracterizados por firmas de grandes dimensões, suas fontes externas são fornecedores e usuários, além disso, diferem em termos de apropriabilidade do conhecimento, i.e., apropriam-se por meio do *design* e do segredo processual.

Embora seja uma taxonomia versátil em suas possíveis aplicações, frente à expansão do setor de serviços a taxonomia de Pavitt (1984) recebeu críticas por ser muito focalizada em tecnologia e por negligenciar a heterogeneidade dos serviços, assim, Bogliacino e Pianta (2016) se debruçaram em revisitar a taxonomia de Pavitt, abrangendo manufatura, serviços e TICs.

Apesar da relevância das taxonomias apresentadas, há um grande desafio em classificar setores diante dos fenômenos evolucionários e das especificidades de diferentes configurações nacionais. Além disso, verifica-se que originalmente grande parte das taxonomias foram desenvolvidas com base em estruturas produtivas de economias desenvolvidas que atuam na fronteira tecnológica. Portanto, a utilização destas análises voltadas para economias em desenvolvimento que possuem estrutura produtiva menos concentrada nos setores tecnológicos, como é o caso brasileiro, é questionada (Marques, Roselino; Mascarini, 2018; Morceiro, 2019).

CAPÍTULO 2

SISTEMAS SETORIAIS DE INOVAÇÃO: UMA ANÁLISE DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

2.1 Introdução

A literatura evolucionária do progresso técnico tem abordado 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). O conhecimento desempenha um papel essencial no processo de inovação e produção. Deste modo, um maior ou menor grau de heterogeneidade dos agentes pode resultar de diferenças, como as características da base de conhecimento, experiência e processos de aprendizagem, interação da empresa com a demanda, a história da empresa, bem como suas trajetórias de crescimento e inovação (Malerba, 2002).

A natureza das tecnologias difere entre os setores econômicos, assim como a natureza dos clientes e o tipo de competição que as empresas nativas enfrentam e, portanto, as habilidades necessárias e as formas apropriadas de organização e gestão da empresa. 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. 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 trabalhar com a inovação tecnológica a partir de um 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 SSI no setor de M&E dos países líderes do segmento, assim, indaga-se se são as semelhanças ou diferenças que os fizeram ser assim classificados. 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 ativa. 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).

Assim, o primeiro ensaio tem como objetivo geral 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. Para tanto, a pesquisa será realizada por meio de revisão de literatura e análise eminentemente documental de cada um dos países selecionados.

Haja vista que a aprendizagem, as capacidades e o comportamento implicam a heterogeneidade dos agentes na experiência e organização, suas diferentes capacidades afetam seu desempenho persistentemente diferenciado. Diante disso, considera-se a hipótese de que existem importantes diferenças entre os SSI em análise que são intrínsecas a cada um dos países líderes do setor de M&E, tanto em termos da base de conhecimento quanto dos processos de aprendizagem relacionados à inovação, logo, este ensaio pretende identificá-las e analisá-las.

Este ensaio se justifica pela necessidade de entender a dinâmica dos SSI dos líderes do setor de M&E, haja vista que este poderá fornecer informações valiosas sobre as melhores práticas e desafios no setor. Os países em análise representam diferentes modelos de desenvolvimento e inovação. De modo geral, a Alemanha é conhecida por sua forte cooperação entre indústrias e instituições de pesquisa, os Estados Unidos destacam-se pela inovação radical e empreendedorismo, enquanto a China mostra uma rápida ascensão com políticas governamentais centralizadas e investimentos massivos. Deste modo, identificar como as políticas públicas e estruturas organizacionais influenciam a inovação nesse setor permitirá uma compreensão mais profunda acerca das diferentes estratégias de inovação. Por fim, os resultados desta análise poderão fornecer subsídios importantes para formuladores de políticas públicas compreenderem como tais estratégias podem ser replicadas ou adaptadas para

aumentar a competitividade e o avanço da inovação no setor de M&E em países menos desenvolvidos que buscam seguir estratégias semelhantes.

Com o intuito de atender aos objetivos traçados nesta pesquisa, este ensaio encontra-se estruturado em cinco seções, incluindo a presente introdução. A segunda seção se dedica a discorrer sobre as características do processo inovativo e evolução da base tecnológica do setor de M&E. Em seguida, a terceira seção se dedica aos aspectos metodológicos deste ensaio. A quarta seção analisa comparativamente a dinâmica e as características de cada um dos SSI em estudo. Finalmente, a quinta seção se debruça em analisar os resultados encontrados e apresenta as considerações finais deste ensaio.

2.2 Caracterização e dinâmica da indústria de máquinas e equipamentos

Como abordado acima, segundo Castellacci (2007), a indústria de M&E é um setor provedor de conhecimento avançado, que, por sua vez, possui grande capacidade de gerar efeitos de *spillovers* de tecnologia e conhecimento, pois, além de abastecer os demais setores produtivos da economia e consumir os bens que ela própria produz, incorpora novos conhecimentos tecnológicos e progresso técnico ao processo produtivo por meio de encadeamentos à montante e à jusante. Assim sendo, acerca da indústria de M&E, Marson (2012) afirma:

A indústria mecânica possui característica especial, uma vez que seu desenvolvimento dá apoio à expansão de outros setores industriais, ou seja, seus produtos são destinados a aparelhar os outros setores por meio da oferta de máquinas e equipamentos. A forma mais comum de aperfeiçoamento técnico no processo de industrialização dá-se mediante mudanças tecnológicas, principalmente com o desenvolvimento de máquinas para construir máquinas. Portanto, o desenvolvimento da indústria mecânica é fundamental no processo de industrialização (Marson, 2012, p. 13).

Sob essa perspectiva, como responsável primordial pela difusão tecnológica em toda a cadeia produtiva, este setor “é reconhecidamente o principal vetor da inovação tecnológica e, portanto, justifica medidas específicas de incentivo à sua competitividade e inovação, pois, na realidade, seu fortalecimento irá beneficiar a produtividade de toda a indústria [...]” (ABIMAQ, 2014, p. 4).

Esta pesquisa aborda a indústria de M&E, também denominada de indústria de bens de capital, caracterizada por um conjunto muito heterogêneo de produtos que se destinam a

trabalhos específicos, bem como estruturas de mercado com grande número de empresas que se diferenciam quanto ao porte, segmento e estrutura produtiva. Por conseguinte, tais fatores tornam mais complexa a análise por tratar-se de um setor bastante pulverizado. Segundo o IBGE (2019), os bens de capital são agrupados sob a seguinte tipologia: bens de capital para fins industriais (seriados e não-seriados); bens de capital e peças agrícolas; setor de energia elétrica; construção; equipamentos de transporte; e bens de capital de uso misto.

Haja vista a ampla gama de produtos, M&E, que se diferenciam quanto à finalidade e ao processo produtivo, os bens de capital para fins industriais são classificados como:

- I) Bens de capital não-seriados: produtos fabricados sob encomenda, com especificações próprias para utilização segundo determinadas exigências dos usuários, normalmente, direcionados aos investimentos de mecânica pesada, e.g., infraestrutura.
- II) Bens de capital seriados: produzidos, tradicionalmente, em larga escala, fabricados em séries ou lotes padronizados, por meio de processos produtivos de caráter repetitivo.

Além disso, as M&E se diferenciam quanto à finalidade a que se destinam, aos meios de controle, ao desempenho e aos acessórios, coexistindo máquinas tanto eletromecânicas, como de comando numérico computadorizado (CNC) (Santos; Piccinini, 2008). Para fins desta pesquisa, tanto na PINTEC quanto na CIS a fabricação de M&E obedece a divisão 28 da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 28)³ e a classificação 84 no UN COMTRADE, que compreende a fabricação M&E, inclusive componentes mecânicos, partes e peças, para atividades industriais, agrícolas, extração mineral e construção, transporte e elevação de cargas e pessoas, ventilação, refrigeração, instalações térmicas ou outras atividades semelhantes.

Conforme Vermulm e Erber (2002), o processo produtivo de bens de capital seriados requer maquinário especializado e processos relativamente rígidos, nos quais as economias estáticas de escala são muito mais importantes do que na produção dos bens de capital não-seriados (por encomenda). Por outro lado, no processo produtivo de bens de capital não-

³ A divisão da CNAE 28 compreende a fabricação de: 28.1) motores, bombas, compressores e equipamentos de transmissão – entre eles motores e turbinas, exceto para aviões e veículos rodoviários; equipamentos hidráulicos e pneumáticos; e válvulas, registros e dispositivos semelhantes –; 28.2) M&E de uso geral – aparelhos e equipamentos para instalações térmicas; transporte e elevação de cargas e pessoas; refrigeração e ventilação; ar condicionado; saneamento básico e ambiental; e M&E de uso geral não especificadas anteriormente –; 28.3) tratores e M&E para agricultura e pecuária – tratores agrícolas; equipamentos para irrigação agrícola –; 28.4) máquinas-ferramenta; 28.5) M&E de uso na extração mineral – prospecção e extração de petróleo; para uso na extração mineral; fabricação de tratores, exceto agrícolas; e para terraplanagem, pavimentação e construção, exceto tratores –; 28.6) M&E de uso industrial específico – indústria metalúrgica, exceto máquinas-ferramenta; indústrias de alimentos, bebidas e fumo; indústria têxtil; indústrias do vestuário, do couro e de calçados; celulose, papel e papelão e artefatos; plástico; e M&E para uso industrial específico não mencionadas – (CNAE, 2007).

seriados, as economias dinâmicas dependem da flexibilidade tanto dos equipamentos quanto da mão de obra, além da capacidade de responder às demandas dos usuários de diversos setores sob determinadas especificações, portanto, neste segmento são comuns as relações de proximidade e parcerias entre produtores e usuários.

Destarte, Vermulm (2003) afirma que a engenharia de produto é necessário às empresas produtoras de bens de capital, contudo, é relativamente menos importante aos de bens de capital seriados, para os quais são fundamentais a engenharia de processo e a escala de produção, e o principal fator de concorrência é o preço do produto.

2.2.1 Processo inovativo e evolução da base tecnológica da indústria de M&E

O setor de M&E possui uma base de conhecimentos específica que é incorporada em pessoal qualificado e presença extensiva de sistemas locais de inovação e produção. Entretanto, a conformação observada no setor atualmente remonta a um passado recente. Tradicionalmente, durante grande parte do século XX, os sistemas de inovação do setor de M&E eram de caráter predominantemente regional, baseados em empresas familiares e pequenos produtores, com alguns segmentos já oligopolizados – como máquinas ferramenta e máquinas agrícolas –, com alto grau de fluxo de informações tácitas e inovações definidas em conjunto com ciclos de aprendizado para os principais clientes (Wengel; Shapira, 2004). Embora envolvidas em atividade exportadora, muitas empresas se agrupavam em determinadas regiões, nas quais se iniciavam a conformação dos distritos industriais e dos denominados *clusters* do setor (Tuncel; Polat, 2016).

Os *clusters* regionais de M&E compostos por fabricantes, usuários e organizações de suporte, são observados, principalmente, na Alemanha, China, EUA, Itália e Japão – que serão tratados de forma mais detalhada ao longo deste ensaio – e proporcionam economias de escala e escopo ao permitir o compartilhamento de conhecimento tácito e, assim, proporcionar uma vantagem competitiva significativa (Wengel; Shapira, 2004; Tuncel; Polat, 2016).

A partir do final do século XX e início do século XXI, esse sistema de inovação começou a passar por um processo visível de transformação. Frente à difusão de tecnologia por meio da crescente demanda por mecanização atrelada à microeletrônica e à automação industrial, a base de conhecimento deixou de ser puramente mecânica e passou a envolver máquinas que integram sistemas eletromecânicos automatizados, constituindo a mecatrônica (Malerba, 2003).

A estrutura da indústria de M&E é bastante heterogênea, pois, a despeito de deter um certo acúmulo de capacidade tecnológica, essa capacidade se distribui de forma desigual no setor. Embora existam grandes empresas líderes inovadoras, há também um grande número de pequenas e microempresas com alta capacidade tecnológica, que se constituem como fornecedores especializados, bem como outras com baixo acúmulo de capacidade tecnológica. Não obstante, a estrutura da indústria de M&E ainda permanece caracterizada, em sua grande maioria, por firmas relativamente pequenas e poucas grandes empresas globais e líderes do setor. Nesse contexto, as grandes empresas têm cada vez mais entrado em parcerias de inovação por meio de redes e alianças industriais com clientes e instituições de pesquisa, tanto em escala nacional quanto multinacional, e realizam atividades de cooperação para inovação em ritmo crescente (Wengel; Shapira, 2004; Tuncel; Polat, 2016).

Embora constitua um segmento bastante heterogêneo e pulverizado, o sistema de inovação do setor de M&E apresenta um caráter regional, em que há um alto nível de fluxo de informações tácitas entre as firmas. Todavia, a inovação tem se desenvolvido nas abordagens estratégicas e mais formalizadas, bem como nas interações estabelecidas entre usuários e produtores e capital humano qualificado, como engenheiros de projeto e qualificação técnica aplicada ao processo produtivo, não necessariamente com diploma técnico e/ou universitário, mas experientes para lidar com as operações de chão de fábrica (Malerba, 2003; Wengel; Shapira, 2004).

Logo, os sistemas de inovação são agora direcionados não apenas para a inovação de produtos baseada em P&D, mas também para a dinâmica de processos e inovações organizacionais. Assim, de certo modo, a inovação ampliou o foco de máquinas específicas ou células de usinagem para oferecer também soluções de produção e serviços mais eficientes (Wengel; Shapira, 2004; Tuncel; Polat, 2016).

Em face à grande heterogeneidade do setor, as firmas são altamente especializadas e segmentadas em mercados verticais específicos, i.e., focam em um determinado nicho e/ou subsetor, com diferentes processos internos que, por sua vez, levaram a diferentes sistemas setoriais que diferem de país para país, o que o torna um setor bastante heterogêneo (Malerba, 2003). As empresas se especializam em nichos de produtos específicos e preferem o caminho da diferenciação de seus concorrentes por meio da diferenciação de produtos (Tuncel; Polat, 2016). A cooperação interfirmas e o desenvolvimento de uma vasta rede de interrelações

constituem uma prática comum entre as empresas do setor de bens de capital, sobretudo, no subsetor de máquinas-ferramentas (MF)⁴ (Galvão, 2000).

Em contrapartida, Galvão (2000) afirma que nem sempre este foi o *modus operandi* observado acerca da relação interfirma do setor:

Até passado recente, a indústria de MF operava em esquemas de forte competição, disputando ferozmente os mesmos mercados e sendo comum a ocorrência de verdadeiras guerras competitivas de natureza predatória. Ao longo do tempo, porém, uma solução para esse problema foi encontrada, mediante a adoção de esquemas de especialização coordenada. Com a assistência e o estímulo de uma associação de produtores, grupos de firmas de MF começaram a fazer alguns arranjos organizacionais em seus processos produtivos, a fim de evitar que elas competissem com outros membros do próprio grupo. Essa prática de especialização coordenada evoluiu por meio de extensas negociações dentro dos grupos de firmas de uma mesma área de produção, ficando definidos e demarcados os mercados e a tecnologia que cada uma deveria utilizar, de sorte que, até os dias atuais, normas e padrões relativos à produção de máquinas e equipamentos são conjuntamente concebidos pelas firmas que fazem parte da associação dos produtores (Galvão, 2000, pp. 27).

Verifica-se que o resultado dessas práticas de especialização coordenada foi sendo difundido com o objetivo de reduzir significativamente a competição predatória. Por outro lado, intensificou-se a exigência de que as firmas se tornassem mais inovadoras em tecnologias de processos e de desenvolvimento de produtos. Esse sistema, por sua vez, gerou a formação de grupos de fornecedores, que operavam em cooperação e contribuiu para a difusão de conhecimentos de engenharia de produção e de *know-how* de processos produtivos entre as firmas (Galvão, 2000).

Ao mesmo tempo, as grandes firmas implementaram uma política de descentralização interna de suas atividades produtivas, que por sua vez, expandia extensivamente o sistema de subcontratação com fornecedores especializados e, conseqüentemente, o número de empresas no setor. Assim, obtém-se a conformação de uma teia de relações produtivas sob a liderança das grandes firmas do setor, mas que adotam estratégias de transferência de tecnologia para firmas menores, que atuam como fornecedores (Galvão, 2000). Portanto, cria-se uma organização industrial descentralizada com conhecimentos especializados, espalhados em inúmeras firmas cooperativas e com diferenciadas especializações.

⁴ As máquinas-ferramentas, também denominadas de máquinas operatriz, são utilizadas na produção de peças de diversos tipos de materiais, sendo eles, metálicos e não metálicos - madeira, plástico endurecido, borracha endurecida, vidro a frio, pedra, dentre outros. Entre as máquinas-ferramentas destacam-se: torno mecânico convencional, fresadora, furadeira de bancada, aplainadora, retificadora, prensas, além das máquinas-ferramenta com comando numérico computadorizado (MF/CNC).

Diante disso, quando consideradas as características do regime tecnológico e os padrões de inovação, a indústria de M&E possui uma característica típica de “Indústria Fornecedora Especializada” em que o conhecimento tácito acumulado e a interação entre o fabricante e o usuário são importantes para a classificação pavittiana (Wengel; Shapira, 2004). O sucesso competitivo depende de habilidades específicas às firmas, aprimoramento e confiabilidade, bem como da capacidade de responder às demandas dos usuários de diversos setores sob determinadas especificações (Pavitt, 1984).

A esse respeito, Sari (1981) classificou os processos produtivos das empresas industriais de acordo com o papel e o grau de influência dos pedidos dos consumidores da seguinte forma:

- *Make to stock* (MTS): sistema de produção em estoque, em que as firmas fabricam determinado produto e preenchem seu estoque para atender à demanda prevista. Embora o tempo de entrega do produto seja minimizado, a interação com os consumidores é demasiadamente pequena e a demanda prevista não é uma certeza, logo, as firmas podem enfrentar elevados custos de estocagem e incorrer em superprodução ou subprodução.
- *Assemble to order* (ATO): sistema de produção onde é mantido um estoque de produtos semiacabados, i.e., componentes e subconjuntos são fabricados, mas a montagem é feita apenas depois de recebido o pedido do cliente. No entanto, as possibilidades de modificações e customização do produto são poucas.
- *Make to order* (MTO): sistema de produção no qual se mantém um estoque de matérias-primas e componentes, de modo que a fabricação do produto só se inicia após o pedido do cliente. Isso permite que os produtos sejam projetados de acordo com as especificações exatas do cliente, permitindo que o fabricante construa a quantidade certa com base na demanda atual real. Neste caso, há um nível mais alto de interação com os clientes, e o prazo de entrega é considerado médio ou longo, dependendo da complexidade das adaptações e do volume de pedidos.
- *Engineer to order* (ETO): o cliente interfere no próprio projeto, que neste caso é totalmente customizado às suas necessidades. Neste sistema produtivo, o grau de interação com os clientes é o mais alto possível.

Haja vista que o setor de M&E é por natureza heterogêneo, este acaba por abarcar todos os processos acima mencionados, que variam de acordo com o subsetor e o produto. Não obstante, o processo de inovação na indústria de M&E é amplamente determinado pelas especificidades do cliente, processo ETO. Desse modo, novos produtos são frequentemente

desenvolvidos para uma necessidade específica do usuário e são lançados no mercado. À vista disso, a frequência de desenvolvimento de novos produtos no setor é mais dependente de investimentos e condicionada à demanda.

No setor de M&E a inovação é cada vez mais sistêmica, portanto, muitos fornecedores se envolvem no processo de inovação para modernizar seus produtos e processos. O conhecimento tecnológico de alta precisão é muito importante no processo produtivo, por conseguinte, a interação entre produtores e usuários, bem como as relações de proximidade e parcerias com os clientes são comuns, com maior frequência, no segmento de mercado de bens de capital não-seriados, ou seja, fabricados sob encomendas para determinados serviços. Assim sendo, o treinamento interno, particularmente o aprendizado, é bastante relevante dentro deste setor, bem como *spillovers* de aprendizado entre os produtores (Malerba, 2003).

Devido à necessidade de uma maior interação com os clientes, a indústria de bens de capital, tipicamente adota os processos *Make to order* no caso de máquinas-ferramenta, motores elétricos, bombas, compressores em geral e outras máquinas e equipamentos mais simples, e adota processos *Engineer to order* para bens de capital não-seriados e sistemas mais complexos. No entanto, em muitos casos, sobretudo, no sistema ETO, torna-se difícil aproveitar as economias de escala, pois os produtos são fabricados para clientes e demandas específicas, inviabilizando a produção em larga escala. Assim, as inovações de produtos surgem com mais frequência no setor. (Araújo, 2011; Tuncel; Polat, 2016).

Conforme Vermulm e Erber (2002), o processo produtivo de bens de capital seriados requer maquinário especializado e processos relativamente rígidos, nos quais as economias estáticas de escala são muito mais importantes do que na produção dos bens de capital não-seriados (por encomenda). Por outro lado, no processo produtivo de bens de capital não-seriados, as economias dinâmicas dependem da flexibilidade tanto dos equipamentos quanto da mão de obra, além da capacidade de responder às demandas dos usuários de diversos setores sob determinadas especificações, portanto, neste segmento são comuns as relações de proximidade e parcerias entre produtores e usuários.

Sem embargo, deter engenharia de produto é necessário às empresas produtoras de bens de capital, contudo, é relativamente menos importante aos de bens de capital seriados, para os quais são fundamentais a engenharia de processo e a escala de produção, e o principal fator de concorrência é o preço do produto (Vermulm, 2003). A esse respeito, ressalta-se que as condições de concorrência na indústria de M&E têm características de mercado competitivo

monopolista⁵, em especial, nos subsetores de máquinas ferramenta, máquinas agrícolas, máquinas para construção e máquinas para mineração, fato que reduz a concorrência potencial no setor, uma vez que dificulta o acesso ao mercado por firmas entrantes (Tuncel; Polat, 2016).

2.2.2 Setor de máquinas e equipamentos e as novas tecnologias disruptivas

Historicamente, a engenharia mecânica sempre representou um processo constante de mudança, adaptação e melhoria. Seja com a introdução da máquina a vapor ou do primeiro tear mecânico – 1ª Revolução Industrial –, as primeiras máquinas elétricas com produção em linha de montagem baseada na divisão do trabalho – 2ª Revolução Industrial –, o uso da TI e a automação conectada – 3ª Revolução Industrial – ou agora com a fábrica digital inteligente e interconectada – 4ª Revolução Industrial, Indústria 4.0. Assim, o setor de M&E sempre foi um impulsionador essencial e destinatário da mudança. Agora, a engenharia mecânica está novamente na vanguarda de uma nova era na indústria, haja vista que, atualmente está entre os setores que mais têm investido em tecnologias digitais – equivalente a quase 4% do faturamento total do setor (Van Geerenstein, 2022).

A partir da década de 1970, a revolução microeletrônica, baseada na 3ª Revolução Industrial, revelou importantes mudanças na estrutura dos processos industriais em diversas áreas da engenharia, estabelecendo palco para a 4ª Revolução Industrial. Logo, a integração microeletrônica, mecatrônica e eletromecânica, bem como a importância da automação industrial no setor de M&E, começaram a aumentar nos processos de produção e abrir novos caminhos de mudança tecnológica (Taymaz, 1989 *apud* Tuncel; Polat, 2016).

Os robôs industriais estão disponíveis há décadas, mas têm se tornado cada vez mais inteligentes, ágeis e flexíveis. A revolução mecanizada da produção em massa do início do século XX trouxe M&E de produção dedicados a operações repetidas (Chandler, 1962 *apud* Sturgeon, 2017). Mudar o que as máquinas faziam demandava muito tempo e recursos, e a gama de operações possíveis era limitada. Nas décadas de 1980 e 1990, certos equipamentos de produção controlados via Comando Numérico Computadorizado (CNC) ganharam o rótulo

⁵ A concorrência monopolística é a estrutura de mercado caracterizada pela presença de um grande número de firmas produzindo um produto similar, monopolistas nas suas marcas, sem barreiras que impeçam a livre entrada ou saída de firmas da indústria (Carrera-Fernández, 2009, pp. 354). Essa diferenciação de produto permite que cada empresa exerça certo poder de monopólio sobre sua marca específica ou variação de produto, apesar de existir uma concorrência significativa dentro do mercado em geral.

de “robô” porque podiam ser reprogramados para aumentam a variedade de produtos e realizar uma série de operações no espaço tridimensional (Sturgeon, 2017).

Com o passar dos anos, a flexibilidade e a velocidade dos robôs industriais e outras máquinas CNC aumentaram, enquanto os custos diminuíram, tornando-se mais difundidos na produção fabril. Assim como acontece com muitos produtos no domínio digital, o avanço contínuo e a miniaturização das tecnologias mecânicas e microeletrônicas significam que os robôs estão se tornando menores, mais baratos, mais eficientes em termos de energia e muito mais poderosos (Sturgeon, 2017).

O avanço e a difusão de novos paradigmas tecnológicos de informação e comunicação atrelados ao processo manufatureiro têm possibilitado um grande salto na dinâmica do sistema produtivo industrial, elevando o conteúdo tecnológico e o padrão de concorrência da indústria em escala global. Gradativamente, observa-se nos setores da indústria a difusão de tecnologia por meio da crescente demanda por mecanização, robótica e equipamentos de alta intensidade tecnológica. A indústria está passando por uma nova revolução conhecida como Indústria 4.0, ou manufatura avançada, pautada pela era da digitalização, da inteligência artificial e da internet das coisas, tornando possível a conformação de fábricas inteligentes.

Para tanto, essas fábricas inteligentes requerem a implementação de M&E com capacidade de comunicação que possuam sistemas altamente automatizados e integrados por computador, além de sensores e dispositivos interconectados à internet, de modo que sua programação permita ganhos de produtividade, redução dos custos médios de trabalho, aumento da competitividade e otimização na linha de produção a partir de uma nova estratégia de gerenciamento de fábrica (Sacomano *et al.*, 2018). Nesse sentido, o avanço das TICs possibilitou que o próprio sistema produtivo consiga se comunicar por meio da comunicação máquina a máquina (*machine to machine* - M2M) e/ou máquina a humanos (*machine to human* - M2H). Portanto, ressalta-se que as ferramentas e tecnologias digitais associadas à Indústria 4.0 foram viabilizadas pelos avanços das TICs, em curso nas últimas três décadas.

Por meio da comunicação M2M, algoritmos de controle estatístico de processo relativamente simples podem ser confiáveis para desligar ou ajustar os processos de produção automaticamente quando eles saem da tolerância. No entanto, com o aumento do poder de computação e o advento da tecnologia de sensores de baixo custo, a coleta e o compartilhamento de dados operacionais em máquinas semelhantes, dentro e até entre fábricas, tornou possível a “manutenção preditiva”, evitando erros de processamento ou quebras de máquinas antes do

desgaste e rompimento de componentes mecânicos ou outros problemas previsíveis que ultrapassam limites críticos (Sturgeon, 2017).

Este novo modelo de produção, por sua vez, requer a implementação de tecnologias sofisticadas e a digitalização de processos com ferramentas de manufatura integrada por computador (e.g. CAD/CAM), processos de automação industrial, além do suporte da inteligência artificial, algoritmos e lógica de programação, da necessidade do apoio de *softwares* para processamento e análise de *big data*, computação em nuvem (*cloud computing*), realidade aumentada, bem como da manufatura aditiva e impressão 3D.

Soma-se ainda o conjunto de tecnologias digitais avançadas que trazem a implementação de *Cyber-physical system* (CPS), sistemas ciber físicos, bem como o recurso de ferramentas como *Internet of Things* (IoT), internet das coisas, e *Internet of Services* (IoS), internet de serviços, que possibilitam a integração de tecnologias de informação e comunicação no processo produtivo, permitindo a conexão entre o mundo real e o mundo virtual, de modo a revolucionar a estrutura produtiva (Sacomano *et al.*, 2018).

Paralelamente ao novo paradigma tecnológico, não se pode deixar de mencionar um dos grandes desafios globais da era da industrialização 4.0 e a importante contribuição do setor de M&E acerca da demanda das questões ambientais. Muitas são as iniciativas de fabricantes de máquinas, equipamentos e componentes para o setor de bens de capital mecânico que visam reduzir as emissões de carbono e impulsionar uma economia mundial com produção mais limpa, sustentável e eficiente (Portal Máquinas e Equipamentos, 2022).

Desse modo, o setor de M&E participa do planejamento do processo de descarbonização da economia global por meio da implementação de máquinas pensadas para atuar na geração de energia a partir de fontes renováveis. Também visa a substituição de M&E com baixa eficiência que estão instaladas nas mais diversas áreas, por máquinas com tecnologias desenvolvidas com a finalidade de reduzir as emissões de gases do efeito estufa, bem como realizar a desativação e descarte de M&E, resíduos e plantas industriais sem trazer riscos ao meio ambiente (Portal Máquinas e Equipamentos, 2022).

A longo prazo, alguns subsetores se beneficiarão da transição verde que exigirá novos equipamentos do segmento de eletrônicos para permitir, por exemplo, mais mineração de lítio, maior produção de baterias, bem como outras tendências de automação e implantação de tecnologia 5G (Allianz-Trade, 2022). Ao longo da cadeia produtiva, os demais setores da economia também serão beneficiados com o processo de descarbonização da economia global.

A indústria de M&E é uma das atividades fortemente afetadas pelo desenvolvimento e difusão dessas tecnologias disruptivas, pois, além de abastecer os demais setores produtivos da economia, incorpora novos conhecimentos tecnológicos e progresso técnico ao processo produtivo de encadeamentos à montante e à jusante, indicados como efeitos de transbordamentos (*spillovers*). Deste modo, a disseminação de conhecimento e tecnologia advinda deste setor ocorre por meio da introdução de novas M&E, que permitem, sobretudo, a transferência de tecnologia de forma direta e indireta para os demais setores da indústria, possibilitando elevar a produtividade e a competitividade, bem como contribuir para o desenvolvimento industrial e crescimento econômico.

O paradigma da Indústria 4.0 está reescrevendo o *modus operandi* de produção industrial. Não há dúvida de que as mudanças nos padrões de criação e distribuição de valor trazidas pela difusão das tecnologias digitais estão marcando uma mudança de época no desenvolvimento industrial, abrindo oportunidades antes não disponíveis e nem imagináveis (OECD, 2017). Logo, o setor será moldado de acordo com esse paradigma tecnológico, pois a indústria de M&E produzirá as máquinas das fábricas inteligentes do futuro.

2.2.3 Padrões inovativos, concorrência e barreiras à entrada no setor de M&E

Os padrões tradicionais dos sistemas setoriais de inovação já começaram a mudar devido ao aumento do uso de tecnologias avançadas e digitalização dos processos no setor de M&E, como demonstrado por meio do Quadro 3. A crescente importância da informação codificada, o fato de tecnologias intensivas em conhecimento influenciarem o processo de inovação no setor, a tendência de surgimento de novos parceiros intersetoriais, inter-regionais, internacionais para o desenvolvimento de produtos e processos leva à transformação do sistema setorial de inovação (Tuncel; Polat, 2016).

No que tange à estrutura de mercado, de acordo com Tuncel e Polat (2016) as condições de concorrência na indústria de M&E têm características de mercado competitivo monopolista, em especial, nos subsetores, fato que reduz a concorrência potencial no setor, uma vez que dificulta o acesso ao mercado por firmas entrantes. A condição de entrada pode ser avaliada pela medida em que as firmas estabelecidas podem elevar os seus preços acima de determinado nível competitivo sem atrair novas firmas entrantes⁶.

⁶ O conceito de barreiras à entrada foi exaustivamente discutido pela literatura. A esse respeito ver a bibliografia clássica acerca da importância das condições de entrada de Bain (1956).

Quadro 3 – Características tradicionais e emergentes dos SSI na indústria de M&E

Elemento	Tradicional	Emergente
Forma de ligações externas	Limitado; Estável	Aberto; Flexível
Escopo geográfico	Regional; Nacional	Regional; Internacional
Base tecnológica	Mecânica	Intensiva em informação
Desenvolvimento de produtos	Incremental	Incremental; Sistemático
Relações de troca	Produtores vinculados a usuários	Parcerias de produtores, usuários e centros de pesquisa
Base de conhecimento	Tácito	Tácito; Codificado
Treinamento	Variado	Variado; Interno + Externo
Formulário corporativo	Individual; Família	Individual; Grupos corporativos (Multinacional limitada)
Organização do trabalho	Colaboração informal interna	Cooperação formalizada e externa
Entrantes	Barreiras técnicas moderadas	Maiores barreiras de inovação à entrada
Demanda	Cíclica	Cíclica
Política	Políticas setoriais nacionais	Regional; Nacional; Política de Inovação Europeia Genérica

Fonte: Adaptado de Wengel e Shapira (2004).

Não obstante, Kim e Lee (2009) afirmam que as condições de demanda dão origem a dificuldades para a inserção no mercado do setor de M&E, i.e., a demanda de mercado estável ou de longo prazo é crítica porque a capacidade real de P&D em máquinas-ferramenta é adquirida a partir do conhecimento tácito acumulado no processo de desenvolvimento e produção dos produtos em interações de longo prazo com as empresas usuárias.

Neste cenário, na maioria dos países em desenvolvimento que tendem a se especializar na produção de bens de consumo final, as firmas usuárias estão seriamente relutantes em usar M&E fabricados localmente, devido à sua baixa qualidade e baixo nível de precisão, o que poderia prejudicar a competitividade de seus produtos de forma imprevisível. A esse respeito Kim e Lee (2009) apontam:

Uma vez que a qualidade de uma máquina determina diretamente a qualidade dos bens de consumo finais feitos pela máquina, a indústria de bens finais, sensível à qualidade de seus próprios produtos, evita o uso de máquinas-ferramentas de baixa qualidade feitas localmente; este também tem sido o caso na Coreia. Do ponto de vista da empresa usuária, o risco de adotar bens de capital fabricados localmente é simplesmente muito alto. Fora do mercado de exportação, o mercado interno é, por si só, fraco, dificultando o acúmulo de conhecimento tácito pela expansão da produção e pela interação com diversas empresas usuárias (Kim; Lee, 2009, pp. 268, tradução própria).

Isso posto, as firmas menos desenvolvidas tecnologicamente e/ou novas no segmento não podem esperar qualquer vantagem comparativa em custo ou qualidade (Lee; Lim, 2001). Além disso, estas firmas têm poucos incentivos para investir em P&D, haja vista que, percebem uma baixa possibilidade de sucesso no mercado, uma vez que não podem esperar nenhum dos benefícios como vantagem de custo, diferenciação de qualidade ou de primeiro movimento (Lim, 1997). Embora seja típico que governos venham a intervir de modo a fomentar a inovação tecnológica e fortalecer as firmas de setores selecionados de várias formas, dentre elas a superar as barreiras à entrada e ao *catch-up*, na indústria de bens de capital, verifica-se que o ativismo do governo tende a ter eficácia limitada por várias razões (Kim; Lee, 2009).

Uma dificuldade adicional surge quando uma firma entrante desenvolve com sucesso suas próprias máquinas e começa a vendê-las nos mercados. As estratégias das firmas incumbentes, muitas vezes estrangeiras, incluem a cobrança de preços predatórios ou utilização da prática de *dumping* para que as firmas ingressantes não consigam atrair novos usuários. Desse modo, as firmas incumbentes estabelecem preços que promovem a eliminação de concorrentes. Além disso, também buscam ajuizar ações judiciais contra as firmas ingressantes por violação dos direitos de propriedade intelectual das firmas incumbentes (Kim; Lee, 2009).

Diante disso, Kim e Lee (2009) apontam três barreiras à entrada e ao processo de *catch-up* das firmas entrantes no setor de M&E, a saber:

- I) Demanda fraca e P&D fraco: dificuldade em criar demanda de mercado. Haja vista que a qualidade das máquinas determina diretamente a qualidade da produção, isso impõe alto nível de exigência aos fornecedores especializados (Lee; Lim, 2001). Muitas firmas produzem máquinas de baixo custo e baixa tecnologia ou apresentam baixo desempenho na fabricação de máquinas de alta tecnologia. Logo, as empresas usuárias preferem importar M&E mais confiáveis, muitas vezes a preços mais acessíveis. O baixo nível de confiança nos fornecedores locais leva as empresas a adotarem uma atitude de “esperar para ver”, i.e., evitar ser o primeiro utilizador ou aproveitar o fato de serem poucos os compradores e utilizar seu poder de barganha em grandes descontos, fato que pode tornar o custo de desenvolvimento de novos produtos inviável. Normalmente, se trata de firmas especializadas de pequeno ou médio porte e, como tal, muitas vezes não têm capacidade financeira suficiente para arcar com grandes projetos de P&D, uma vez que, também existem barreiras estruturais no

acesso ao crédito para as Pequenas e Médias empresas (PMEs) investirem recursos em P&D.

- II) Preços de *dumping* pelas empresas estabelecidas: são os contra-ataques das empresas estabelecidas, como a cobrança de preços de *dumping* para expulsar as firmas novas e entrantes tardias⁷.
- III) Ação de Direito de Propriedade Intelectual (DPI): outra dificuldade pode se referir às ações judiciais relacionadas aos DPI das empresas estabelecidas. A litigância ativa das firmas incumbentes visa não apenas a cobrança de retornos na forma de *royalties* ou taxas, mas também a interrupção das atividades das firmas entrantes no mercado, sobretudo, nos mercados internacionais, além disso, podem atribuir uma imagem negativa à firma, como o termo “ladrão de patentes”. Como as PMEs com desenvolvimento tecnológico tardio muitas vezes não têm um departamento ou pessoal de DPI, os riscos que enfrentam são muito altos. As taxas de licença de patentes proibitivas, bem como os canais de *marketing*, podem ser perdidos durante o período prolongado do processo. Em geral, os países tecnologicamente avançados fortaleceram suas políticas e regras de proteção aos DPI, e isso emergiu como um dos importantes desafios que precisam ser enfrentados pelas empresas em processo de *catch-up* no setor.

Como observado acima, as características de mercado competitivo monopolista na indústria de M&E dificulta o acesso ao mercado por firmas entrantes e reduz a concorrência potencial no setor. Somado a isso, com o desenvolvimento das ferramentas da Indústria 4.0 e evolução das tecnologias disruptivas, as barreiras à entrada do setor têm se tornado ainda maiores, uma vez que, os padrões tradicionais de produção estão mudando devido ao aumento do uso de tecnologias avançadas e digitalização dos processos. Isso impõe novos desafios às potenciais firmas entrantes que, além de enfrentarem os desafios já conhecidos, precisarão se esforçar para oferecer produtos ainda mais inovadores e tecnologicamente desenvolvidos a preços competitivos, que por sua vez, é demasiadamente difícil.

⁷ O caso do robô industrial com uma estrutura multiarticulada vertical de seis eixos que foi considerado *antidumping* pela Comissão de Comércio da Coreia em abril de 2005 é um exemplo típico do setor. A esse respeito, ver Kim e Lee (2009).

2.3 Notas metodológicas

O objetivo deste ensaio é 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.

Com a finalidade de cumprir o objetivo principal deste ensaio, realizou-se um estudo exploratório-descritivo, de abordagem qualitativa. A pesquisa exploratória tem a finalidade de ampliar o conhecimento a respeito de determinado problema, explorando a realidade para, posteriormente, planejar uma pesquisa descritiva. A pesquisa descritiva, por sua vez, procura conhecer a realidade estudada, suas características e problemas, bem como descrever com exatidão os fatos e fenômenos analisados (Triviños, 1987; Gil, 2007). Nesse sentido, o enfoque exploratório-descritivo deste trabalho é de fundamental importância, haja vista que possibilita a caracterização de cada um dos SSI analisados, bem como sua análise comparativa.

Em relação aos métodos de procedimentos, realizou-se este ensaio por meio de pesquisa bibliográfica, documental e estudo de caso. A pesquisa bibliográfica concerne à temática de inovação tecnológica e Sistemas de Inovação no bojo das transformações econômicas capitalistas, tratada pela teoria neoschumpeteriana e evolucionária do progresso técnico.

A pesquisa eminentemente documental foi realizada por meio de informações disponibilizadas publicamente em relatórios, dados estatísticos, documentos oficiais, planos de desenvolvimento e políticas estratégicas de industrialização e inovação. Os documentos foram encontrados em sítios eletrônicos governamentais, como ministérios da indústria e comércio exterior; economia; ciência, tecnologia e inovação; e educação e pesquisa, bem como por censos, pesquisas industriais e relatórios de associações de M&E dos países líderes mundiais do setor de M&E, sendo eles, China, Alemanha e Estados Unidos, a fim de identificar e discutir as semelhanças e diferenças que permeiam cada um deles e comparar os elementos dos SSI em análise.

Haja vista que a noção de SSI coloca ênfase na estrutura do sistema em termos de produtos, agentes, conhecimentos e tecnologias e em sua dinâmica e transformação, visando caracterizar os elementos em termos de produção dos SSI em estudo, serão utilizados dados das bases United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN COMTRADE), Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) e World Bank (Banco Mundial), Eurostat, Lens e Statista

que disponibilizam dados de Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) e seu percentual no Produto Interno Bruto (PIB), volume de comércio, valor da produção, *market share*, exportações e importações, dentre outros. Ressalta-se que a escolha dos países que compõem este estudo foi baseada em um conjunto criterioso de indicadores relacionados à produção e exportação de M&E, com o intuito de garantir uma análise robusta e representativa das principais economias que dominam este setor globalmente.

Os países foram selecionados com base em seu desempenho como os maiores produtores e exportadores globais no setor de M&E. 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. A liderança no *market share* sugere capacidade de inovação, escala industrial e qualidade dos produtos ofertados. Também foi levada em consideração a contribuição dos países selecionados ao volume de comércio internacional de M&E, haja vista que países que dominam o comércio global são essenciais para entender as dinâmicas comerciais, fluxos de inovação e cadeias globais de valor neste setor. Deste modo, foram selecionados os maiores produtores e exportadores mundiais de M&E, a partir das bases de dados do United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN COMTRADE), United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) e Statista.

Uma vez apresentadas as notas metodológicas de pesquisa deste ensaio, a próxima seção apresentará uma análise comparativa da dinâmica e das características dos SSI dos líderes mundiais do setor de M&E.

2.4 Sistemas Setoriais de Inovação do setor de M&E: uma análise para países selecionados

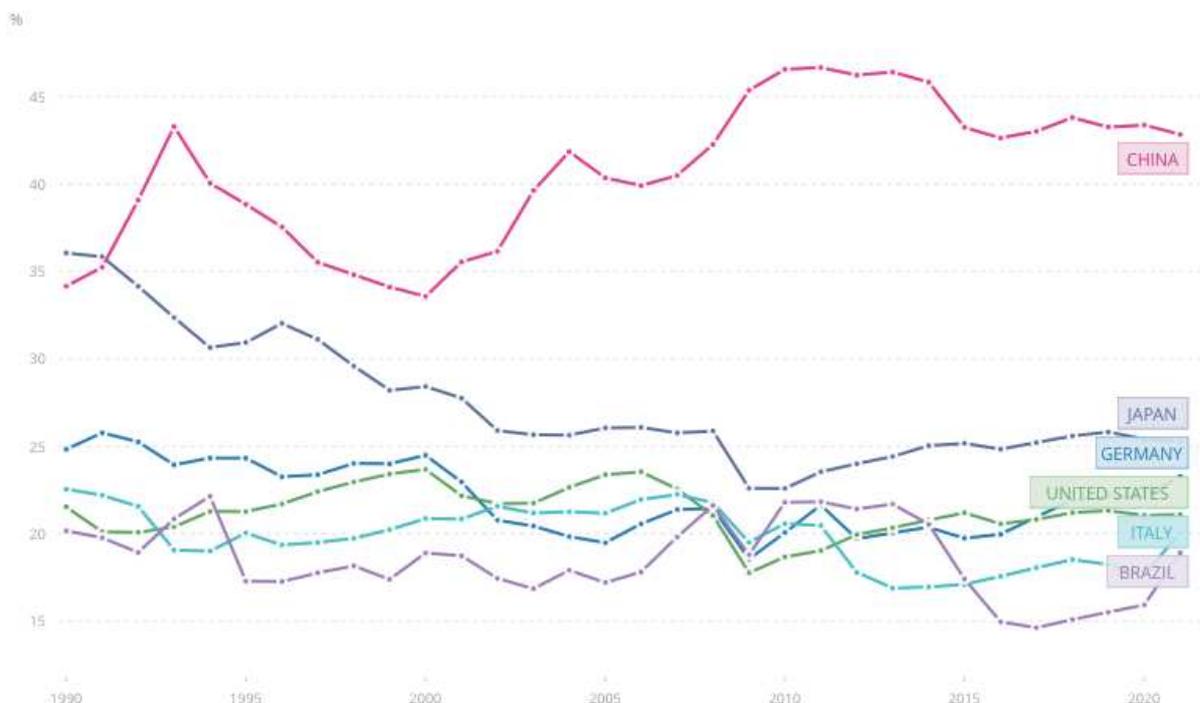
Desde a década de 1990 até meados dos anos 2010, Alemanha, Estados Unidos e Japão disputaram o topo dos líderes mundiais do setor de M&E. A Alemanha ocupou por maior tempo o primeiro lugar no *ranking* de maiores produtores e exportadores do segmento, com média de 18,5% das exportações globais no período, seguida por Japão (14,5%) e Estados Unidos (12,6%). Entretanto, a partir dos anos 2000, a China começou a apresentar expressivo crescimento no setor e nos últimos anos tem competido pela liderança (OEC, 2024).

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 realizar um processo de *catching-up*⁸ em sua estrutura produtiva e buscado a liderança mundial de mercado em diversos setores, investindo cada vez mais em P&D de tecnologia própria e na ampliação da Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) desde a década de 1990.

O Gráfico 1 apresenta o percentual dos gastos em Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF)⁹ em relação ao PIB dos líderes mundiais do setor de M&E¹⁰. 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 Briefing, 2019).

Gráfico 1 – Formação Bruta de Capital Fixo (% do PIB) dos líderes globais do setor de M&E



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

⁸ Ver Diegues; Pellegrini e Noronha (2022) para aprofundamento acerca da política industrial e do processo de *catching-up* da estrutura produtiva chinesa.

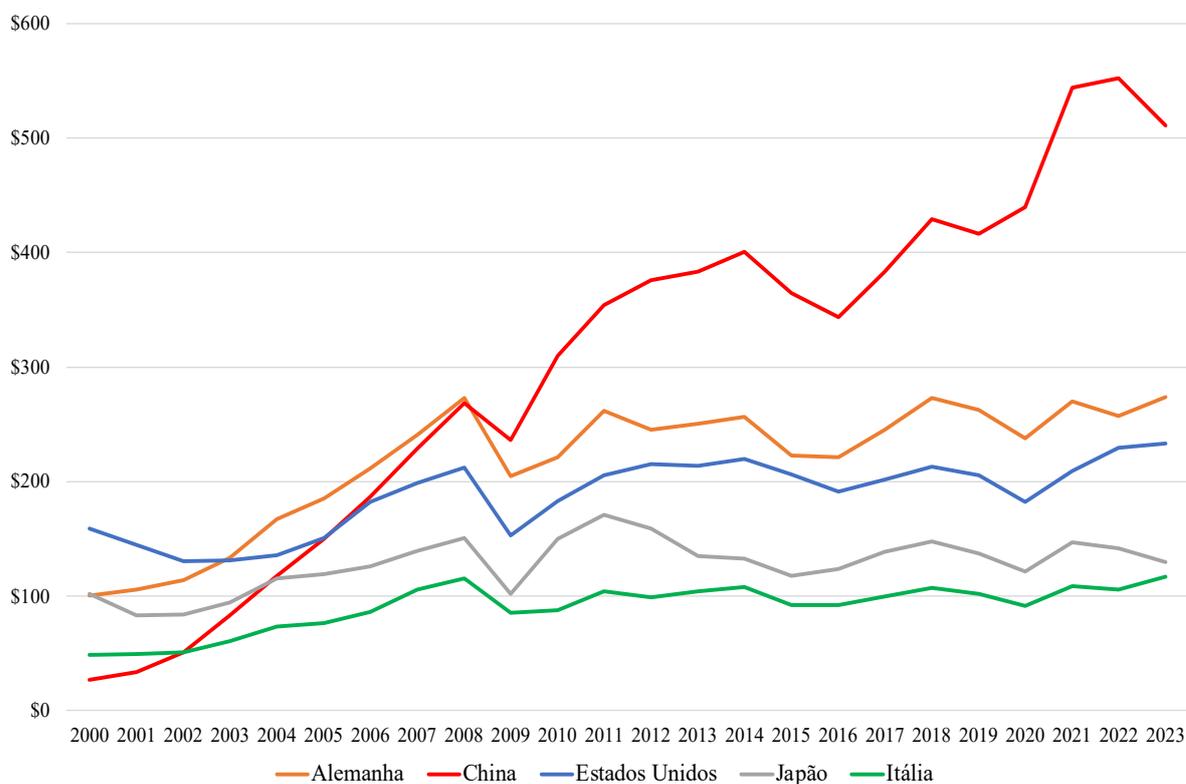
⁹ A Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF), ou investimento, divide-se em três grupos: construção, máquinas e equipamentos, e outros. Esta pesquisa não tratará da FBCF como um todo, mas de apenas um de seus segmentos, o segmento de máquinas e equipamentos.

¹⁰ Embora este ensaio tenha como foco os três países líderes mundiais do setor de M&E, determinados dados, para fins de comparação, incluirão um número maior de países.

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 entre os líderes do setor – 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%) (Gráficos 2 e 3). 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.

Gráfico 2 – Volume de exportações dos países líderes do setor de M&E no período 2000 – 2023 (em US\$ bilhões)

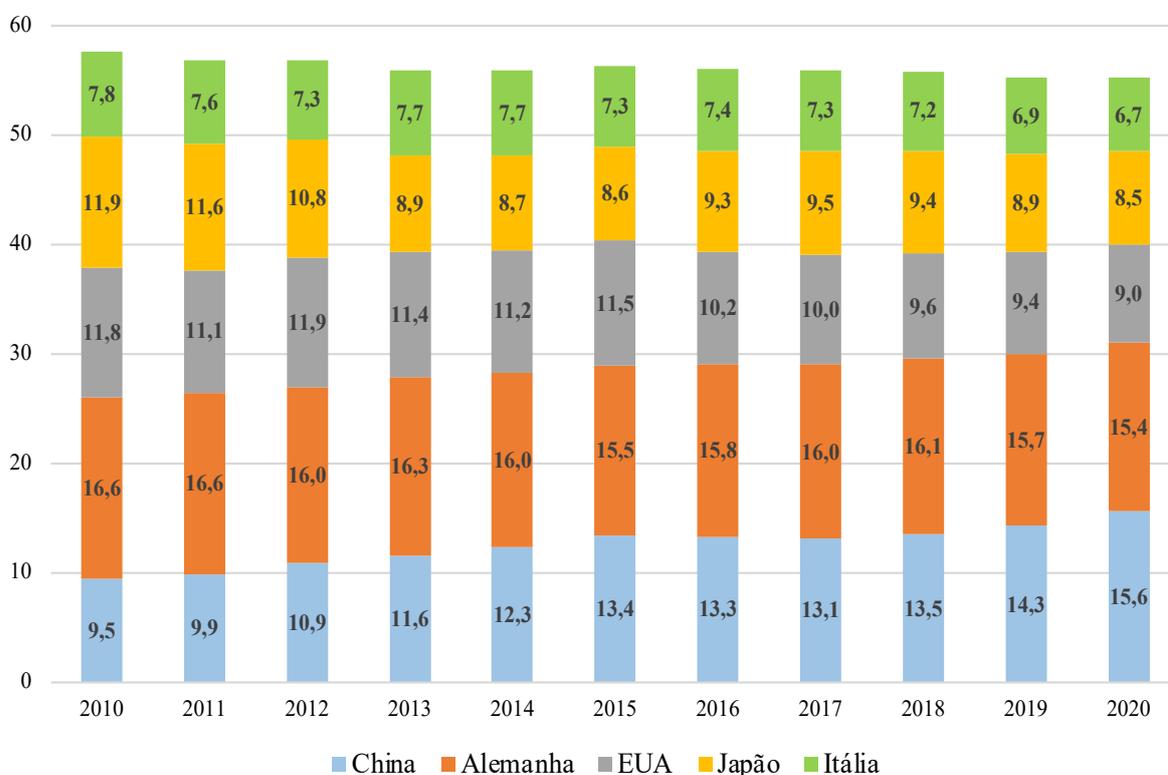


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do UN COMTRADE (2024).

Em 2019, a Alemanha ainda liderava o *ranking* mundial 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, quando a produção caíra em média 27%.

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 (Gráficos 2 e 3) (RFA, 2021; Tecnologia Guohui Shuo, 2022; VDMA, 2021; 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, 2021). A partir de então, a China consolidou sua posição, se manteve na dianteira e se encontra na liderança mundial do segmento.

Gráfico 3 – Market share dos líderes mundiais do setor de M&E, em 2010 – 2020 (em %)



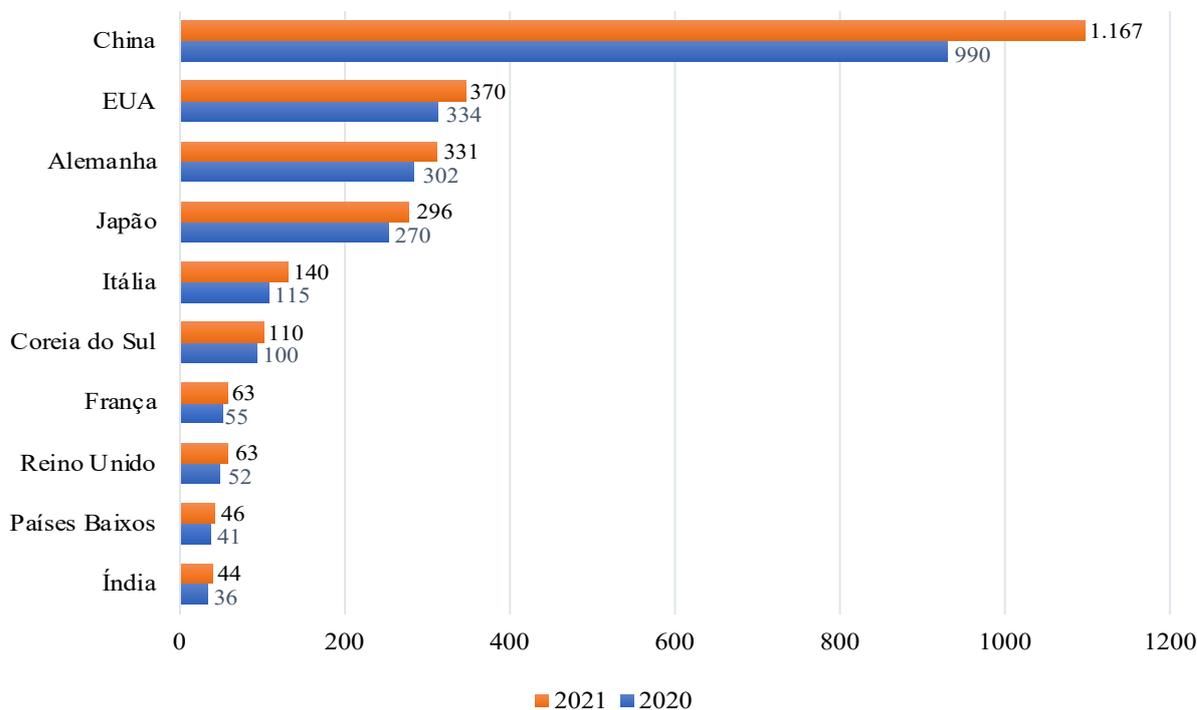
Fonte: Elaboração própria a partir do Nationale Statistische Ämter, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., VDMA (2022).

De acordo com informações da Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA, 2021), 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 podem responder 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 voltem 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” (RFI, 2021; 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 (RFI, 2021; Yicai Global, 2021, Tecnologia Guohui Shuo, 2022).

Gráfico 4 – Top 10 ranking de países por volume de negócios no setor de M&E, em 2020 – 2021 (em US\$ bilhões)



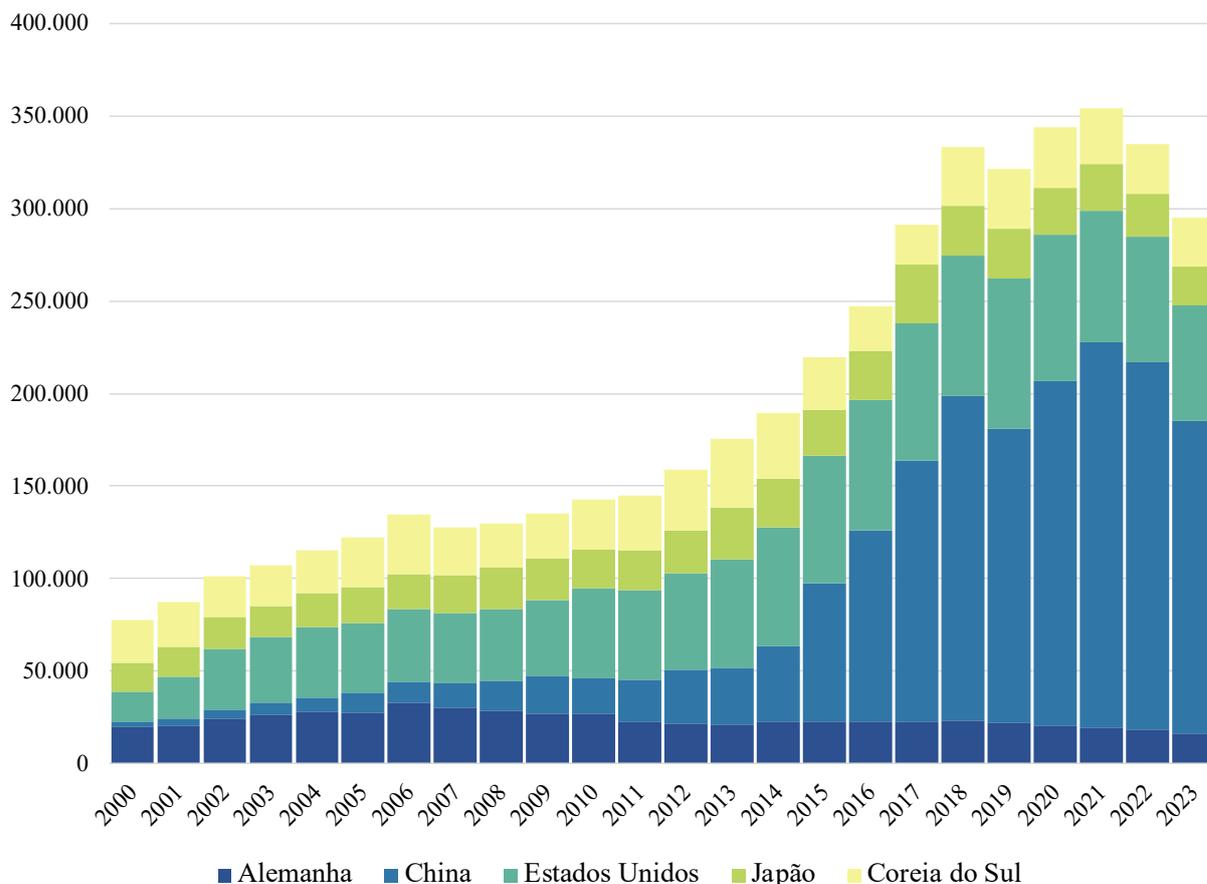
Fonte: Elaboração própria a partir das estimativas baseadas no National Statistics, Eurostat e UNIDO *apud* VDMA (2022).

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 Lens¹¹. Embora ainda exista uma lacuna frente às potências tecnológicas globais devido à dependência tecnológica estrangeira em relação ao maquinário de ponta, a China assumiu a liderança no volume de produção e exportações globais do setor de M&E e tem lutado para ascender nas posições mais nobres das CGV, bem como alcançar a liderança tecnológica do setor. 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.

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, a China 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.

¹¹ A base de dados Lens agrega dados de vários escritórios de patentes em todo o mundo, incluindo o United States Patent and Trademark Office (USPTO), European Patent Office (EPO), World Intellectual Property Organization (WIPO), dentre outras.

Gráfico 5 – Evolução do número de patentes registradas pelos líderes mundiais do setor de M&E no período 2000 – 2024



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

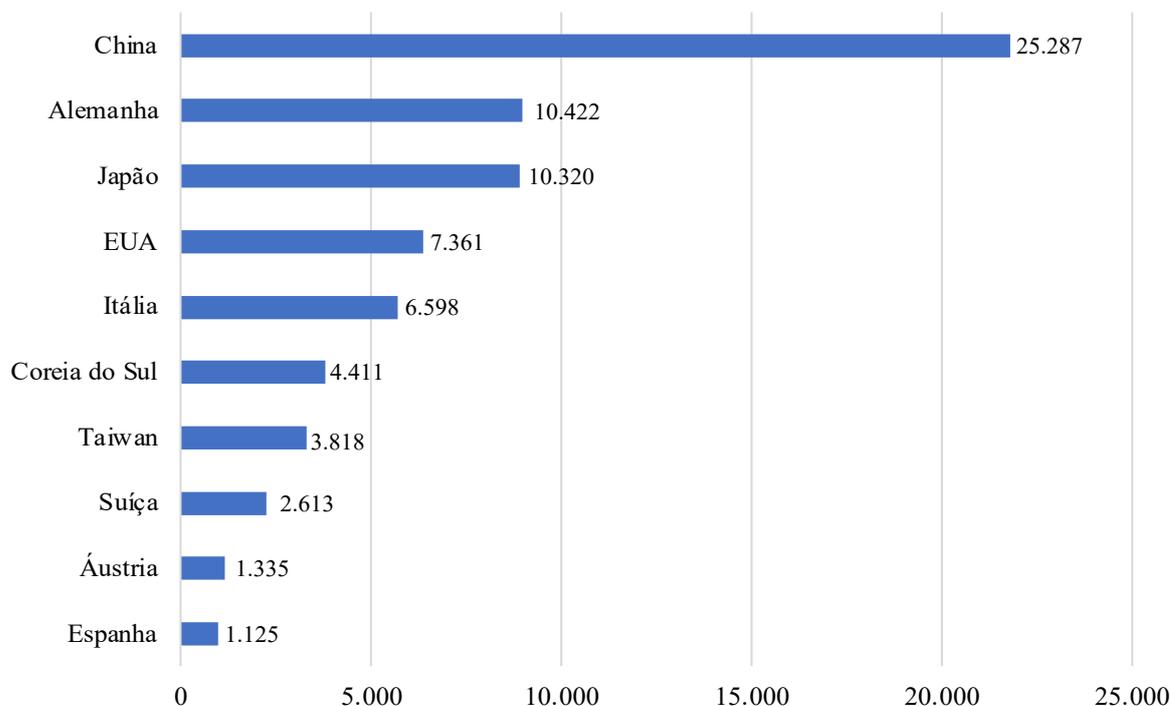
Nota: As patentes foram classificadas segundo a *Cooperative Patent Classification* (CPC), Classificação Europeia de Patentes.

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 os países líderes na produção de M&E no subsetor de máquinas-ferramenta, no ano de 2021.

A China também tem ocupado a liderança neste segmento com produção maior que o dobro de seus concorrentes (mais de US\$ 25 milhões). 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 cada. Já os EUA

ficaram na quarta colocação, com mais de US\$ 7 milhões, apesar disso, ressalta-se que este não é o subsetor de M&E com produção mais forte da indústria estadunidense.

Gráfico 6 – Países líderes na produção de máquinas-ferramenta em 2021, com base no valor da produção (em US\$ milhões)



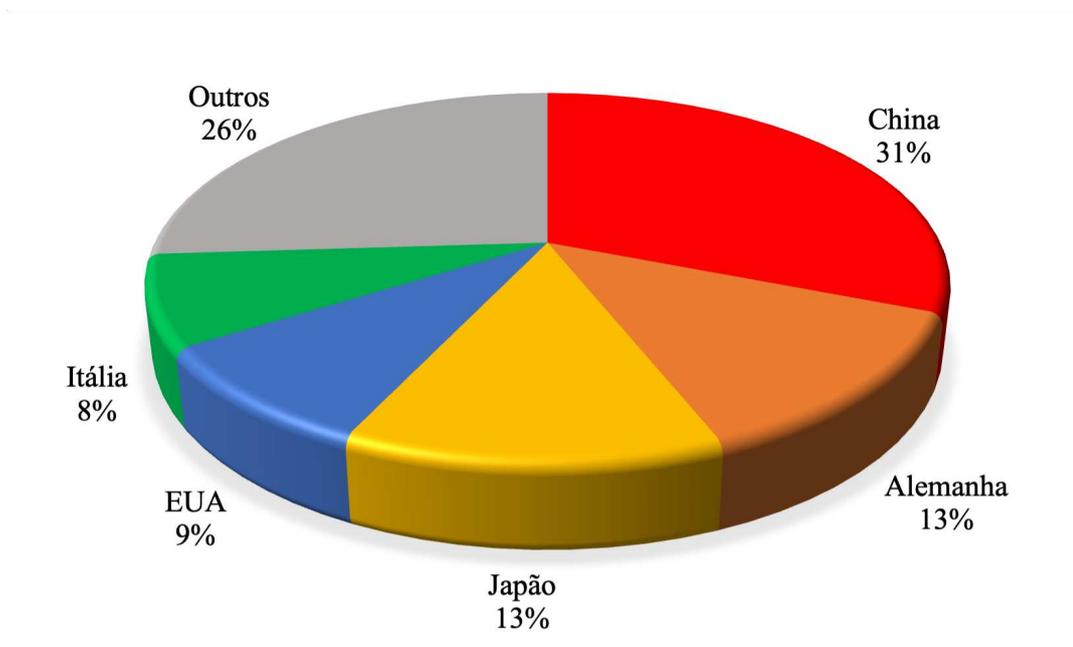
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Statista (2023).

O Gráfico 7 apresenta o *market share* dos maiores produtores 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 uma fatia de mercado de 31%, mais que o dobro do segundo e terceiro colocados, Alemanha e Japão, ambos com 13%. Em seguida, encontra-se os EUA com 9%, seguido pela Itália com 8%.

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 Briefing, 2019).

Gráfico 7 – *Market share* dos maiores produtores de máquinas-ferramenta, em 2021



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

Isso posto, com o intuito de cumprir o objetivo principal deste ensaio, essa seção apresenta uma análise comparativa dos SSI dos três países líderes mundiais do setor de M&E, sendo eles, China, Alemanha e Estados Unidos, a fim de identificar e discutir as semelhanças e diferenças que permeiam cada um deles. Além disso, pretende-se averiguar como o SSI do setor de M&E brasileiro se encontra frente aos líderes do setor.

2.4.1 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 (Grant Thornton, 2022). Haja vista que as firmas são os principais atores da inovação e da produção em um SSI, como apontado por Malerba e Mani (2009), 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 PMEs, muitas delas

familiares, por outro lado, também são pautados por grandes empresas públicas e marcas icônicas que comercializam em escala global (Research Germany, 2021, GTAI, 2022).

O setor de M&E alemão caracteriza-se como o maior setor por nível de atividade, com cerca de 20.000 empresas. Devido à sua heterogeneidade, na Alemanha, existem grandes empresas familiares com instalações de produção e P&D em todo o mundo e mais de 400.000 funcionários (Grupo Bosch); empresas de capital aberto e sob o teto de grandes grupos corporativos (Grupo Siemens; Grupo Kion), empresas resultantes de fusões entre empresas alemãs (Thyssenkrupp) e fusões com empresas estrangeiras (Grupo Gildemeister Mori), empresas decorrentes de aquisições (Grupo GEA AG) e empresas familiares com menos de 50 funcionários e atuação local.

Em 2019, a Siemens AG foi a maior empresa alemã do segmento. Com vendas de US\$ 55 bilhões em diversos subsetores, como tecnologia de automação industrial e *software*, infraestrutura, tecnologia predial e transporte com foco em inovação, empregou mais de 385.000 pessoas em todo o mundo (Produktion *apud* Xpert.Digital, 2021; Research Germany, 2021). O Grupo Kion, desmembrado da Linde AG em 2006, com faturamento de US\$ 10 bilhões assume a segunda posição. Atua nas tecnologias de transporte de carga, sendo a segunda maior fornecedora de empilhadeiras e equipamentos de armazém do mundo. Com mais de 34.000 funcionários, atua em mais de 100 países com fábricas, centros de P&D, bem como unidades de vendas e serviços (Research Germany, 2021).

Na terceira colocação encontra-se o Grupo Bosch, com vendas de US\$ 8,3 bilhões. O Grupo é composto pela Robert Bosch GmbH e cerca de 440 subsidiárias e empresas regionais presentes em aproximadamente 60 países, oferecendo produtos e serviços nos segmentos de soluções para mobilidade conectada, tecnologia industrial, bens de consumo e energia e tecnologia predial. Com cerca de 402.600 colaboradores em todo o mundo, as operações do grupo a nível mundial geraram US\$ 87,6 bilhões, em 2021. A Bosch foi considerada a mais inovadora empresa alemã, esta registrou, em 2018, 4.230 patentes no Departamento Alemão de Patentes e Mercado, alcançando o primeiro lugar nesse ramo (Deutschland, 2019).

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 nas 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 Caterpillar possui liderança consolidada como a maior fabricante de máquinas de construção, mineração, motores a diesel e a gás natural, turbinas industriais a gás e locomotivas diesel-elétricas do mundo. Com vendas de US\$ 24,8 bilhões, era responsável por cerca de 16% de *market share*, em 2021, caiu para 13%, mas ainda permanece confortavelmente na liderança.

Já a John Deere experimentou maior queda, saindo do terceiro lugar para sexto, com venda em torno de US\$ 9,4 bilhões, ultrapassada pela japonesa Komatsu e pelas chinesas (XCMG, Sany Heavy e Zoomlion). Porém, a empresa figura na liderança de máquinas agrícolas, de construção e florestais, motores a diesel, sistemas de transmissão (eixos, transmissões, caixas de engrenagens) usados em equipamentos pesados e equipamentos para jardinagem (CLA, 2021; (U.S. Department of Commerce, 2014). Vale ressaltar que, 27% da produção de M&E nos EUA refere-se ao setor agrícola, que gera cerca de US\$ 202 bilhões em atividades de vendas para o setor de M&E (AEM, 2022).

Diferentemente da Alemanha e dos EUA, a indústria de M&E da China ainda está em processo de aprofundamento nas tecnologias avançadas, todavia, o setor constitui um dos grandes pilares da indústria chinesa e do mundo. Em 2018, a receita do setor atingiu US\$ 3,18 trilhões e, em 2020, o país registrou mais de 92 mil empresas relacionadas ao setor de M&E. O mercado de maquinário de baixo custo é dominado por PMEs, sobretudo, devido à concorrência baseada em preços e à estrutura de corte de custos somada a baixos custos de aquisição de insumos. Por outro lado, o mercado de máquinas de ponta é composto em grande parte por empresas estatais, como a China Machinery Engineering Corporation, firmas estrangeiras e *joint ventures* (China Briefing, 2019; HUAON, 2021; EU SME Centre, 2022).

A esse respeito, destaca-se que o setor de M&E chinês possui uma enorme demanda por transferência de tecnologia de países desenvolvidos em maquinário de ponta. Para reverter essa situação, o governo chinês tem estabelecido medidas e oferecido incentivos financeiros e fiscais ao longo das últimas décadas. Em função disso, o enorme mercado doméstico chinês é ocupado por gigantes firmas estrangeiras, muitas delas com participação na forma de *joint ventures* com

parceiros nacionais, uma das grandes restrições impostas pelo governo para a entrada de estrangeiros no setor.

As marcas nacionais representam menos de 30% do mercado doméstico de robôs industriais, a taxa de localização de máquinas-ferramenta CNC é de apenas 6%, a de equipamentos semicondutores é inferior a 15% e a de fabricação de equipamentos para automóveis é de cerca de 30%. As empresas com investimento estrangeiro contribuem com 49,9% do valor total das exportações. As empresas privadas e estatais, respectivamente, compartilharam 38,6% e 11,5% das exportações totais de maquinário da China. Portanto, pelo menos uma em cada três máquinas da China ainda deve vir de empresas com propriedade estrangeira nos próximos anos (China Briefing, 2019; HUAON, 2021; EU SME Centre, 2022).

No que tange às grandes empresas globais chinesas, destacam-se na área de maquinário de construção, onde três delas figuraram entre as 5 maiores do mundo, em 2021. As empresas Xuzhou Construction Machinery Group (XCMG) (US\$ 15,1 bilhões), Sany Heavy Industry (US\$ 14,4 bilhões) Zoomlion (US\$ 9,4 bilhões) ficaram atrás em volume de vendas apenas das famosas estadunidense Caterpillar (US\$ 24,8 bilhões) e japonesa Komatsu (US\$ 19,9 bilhões) (China, 2021). Como mencionado anteriormente, as empresas estatais chinesas configuram uma parcela importante das firmas do país e têm atuado como protagonistas no desenvolvimento industrial chinês. A esse respeito, destacam-se tanto o Grupo XCMG, quanto a Zoomlion. Vale ressaltar que, esta última, embora ainda tenha participação estatal, hoje se trata de uma firma mista.

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. No que se refere à força de atuação do Estado chinês na indústria que também afeta o setor de M&E, ressalta-se que a siderúrgica estatal Baowu tornou-se a maior produtora de aço bruto do mundo, além disso, a China também é a maior produtora mundial de alumínio, fato importante para o setor. Vale ressaltar que a estatal China Railway Rolling Stock Corporation (CRRC) também é uma considerada a maior fabricante de trens e equipamentos de transporte ferroviário do mundo, monopolizando metade do mercado global, e a estatal China State Shipbuilding Corporation (CSSC), configura-se como maior fabricante de navios e equipamentos navais do mundo (China, 2021).

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, empregando cerca de 1,36 milhão de funcionários diretos ao longo da cadeia produtiva, com destaque para

os subsetores de máquinas-ferramentas e tecnologias de acionamento. Assim, o número médio de funcionários nas 100 maiores empresas alemãs é de 4.009 (VDMA, 2021). 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, cerca de um em cada oito empregos de manufatura (International Trade Administration, 2022; U.S. Bureau of Labor Statistics, 2022; AEM, 2022).

No que tange o 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 segmento. 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 (China Briefing, 2019; 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.

2.4.2 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; Mani, 2009).

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; Mani, 2009).

Na Alemanha alguns dos *clusters* de maior expressividade para o setor de M&E são: I) *Cluster* do Vale do Ruhr, um dos maiores e mais antigos centros de engenharia mecânica do país, conhecido por sua expertise em engenharia pesada, tecnologia de energia e indústria automotiva; II) *Clusters* de Baden-Württemberg, em especial o de Stuttgart, região famosa pela indústria automotiva que abriga a sede empresas renomadas como Mercedes-Benz, Porsche e Bosch, além de destacar-se também na fabricação de máquinas-ferramenta e engenharia de precisão; III) *Cluster* de Munique, conhecido por sua experiência em tecnologia de automação, robótica, engenharia de sistemas e aeroespacial, com presença das gigantes Siemens, BMW e Airbus; IV) *Clusters Sondermaschinen- und Anlageanbau* (SMAB), Engenharia de Máquinas e Plantas para Fins Especiais, dentre outros.

Baden-Württemberg é o principal centro da indústria alemã de M&E, robótica e automação, gerando as maiores vendas do país (faturamento de US\$ 96,5 bilhões) e mais de 348.000 empregados diretos, em 2021. Cerca de um terço das empresas alemãs do setor estabeleceram sua sede em Baden-Württemberg e mais da metade dos fabricantes de M&E de precisão estão localizados nessa região. Essa conformação é de grande importância, uma vez que, a integração com a microeletrônica abriu caminhos de mudança tecnológica que se refletem na estrutura do setor e na fusão de tecnologias. Um indício disso é a proposta de integração de instituições como das associações de engenharia mecânica (VDMA) e elétrica Zentralverband Elektrotechnik - und Elektronikindustrie (ZVEI), além de suborganizações conjuntas que são fundadas, e.g., na área de TI (Wengel; Shapira, 2004; Research Germany, 2021). Além da integração com as associações, também é comum que as firmas possuam estreita relação com outros agentes heterogêneos, como universidades, institutos e centros tecnológicos ali localizados para o desenvolvimento de P&D e de uma base para o alto nível tecnológico.

Como parte da maior organização de pesquisa científica aplicada da Europa, os institutos pertencentes aos *clusters* de inovação Fraunhofer-Gesellschaft estão ativos no desenvolvimento de novas tecnologias para a indústria e o setor público. Mais de 30.000 funcionários da Fraunhofer desenvolvem tecnologias de ponta em 76 instituições de pesquisa espalhadas por toda a Alemanha (20 institutos de pesquisa Fraunhofer são especializados em assuntos relacionados ao setor de M&E). Os *clusters* de inovação da Fraunhofer são baseados em redes estabelecidas de instituições de pesquisa, investidores e empresas que levam à novas ideias de negócios e *start-ups*. Deste modo, os *cluster* regionais de inovação ajudam a fechar a lacuna entre a ciência e a indústria, haja vista que *clusters* bem-sucedidos estimulam a competição enquanto criam colaboração produtiva (GTAI, 2022).

O panorama de pesquisa de Baden-Württemberg na área de tecnologia de produção é heterogêneo. A University of Stuttgart, Heidelberg University, o Karlsruhe Institute of Technology (KIT), além de outras universidades e instituições de ciências aplicadas, bem como os Institutos da Sociedade Fraunhofer e a Alliance for Innovation Baden-Württemberg, contribuem para o grande papel da pesquisa produtiva como uma das áreas da ciência que mais cresce no estado (Research Germany, 2021; Clusterportal Baden-Württemberg, 2022). Também chama atenção a importante relação com as instituições bancárias públicas e privadas para o financiar o desenvolvimento desses projetos inovadores, como L-Bank, Banco Estadual

de Baden-Württemberg, Hamburg Commercial Bank e o banco de desenvolvimento alemão Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).

Já nos EUA, devido à própria característica do setor, a fabricação de M&E está amplamente disseminada pelo país. Os principais *clusters* de M&E são: I) *Cluster* da Baía de São Francisco, conhecido por ser um importante centro de inovação e tecnologia, com uma presença significativa de empresas de alta tecnologia; II) *Cluster* de Boston, importante centro de engenharia mecânica e robótica, atrelado à grandes universidades como o Massachusetts Institute of Technology (MIT) e Harvard; III) *Cluster* de Michigan, localizado na importante região dos Grandes Lagos, é conhecido como o centro da indústria automotiva no país; IV) *Cluster* de Houston, abriga empresas de petróleo, gás e energia que demandam M&E relacionados à infraestrutura, dentre outros.

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 (ASME, 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.

Além disso, as instituições acadêmicas também desempenham um papel significativo no *cluster* de engenharia mecânica da Baía de San Francisco, como Stanford University, University of California e Berkeley, dentre outras universidades renomadas possuem programas de engenharia mecânica de destaque onde pesquisadores e estudantes contribuem para P&D de novas tecnologias ponto além disso a região também abriga centros de P&D como Xerox PARC (Palo Alto Research Center) e o Lawrence National Laboratory, que realizam pesquisas avançadas em várias áreas da engenharia mecânica.

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 Briefing, 2019).

O 14º Plano Quinquenal da China (2021-2025) reúne esforços, em especial do Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação, principal regulador da indústria da China, para promover o desenvolvimento de indústrias-chave e alavancar *clusters* de manufatura avançada para participarem da competição global em nome da China. Esta missão nacional visa tornar estes *clusters* “campeões mundiais” em suas respectivas áreas, cultivando um grupo de grandes empresas globais competitivas e PMEs especializadas (China, 2021).

Deste modo, os principais *clusters* localizam nos seguintes locais: I) Província Jiangsu, lidera a produção da indústria de M&E e robôs da China, incluindo máquinas-ferramentas, têxteis, de embalagens, equipamentos de transporte e produtos de aço; II) Pequim-Tianjin-Hebei, como uma das regiões mais desenvolvidas da China, abriga uma ampla variedade de indústrias, sobretudo de M&E nos setores automotivo, aeroespacial, energia e maquinário, além de local onde se situa a empresa CRRC; III) *Cluster* de Xangai, conhecido por sua expertise em engenharia automotiva, máquinas-ferramenta, tecnologia de automação, eletrônicos e maquinário pesado, abriga várias grandes empresas do ramo, dentre elas a Sany Heavy; IV) Província de Guangdong, um dos principais centros industriais do país, conhecido por sua produção de M&E eletrônicos e de automação; dentre outros.

De modo a investir no desenvolvimento de suas próprias tecnologias e reduzir a dependência tecnológica, a China possui várias universidades importantes para a pesquisa de engenharia mecânica, como as universidades de Tsinghua, Pequim, Jiao Tong de Xangai e Zhejiang. Destaca-se também o papel de instituições de pesquisa como o Harbin Institute of Technology (HIT), Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences (IMCAS) e o Shenyang Institute of Automation (SAI). Além disso, para o desenvolvimento do setor, somado ao apoio do governo, as firmas também contam com o apoio de instituições financeiras como o Industrial and Commercial Bank of China (ICBC), China Construction Bank (CCB), Bank of China (BOC) e China Development Bank (CDB), todos eles bancos estatais.

2.4.3 Demanda doméstica e internacional

Como descrito por Malerba e Mani (2009), em um SSI, a demanda pode ser doméstica ou internacional, a demanda é composta por consumidores individuais, firmas e órgãos públicos, que podem fazer parte de diferentes países e SNI, caracterizados por diferentes tamanhos, conhecimentos, processos de aprendizagem e competências, e afetados por diferentes fatores sociais e instituições.

Os países em análise nesta pesquisa 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 de M&E 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 subsetores 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.

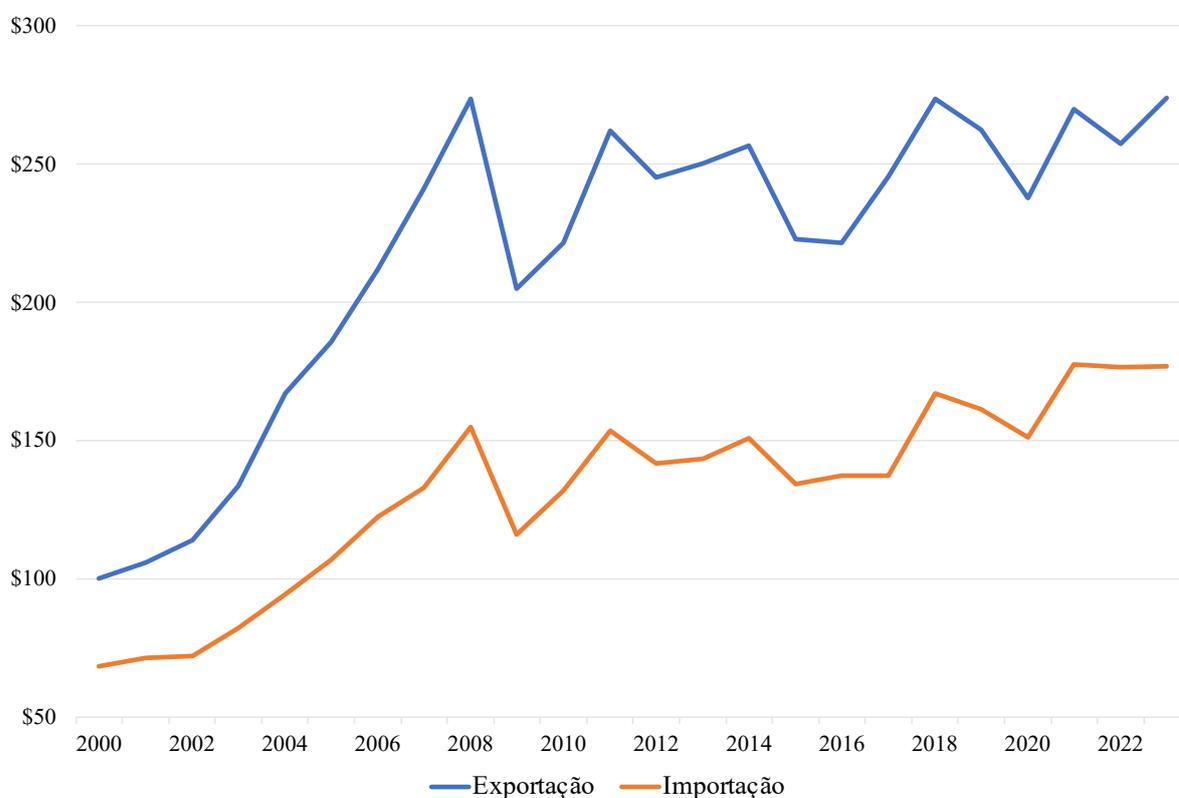
No que se refere à demanda internacional, a indústria de M&E alemã é considerada o principal setor de exportação do país. Juntamente com o setor automotivo constitui um dos motores tecnológicos que conduz a Alemanha a posto de nação “*high tech*”. As cerca de 20.000 empresas alemãs de engenharia mecânica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

Por meio do Gráfico 8, é possível observar a evolução das exportações e importações do setor de M&E alemão entre o período 2000 – 2023. 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. 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.

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.

Gráfico 8 – Exportações e importações do setor de M&E alemão no período 2000 – 2018
(em US\$ bilhões)



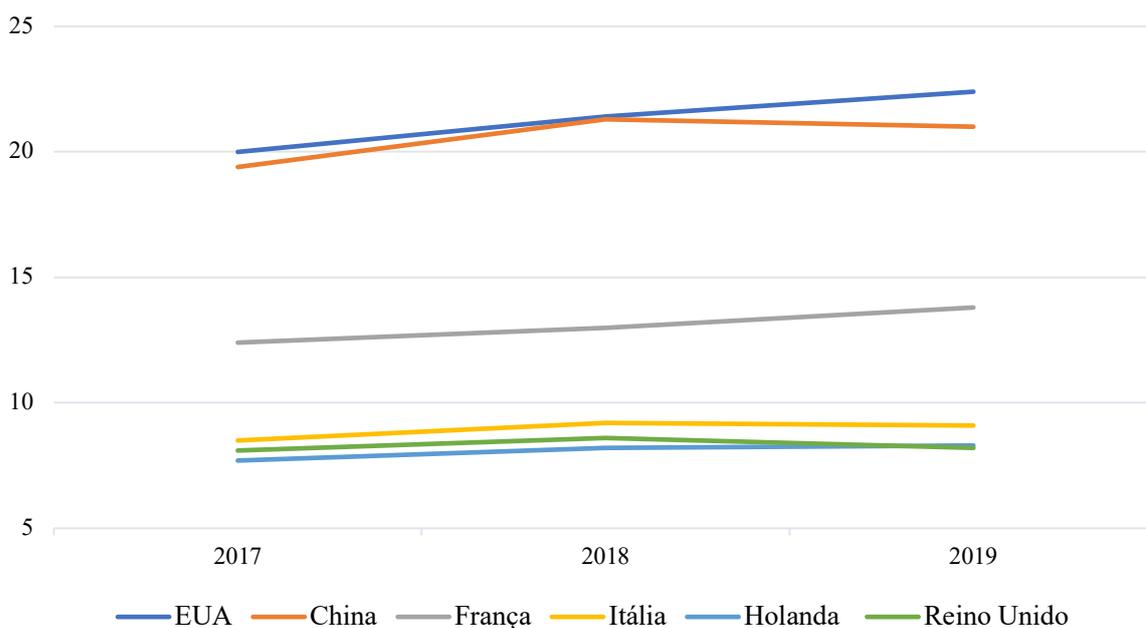
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do UN COMTRADE (2024).

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). Apesar disso, é importante destacar que antes do advento da pandemia a China já estava em trajetória ascendente, aumentando sua fatia de mercado no setor. 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 (McKinsey & Company, 2020).

Acerca das relações comerciais, EUA e China ocupam a dianteira como os maiores importadores das máquinas alemãs, cada um com mais de US\$ 20 bilhões anuais. Ao mesmo tempo, a China tem deixado de competir somente em preços e tem se inserido também no mercado de alta tecnologia como fornecedora de produtos de alta qualidade em M&E (Gráfico 9). Para a Alemanha, a China não é apenas um dos maiores importadores de M&E, mas também um importante exportador de produtos deste segmento e um dos maiores concorrentes. Não obstante, os alemães ainda são líderes mundiais de mercado em 14 de 31 subsetores de M&E, encontram-se na segunda colocação em 7 subsetores e cerca de 80% do volume de negócios de máquinas é gerado a partir de exportações internacionais (VDMA, 2021; GTAI, 2022).

Gráfico 9 – Principais países importadores de M&E alemãs, no período 2017 – 2019 (em US\$ bilhões)



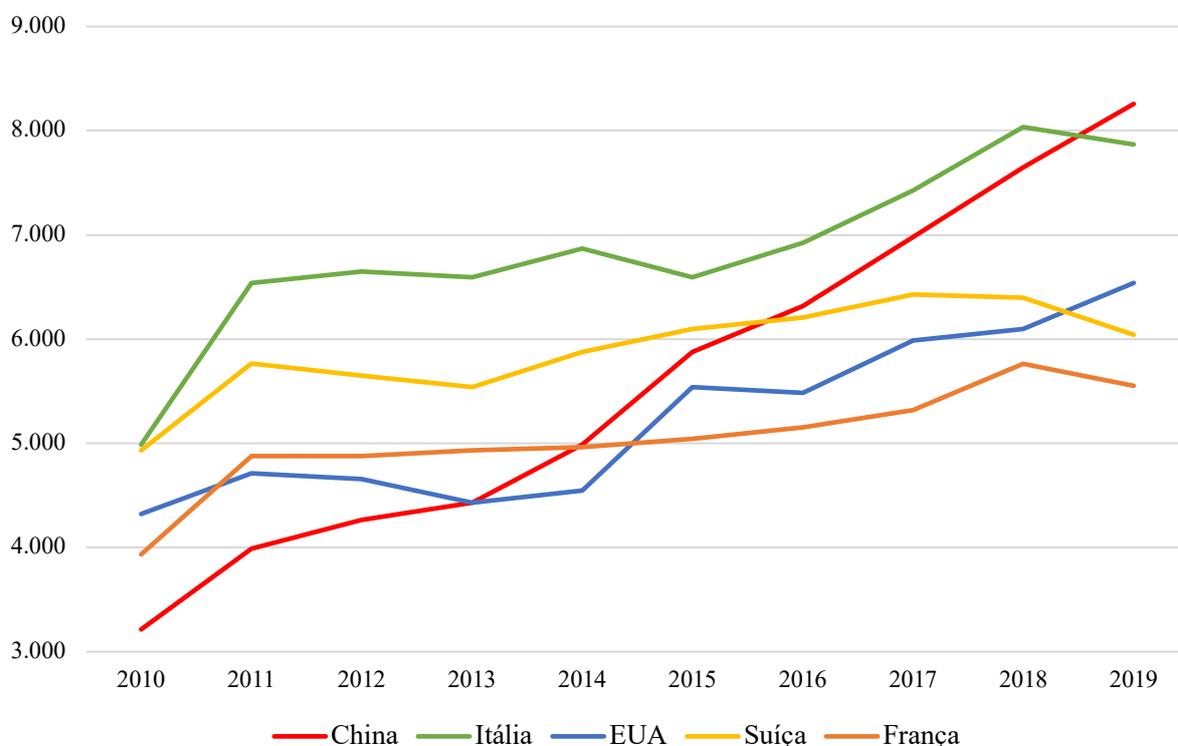
Fonte: Elaboração própria a partir do Statistisches Bundesamt; VDMA *apud* Xpert.digital (2021, tradução própria).

Observando as importações alemãs de M&E, fica claro que nenhum outro país conseguiu aumentar tanto suas vendas quanto a China, como demonstrado pelo Gráfico 10. Enquanto no final dos anos 2000 a China era o 5º maior exportador de M&E para a Alemanha, ultrapassou a França, a Suíça e os EUA na segunda metade dos anos 2010. Em 2019, a China exportou mais de US\$ 8 bilhões para a Alemanha em M&E, ultrapassando inclusive a Itália (segundo maior produtor e exportador de M&E da Europa) e assumindo a liderança. Como

resultado, a China conseguiu quase triplicar suas exportações de M&E para a Alemanha em dez anos, enquanto os outros países registraram apenas um leve crescimento.

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 10 – Principais países exportadores de M&E para a Alemanha, no período 2010 – 2019 (em US\$ bilhões)

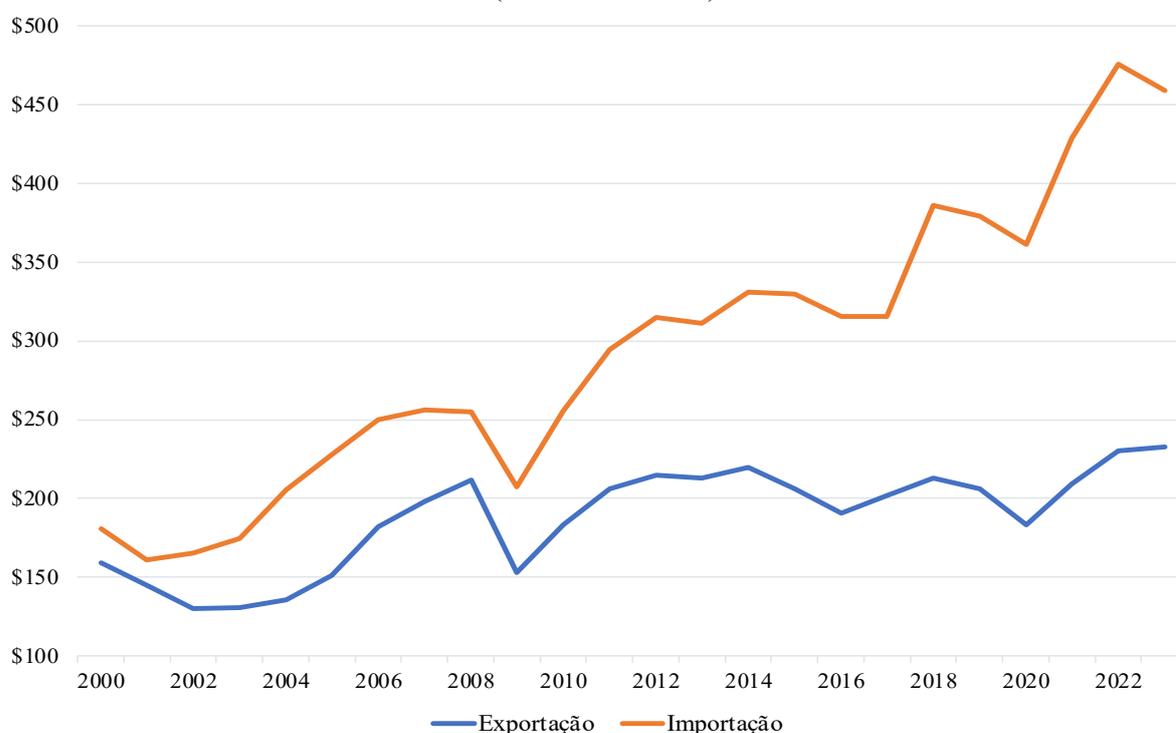


Fonte: Elaboração própria a partir de Bertelsmann Stiftung (2020).

A indústria de M&E dos EUA gera aproximadamente US\$ 288 bilhões por ano para a economia e 53,7 bilhões em receita tributária para os governos federal e estaduais a cada ano. Cerca de 30% de todo o maquinário fabricado no país é destinado à exportação (AEM, 2022). Os principais mercados para as exportações de M&E dos EUA são, desde a última década, formados por cinco países principais importaram os respectivos valores no ano de 2019: Canadá (US\$ 22,7 bilhões), México (US\$ 17,3 bilhões), China (US\$ 10,6 bilhões), Coreia do Sul (US\$ 5,6 bilhões) e Taiwan (US\$ 5,4 bilhões).

Por meio do Gráfico 11, é possível observar a evolução das exportações e importações do setor de M&E norte americano entre o período 2000 – 2023. O Gráfico apresenta uma trajetória ascendente, com queda acentuada no período da crise de 2008. A partir de 2013, as exportações aumentaram de forma tímida, porém puxadas por dois subsetores: equipamentos de fabricação de semicondutores (aumento de US\$ 4,7 bilhões, 28,4%) e M&E agrícolas e de jardim (aumento de US\$ 1,1 bilhão, 13,2%). Os aumentos foram impulsionados por novas instalações de fabricação de semicondutores no exterior, bem como expansões e reequipamento de instalações existentes no leste asiático, particularmente na Coreia do Sul, China e Taiwan (USITC, 2023).

Gráfico 11 – Exportações e importações do setor de M&E dos EUA no período 2000 – 2023 (em US\$ bilhões)



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

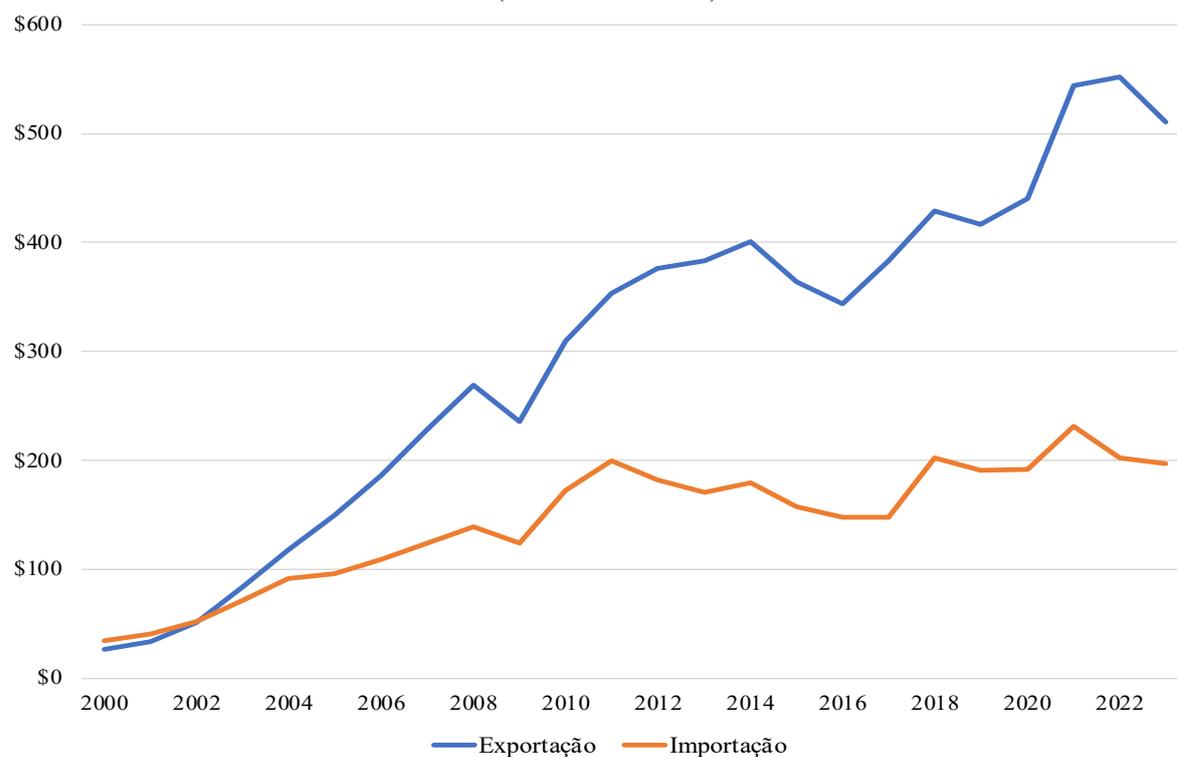
Nota-se que o valor das importações é maior do que o valor das exportações em todo o período, com grande destaque a partir de 2009. Acredita-se que este fato foi registrado devido às transformações do sistema nacional produtivo norte americano, à grande demanda por equipamentos de fabricação de semicondutores 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).

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 (Allianz-Trade, 2022).

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 (Gráfico 12). 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 chinesa, 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.

Gráfico 12 – Exportações e importações do setor de M&E da China no período 2000 – 2023 (em US\$ bilhões)

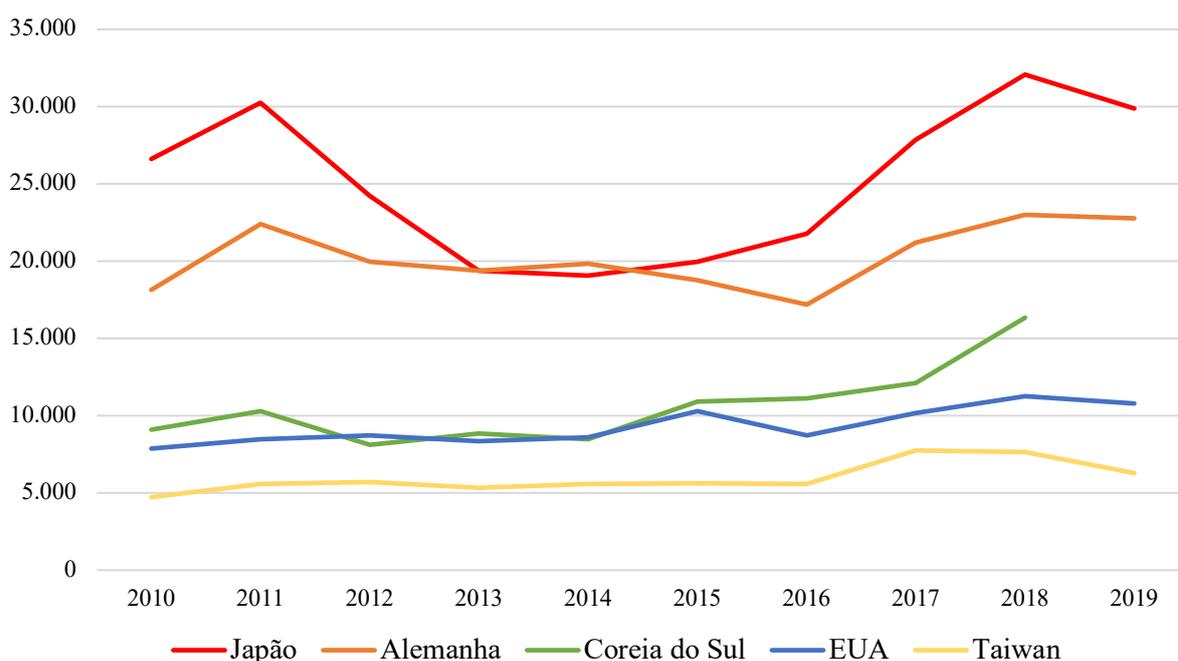


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do UN COMTRADE (2024).

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) (Ferramental, 2022).

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. Por outro lado, 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, como Alemanha, EUA e Japão (Gráfico 13).

Gráfico 13 – Principais países exportadores de M&E para a China entre 2010 – 2019
(em US\$ bilhões)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de Bertelsmann Stiftung (2020).

Embora a fabricação chinesa tenha ultrapassado a capacidade de fabricação dos demais em termos de quantidade, estes países ainda mantêm certa vantagem na qualidade, sobretudo, em máquinas de ponta, precisão e robôs industriais e máquinas-ferramenta (RFA, 2021; TECNOLOGIA GUOHUI SHUO, 2022). Neste cenário, verifica-se que durante toda a década de 2010 as exportações foram advindas predominantemente de cinco países. Em 2018, totalizaram US\$ 74.600 bilhões de M&E importados oriundos do Japão (US\$ 26.500 bilhões), Alemanha (US\$ 19 bilhões), Coreia do Sul (US\$ 13.500 bilhões), EUA (US\$ 9.300 bilhões) e Taiwan (US\$ 6.300 bilhões).

2.4.4 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. Como veremos adiante, 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.

2.4.4.1 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 crise institucional do SNI entre o pós-guerra e a reunificação do país em 1989.

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 voltada 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. Vale ressaltar que o desenvolvimento do setor e algumas políticas a ele direcionadas, em certa medida, são explicados pela necessidade de inovação fabril de outros setores, também atendidos com a ajuda de fundos públicos (Wengel; Shapira, 2004). A partir da década de 1990, 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, 2022a).

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 2025¹² (CGEE, 2013; IEDI, 2017a).

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, na Alemanha. 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).

¹² Ver IEDI (2017a) para aprofundamento acerca da política industrial alemã direcionada à Indústria 4.0.

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 (BMWK, 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* ajudará 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).

2.4.4.2 Estados Unidos da América

Após a Segunda Guerra Mundial e durante a Guerra Fria, por meio das missões com objetivos tecnológicos, naquele período o governo federal dispendeu 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). Sob essa perspectiva, Dosi (1984) demonstrou como o Vale do Silício, na Califórnia, surgiu e se consolidou como um subproduto dos gastos em P&D do setor militar da época. 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 Ciência, Tecnologia & Inovação (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 em detrimento das estrangeiras (CGEE, 2013). Sob essa perspectiva, destaca-se que:

Conforme sustentam Freeman (2005) e Mazzucato (2011), o papel desempenhado pelo setor público teve importância muito mais central para a definição das principais transições paradigmáticas da tecnologia do que convencionalmente se supõe. As inovações, na esfera privada, parecem erigir-se apenas quando as principais incertezas da pesquisa já tiverem sido enfrentadas e financiadas pelo poder público (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.

Segundo IEDI (2018), os Estados Unidos possuem um dos maiores e mais sofisticados e diversificados sistemas industriais do mundo, entretanto, a indústria está perdendo participação no PIB desde o final do século passado. Acredita-se que parte dessa perda de fatia da indústria no PIB, seja decorrente de transformações do sistema nacional produtivo norte americano, i.e., seu posicionamento nas Cadeias Globais de Valor (CGV) e a crescente fragmentação da produção, que, por sua vez, desloca as plantas industriais norte americanas para o exterior, para a execução de atividades físicas de montagem e qualificação mais baixa, e apenas a matriz especializada em setores intensivos em capital continua localizada nos Estados Unidos, acarretando um processo de desvinculação entre produção e inovação, que afeta a indústria de transformação doméstica (IEDI, 2017b, 2018).

Além das questões acima apontadas, o país também tem tentado combater na última década problemas de desemprego, em especial após a crise de 2008, uma consequência da perda de competitividade da indústria no cenário internacional e ao intenso fenômeno da transnacionalização produtiva visando exploração de mão de obra barata. Nesse sentido, diretrizes de compras governamentais atuam exigindo que o uso dos bens de manufatura, ferro e aço sejam estadunidenses, como medida de preservar as empresas nacionais e geração de emprego no país (The White House, 2013; CGEE, 2013).

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 Parceria de Manufatura Avançada, Iniciativa Nacional de Robótica, Iniciativa de Genoma de Materiais (IEDI, 2017b; 2018a).

Em 2011, implementou-se a *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP), criada pelo presidente Barack Obama como estratégia para que indústria, academia e governo devem trabalhar em parceria para revitalizar nosso setor de manufatura. Em 2012, elaborou-se o *The National Strategic Plan for Advanced Manufacturing* (Plano Nacional Estratégico de Manufatura Avançada) que incorporou sugestões e recomendações de representantes da indústria e das universidades para orientar os investimentos federais em tecnologias transversais críticas, sobretudo, para corresponder às necessidades nacionais, à demanda global e às novas

transformações tecnológicas, uma vez que a concorrência global em manufatura avançada está cada vez mais intensa (The White House, 2013).

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. Acredita-se que essa “mudança de paradigma de produção avançada tem o maior potencial para viabilizar o surgimento de indústrias inteiramente novas e de métodos de produção que são mais propensos a "permanecer" nos Estados Unidos porque são difíceis de imitar” (IEDI, 2017b, p.13; CGEE, 2013).

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 programas¹³.

2.4.4.3 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 (Naughton, 2021). 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

¹³ Para informações acerca de cada programa, ver C2ER (2022).

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. Por exemplo, os *Chief Executive Officer* (CEOs) das grandes empresas são escolhidos pelo Partido Comunista Chinês, e muitas empresas privadas são subsidiárias de estatais, configurando uma forte relação entre elas. 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 CGV 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 capacitações inovativas (SU, 2010).

Nos últimos anos, a China lançou diversas políticas¹⁴ 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 (Naughton, 2021). 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 Briefing, 2019; 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 *science, technology, engineering and mathematics* (STEM) fortemente incentivados pelo governo. Além da ênfase em atrair talentos estrangeiros, como mão de obra altamente qualificada para o país, e 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

¹⁴ A esse respeito ver Huajing Industry Research Institute, HUAON (2021).

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 o 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.

A estratégia do governo chinês também busca adotar a fabricação intensiva de alta tecnologia, experiência em gestão e tecnologia avançada, fazendo o melhor uso do capital estrangeiro, embora sujeito a algumas restrições para a entrada desse capital. Como medida para forçar a transferência de tecnologia estrangeira, o governo chinês impõe uma série de restrições de propriedade aos fabricantes de equipamentos de geração de energia. As empresas estrangeiras só podem entrar no setor por meio do estabelecimento de *joint ventures* com parceiros nacionais. Alguns setores também exigem mais de 50% de propriedade chinesa, como na fabricação de M&E elétricos (China Briefing, 2019).

Essas e outras medidas têm gerado preocupação no cenário externo. As estratégias de comércio dos produtos chineses frequentemente são alvo de críticas que apontam para práticas desleais de comércio, como irregularidades no comércio de bens de capital e à utilização de artifícios no processo de importação, a saber: subfaturamento, posição tarifária incorreta, triangulação com países do Mercosul e prática de *dumping*. Com relação aos direitos de propriedade intelectual, em 2019, governo dos EUA destacou as práticas chinesas de transferência forçada de tecnologia em suas negociações de guerra comercial com a China. Por outro lado, o governo chinês tem oferecido incentivos financeiros e fiscais para a introdução de tecnologias avançadas de países desenvolvidos, como isenção de impostos de importação e o imposto sobre valor agregado (IVA) para a importação de equipamentos-chave de P&D, matérias-primas e componentes (China Briefing, 2019).

2.5 Considerações finais

Este ensaio 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 de M&E. 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.

No passado, o tradicional sistema de inovação do setor de M&E provavelmente seria caracterizado como fechado; escopo geográfico regional e nacional; com base tecnológica mecânica; tecnologia incremental; produtores vinculados aos usuários; e conhecimento tácito (Wengel; Shapira, 2004). Hoje, o esboço dos SSI, conforme os dados discutidos neste ensaio, caracteriza o sistema como mais aberto e flexível; escopo geográfico do âmbito regional ao internacional; baseado em novas tecnologias; intensivo em informação; com uma grande conformação de redes, atores e vínculos com centros de pesquisa, produtores e usuários; aumento do conhecimento codificado e maiores barreiras de inovação à entrada. Vale ressaltar que essas mudanças são graduais e nem sempre são completas, especialmente se tratando de um setor de grande heterogeneidade entre as firmas.

Há muitos aspectos convergentes e divergentes entre as potências tecnológicas no segmento de M&E que são responsáveis pelo bom desempenho do setor a nível mundial, como apresentado no Quadro 4, onde buscou-se sintetizar as principais delas. 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, de diferentes formas (centralizada ou descentralizada), apontam para um protagonismo da atuação do Estado.

O Estado desempenhou e ainda desempenha um forte papel estratégico na conformação e modernização do SSI por meio de políticas industriais, incentivos à inovação e forte comprometimento em financiar projetos de P&D que impulsionaram o desenvolvimento do setor, e ainda são prioridade para garantir a posição de competitividade a nível global. Além disso, o Estado esteve no centro do desenvolvimento do setor de M&E, atuando como um dos principais demandantes dos produtos para outros setores-chave da economia, fomentando o desenvolvimento da cadeia produtiva, bem como por meio da atuação de empresas estatais, sobretudo na China, que se destaca por sua trajetória de *catching-up* industrial e tecnológico em um curto período de tempo, bem como pela estratégia de conquistar a liderança no novo paradigma tecnológico global.

Quadro 4 – Síntese das principais características dos SSI dos líderes mundiais do setor M&E

Elementos SSI	Alemanha	China	Estados Unidos
Estrutura	Composto em sua maioria por PMEs + grandes <i>clusters</i>	Composto em sua maioria por PMEs + grandes <i>clusters</i>	Composto em sua maioria por PMEs + grandes <i>clusters</i>
Concentração de empresas líderes	Alta	Baixa	Alta
Demanda	Nacional e Internacional	Nacional e Internacional	Nacional e Internacional
Redes de interação e cooperação	Forte tradição de cooperação entre governo, indústria, institutos de pesquisa e universidades	Menor interatividade entre indústria e universidade, com algumas relações ainda muito incipientes	Estreita relação entre governo, indústria, institutos de pesquisa, universidades e setor militar
Política Industrial e Tecnológica	Fortemente ativa	Fortemente ativa	Fortemente ativa
Atuação do Estado e Estrutura de Governança	Forte e descentralizada; sistema de governança colaborativo envolvendo governo, indústria e academia	Forte e centralizada; governo desempenha papel diretivo e define claramente as prioridades tecnológicas nacionais e de financiamento para projetos estratégicos como um componente central da estratégia de desenvolvimento econômico do país	Forte e descentralizada; setor privado possui papel importante na definição de prioridades de inovação; governo focando em apoiar a pesquisa básica e criar um ambiente propício para <i>startups</i> e inovação empresarial
Base tecnológica	Avançada, por meio de novas tecnologias digitais, com foco em automação, digitalização, inteligência artificial e C,T&I	Mediana; grandes esforços para aumentar a capacidade inovadora da indústria nacional e alcançar a liderança tecnológica global	Avançada, por meio de novas tecnologias digitais, com foco em automação, digitalização, inteligência artificial e C,T&I
Educação	Investe fortemente na educação técnica e na formação profissional; programas como o sistema dual de educação combinam aprendizado com treinamento prático em empresas, garantindo uma força de trabalho qualificada	Programas educacionais focados em ciência, tecnologia, engenharia e matemática são fortemente incentivados. Além disso, há uma ênfase em atrair talentos estrangeiros e promover o retorno de estudantes chineses que estudaram no exterior	Foco no desenvolvimento de habilidades e capacitação do capital humano; programas educacionais e de treinamento são alinhados com as necessidades da indústria para garantir uma força de trabalho qualificada e inovadora
Fontes de Financiamento e Investimentos em P&D	Públicas e privadas; equilíbrio entre incentivos fiscais para P&D, financiamento para projetos colaborativos de P&D, subsídios governamentais e investimentos privados	O governo é a principal fonte de financiamento para P&D, com grandes investimentos em infraestrutura e desenvolvimento tecnológico diretamente suportados pelo Estado	Públicas e privadas, diversos incentivos fiscais e crédito disponível para empresas que investem em P&D, subsídios governamentais e uma gama de investimentos privados
Enfoque Inovativo	Enfoque em inovações incrementais, melhorando continuamente tecnologias existentes e processos de manufatura	Inovações incrementais e radicais, mas com uma estratégia de alcançar rapidamente a fronteira tecnológica global, combinando inovações incrementais com a adoção e adaptação rápida de tecnologias estrangeiras	Maior foco em inovações radicais e disruptivas, com um ambiente de maior tolerância ao risco e um forte ecossistema de <i>startups</i>
Integração com CGV	Altamente integrada com as CGV, exportando produtos de alta qualidade e tecnologia para todo o mundo	Altamente integrado globalmente, porém, 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	Altamente integrados globalmente, com um foco maior em inovações tecnológicas que são comercializadas globalmente
Propriedade Intelectual	Sistema robusto de proteção de propriedade intelectual, incentivando a inovação ao garantir que inventores e empresas possam proteger e lucrar com suas invenções	Ainda enfrenta desafios referentes à propriedade intelectual; promove políticas que incentivam a transferência de tecnologias estrangeiras para empresas locais, muitas vezes como condição para o acesso ao mercado chinês, como <i>joint ventures</i> e parcerias	Sistema robusto de proteção de propriedade intelectual, incentivando a inovação ao garantir que inventores e empresas possam proteger e lucrar com suas invenções

Fonte: Elaboração própria.

Nos três SSI analisados, 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. Tradicionalmente, o setor possui uma forte dimensão de agrupamento de firmas, sobretudo regional, importante para as empresas inovadoras que buscam tais aglomerações como forma de se inserirem em grupos de mão-de-obra qualificada, partilhar de conhecimento tácito, do desenvolvimento de competências, bem como estarem próximas de grandes usuários e fornecedores. Por outro lado, nos últimos anos, se observa o surgimento de uma nova dinâmica setorial que está a tornar as aglomerações das firmas cada vez mais espalhadas, com redes de interação que vão muito além do nível regional. Nessas tendências surgem parcerias para o desenvolvimento de produtos que alcançam a esfera internacional e a ascensão de multinacionais em um contexto de globalização.

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.

Em um ambiente altamente competitivo, muitas empresas só estão dispostas a aceitar tecnologias e produtos maduros e confiáveis para sobreviver. Logo, é difícil para os institutos de pesquisa científica formar uma situação interativa entre a inovação tecnológica e o desenvolvimento da industrialização. Na China, isso resulta em baixa taxa de conversão de conquistas inovativas e tecnológicas, atualmente cerca de 10%, muito aquém da taxa de conversão de 30% a 40% das conquistas científicas e tecnológicas dos países tecnologicamente desenvolvidos. No entanto, os chineses têm investido nesse aspecto e tentado alcançar a independência tecnológica fabricando seus produtos com tecnologia própria e buscando figurar nas posições mais nobre das cadeias globais de valor.

Haja vista que as condições de produção estão se revolucionando com a digitalização e as inovações tecnológicas da chamada “Indústria 4.0”, verifica-se que todos os três países líderes no setor de M&E priorizam as novas tecnologias digitais, com foco em automação avançada, inteligência artificial e C,T&I. Além disso, apoiam a internacionalização de empresas, como observado por meio da liderança nas exportações do setor me M&E, e tem

investido pesados esforços para manterem sua competitividade e a liderança mundial no segmento.

É importante destacar que pesquisadores, empresas e funcionários ativos no setor de M&E da Alemanha e EUA, lucram com a reputação do país, de suas grandes empresas estabelecidas internacionalmente e o *know-how* global. Os selos de qualidade “*Made in Germany*” e “*Made in the USA*” são reconhecidos há muito tempo como um sinal de excelência e precisão em engenharia em todo o mundo (GTAI, 2022). Por outro lado, embora a China tenha modificado seu *modus operandi* se reafirmando como “fábrica do mundo” e investido cada vez mais em P&D de tecnologia própria, inclusive liderando a produção e as exportações de importantes subsetores, e.g. de máquinas-ferramenta, ainda carrega o peso de um passado de produtos de baixa qualidade e mão de obra abundante pouco qualificada.

Deste modo, embora seja líder nas exportações do setor, a China apresenta baixa concentração de mercado de empresas líderes e marcas conhecidas com influência internacional neste segmento. Por outro lado, os Estados Unidos, Alemanha e Japão há muito compõem as líderes de mercado de vários subsetores de M&E (HUAON, 2021). Além disso, muitas empresas chinesas estão envolvidas em sérias guerras de preços, resultando na redução das margens de lucro e em uma concorrência altamente acirrada. Assim, a China tem lutado para estabelecer suas empresas no *ranking* dos grandes *players* internacionais.

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 do governo 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 subsetores.

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 ensaio 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 (Bertelsmann Stiftung, 2020).

O surgimento de *players* de baixo custo com qualidade crescente está aguçando a concorrência nas indústrias tradicionais do setor de M&E e está pressionando as margens de lucro e os padrões de manufatura existentes. Os mercados fora da Europa e EUA estão se tornando cada vez mais importantes, principalmente os países do leste asiático, para além da China, em que se destacam Coreia do Sul, Taiwan, Singapura e Hong Kong, de modo que as vantagens tecnológicas das empresas alemãs e estadunidenses estão diminuindo em relação aos concorrentes globais, e isso pressiona preços e margens.

É importante ressaltar que SSI bem estabelecidos podem ser superados e o setor de M&E têm vivenciado esse processo de disputa e reorganização da liderança global do segmento. No passado, o subsetor de máquinas-ferramentas experienciou esse processo quando as empresas norte-americanas pioneiras nas tecnologias CNC foram superadas pelas empresas japonesas, que dispunham de um ambiente e um quadro político melhores para terem sucesso na comercialização em larga escala. Da mesma forma, os fabricantes de máquinas têxteis do Reino Unido da década de 1950, que foram superados em capacidades tecnológicas pelos fabricantes italianos do mesmo ramo. Em 2005, Wengel e Shapira estudaram o SI do subsetor de máquinas-ferramenta a partir dos líderes mundiais, que naquele momento eram Alemanha, Japão, EUA e Itália. A China, por sua vez, ainda estava longe de figurar entre os líderes do setor, mas seu desempenho enquanto país emergente e sua capacidade de produção já se destacavam a nível global.

No Plano de desenvolvimento “*Made in China 2025*”, a China descreve a Alemanha como um parceiro desejado. As razões para isso provavelmente são o acesso a tecnologias-chave e aos mercados alemão e europeu, além disso, a China tem buscado implementar medidas que auxiliem na transferência de tecnologia para desenvolver seus próprios produtos. Os efeitos das ambições econômicas e tecnológicas da China e sua crescente influência no mundo estão sendo discutidos cada vez mais com controvérsias. Enquanto o espaço econômico europeu está aberto a empresas chinesas, o acesso ao mercado chinês é severamente restrito. Não obstante, a relação com os EUA é menos amistosa, e ambos os países têm travado uma guerra comercial desde a última década.

Sob essa perspectiva, as empresas alemãs e estadunidenses de alta tecnologia enfrentam um dilema. Por um lado, o mercado chinês é importante para empresas internacionais de alta tecnologia. Embora ainda exista uma lacuna frente às potências tecnológicas globais devido à dependência tecnológica estrangeira em relação ao maquinário de ponta, a China assumiu a liderança no volume de produção e exportações globais do setor de M&E e tem lutado para

ascender nas posições mais nobre das CGV e alcançar também a liderança tecnológica do setor. Por outro lado, existe o medo de perder as próprias vantagens comparativas tecnológicas, essenciais a longo prazo para a manutenção da competitividade, por meio da transferência de *know-how* e tecnologias, que a China, por sua vez, tem se esforçado para alcançar. Assim, Alemanha e EUA, seguidos do Japão, tem lutado para se manterem na vanguarda tecnológica do setor de M&E, que constitui o grande trunfo competitivo contra a liderança produtiva da China.

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. Assim, aqueles que conseguirem acumular maior conhecimento tecnológico, terão vantagem no processo de inovação, sobretudo, pelo fato de ocuparem melhor posição em relação à fronteira tecnológica, bem como nas CGV, além de garantirem melhor retorno econômico proveniente da apropriabilidade do progresso técnico (Dosi, 1982). Por fim, 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; 2003; Malerba; McKelvey, 2018).

CAPÍTULO 3

SISTEMAS SETORIAIS DE INOVAÇÃO: UMA ABORDAGEM DO SETOR DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS BRASILEIRO

3.1 Introdução

A inovação tecnológica desempenha um papel determinante no desenvolvimento econômico e na competitividade industrial das nações no mercado global. No contexto da indústria de M&E, a capacidade de inovar é essencial para responder às demandas de mercados cada vez mais exigentes e para enfrentar o acirramento da concorrência global frente às novas tecnologias. Embora verifique-se algumas iniciativas e propostas de políticas nessa direção, o estágio da difusão das tecnologias mais avançadas no Brasil ainda é baixo e pouco desenvolvido. Além disso, têm-se mostrado bastante tímidas as articulações entre as instituições que vise uma estratégia nacional coordenada para estabelecer uma agenda da Indústria 4.0, bem como a implementação das tecnologias e ferramentas de manufatura avançada.

A importância do setor de M&E é conhecida na literatura devido ao seu papel como difusor de inovações e progresso técnico ao longo da cadeia produtiva, de modo que alguns autores apontam que não há experiência de desenvolvimento econômico bem-sucedida que não tenha incluído o setor de bens de capital como prioritário (Miguez, 2018). O setor de M&E brasileiro não figura entre os líderes mundiais do segmento e a sua participação no valor adicionado na indústria de transformação e na indústria total do país tem apresentado uma trajetória de *falling behind*. Nesse contexto, o Brasil precisa articular uma estratégia de transformação na organização e na dinâmica produtiva e se posicionar rapidamente para assegurar a sobrevivência do setor, bem com retomar o crescimento e resgatar a própria competitividade da indústria.

Diante disso, é importante entender onde o setor de M&E brasileiro se situa frente aos líderes globais, bem como quais características podem ser apreendidas e utilizadas como forma de alavancar o desenvolvimento e a competitividade do setor em nível mundial. Além disso, devido à diferença de maturidade industrial e tecnológica, que configura o hiato tecnológico, o setor de M&E brasileiro possui características e dinâmica setorial distintas e, portanto, será tratado neste ensaio separadamente em relação aos demais.

Sob essa perspectiva, este ensaio tem como objetivo desenvolver uma análise da dinâmica e das especificidades que caracterizam o Sistema Setorial de Inovação do setor de M&E no Brasil e, com isso, traçar uma análise comparativa em relação aos SSI dos países líderes mundiais do setor de M&E, apresentados no ensaio 1.

O estudo se justifica pela necessidade de compreender as características do SSI do setor de M&E no Brasil e identificar as semelhanças e particularidades em relação aos SSI dos líderes do segmento. Logo, os resultados podem proporcionar um direcionamento eficiente que vise orientar ações futuras para aumentar o ritmo de incorporação do progresso técnico e, como resultado, reduzir o hiato tecnológico e aumentar a competitividade internacional das empresas brasileiras de M&E, seja por preço ou por diferenciação tecnológica. Em outras palavras, a análise poderá fornecer considerações capazes de servir como ferramenta para a conformação de políticas públicas e estratégias empresariais que, por sua vez, possam ser replicadas ou adaptadas para a dinâmica brasileira e fortaleça a capacidade inovativa do setor de M&E e da indústria brasileira. Este ensaio, portanto, não apenas amplia o conhecimento acadêmico sobre o tema, mas também fornece subsídios práticos para o desenvolvimento de um setor industrial mais robusto e inovador.

Ademais, o ensaio está organizado em cinco seções, incluindo a presente introdução. A segunda seção apresenta uma revisão de literatura que trata do desenvolvimento da indústria de M&E no Brasil. A terceira apresenta as notas metodológicas deste ensaio. A quarta seção sistematiza a dinâmica e as características do SSI do setor de M&E brasileiro. Por fim, a quinta seção se dedica à discussão dos resultados e das considerações finais deste ensaio.

3.2 Revisão de literatura sobre o desenvolvimento da indústria de M&E no Brasil

O setor brasileiro de M&E experimentou movimentos de um processo de dependência dos produtos estrangeiros em diferentes momentos. Acredita-se que tal processo contribuiu para a conformação da dinâmica produtiva atual, além de aprofundar ainda mais o *gap* tecnológico no setor, haja vista que essa dependência intensificou o relativo retardo tecnológico da indústria de M&E nacional em relação aos países mais desenvolvidos no segmento.

A literatura que trata especificamente do setor de M&E apresenta controvérsias quanto às origens e consolidação do setor no Brasil. Marson (2012) aborda as origens e evolução da indústria de M&E em São Paulo, no período entre 1870 e 1960, bem como a importância do

setor no processo de industrialização. Além disso, o autor analisa os efeitos da Primeira Guerra Mundial e da Crise de 1929 na redução de importações do setor e apresenta dois estudos de caso, de modo a ilustrar que a indústria de M&E teve sua origem no final do século XIX, passou por transformações nas décadas de 1920 e 1930 e se fortaleceu na década de 1940.

Para Guerrero, Fonseca e Arend (2017), a dinâmica institucional do período de industrialização por substituição de importações contribuiu para configurar a especialização do setor em produtos com menor conteúdo tecnológico quando comparados ao demais produtos do mercado internacional e ajudou a definir a configuração atual e propagar a heterogeneidade estrutural que caracteriza o setor, a indústria e a economia brasileira.

A proibição e as precárias possibilidades de importação induziram o aparecimento de gargalos produtivos na indústria que criou condições necessárias à especialização da produção de bens de capital, como os tornos mecânicos convencionais, produzidos por empresas da primeira geração de imigrantes que desenvolveram seus produtos a partir da cópia e adaptação de tecnologia estrangeira através de engenharia reversa (Versiani; Bastos, 1982, p. 14). Do mesmo modo, a reserva de mercado obtida por meio da proteção da concorrência externa, que proibia a importação de M&E com produto nacional similar, gerou demanda suficiente para o crescimento do setor, todavia, poucas empresas desenvolveram capacidade inovativa e o processo foi marcado pela ênfase das empresas na acumulação de capacidade produtiva (Guerrero; Fonseca, 2018).

O Plano de Metas de Juscelino Kubitschek (1956 – 1961) significou um grande salto no processo de industrialização brasileira e transformação da estrutura produtiva nacional, bem como a entrada do Brasil na industrialização pesada. O grande objetivo era a transformação da estrutura industrial e o aprofundamento da articulação vertical das indústrias, de modo a dar um salto no processo industrial, principalmente no que se refere às indústrias de M&E e bens duráveis mais sofisticados. Com maior articulação da indústria que vai ficando mais completa e com processos mais complexos, as metas visavam eliminar os pontos de estrangulamento da economia de modo que a indústria brasileira passasse a ter capacidade endógena de crescimento (Cardoso de Mello, 1982).

Não obstante, as empresas multinacionais detinham uma fatia significativa da matriz industrial brasileira. Após 1956, os setores industriais liderados por empresas estrangeiras também contribuíram para o baixo desenvolvimento da capacidade inovativa das empresas nacionais, pois essas requeriam máquinas-ferramenta com alto conteúdo tecnológico, deslocando assim a demanda por M&E para o mercado externo. Logo, havia grande defasagem

temporal na indústria brasileira em relação às economias mais desenvolvidas, tanto na estrutura da demanda, quanto na capacidade tecnológica da oferta de máquinas-ferramenta. Isso ocorreu devido ao fato de que os usuários e produtores de M&E interagiam no Brasil em um mercado recém internacionalizado por meio de importações, da produção local feita por subsidiárias de empresas estrangeiras, bem como pelos padrões de produção internacionais adotados pelos usuários locais (Guerrero; Fonseca, 2018).

No entanto, a despeito de constar no Plano de Metas (1956 –1961), a indústria de bens de capital no Brasil só se consolidou a partir do II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), sobretudo, a partir das medidas implementadas para incentivar a internalização do setor de M&E, conforme apontado por Lessa (1988, pp.121).

A consolidação da indústria de bens de capital – componente crítico para a mudança do Padrão de Industrialização – foi, por conseguinte, perseguida com firmeza ao longo do período 1974/6: montagem de um padrão de financiamento e capitalização para as empresas do setor, ampliação das linhas de crédito para a comercialização da produção interna, esforço para neutralizar e/ou compensar as vantagens financeiras e tecnológicas dos fornecedores internacionais, estímulo à engenharia de projeto (básica e de detalhamento), disciplina e tentativa de desvio das importações para o mercado interno, ampliação das margens de proteção aduaneira e fiscal, etc. Se houvesse frente de implementação da Estratégia objeto de concentração de atenções, foi o fomento à indústria de bens de capital. Por múltiplas ações o II PND esforçou-se para tratar a vela da libra seu setor predileto (Lessa, 1988, pp.121).

A esse respeito, Morceiro (2019) aponta que durante o II PND houve implantação e expansão de segmentos industriais relevantes à matriz de produção do país, especialmente de bens intermediários e bens de capital (equipamentos de transporte, máquinas e equipamentos mecânicos, elétricos e de comunicações). Deste modo, no II PND, “o objetivo foi completar a estrutura industrial brasileira e criar capacidade de exportação de alguns insumos básicos.” (Suzigan, 1988, p. 9).

Os anos de 1970 foram marcados por turbulências no que tange à esfera internacional, como o colapso do Acordo de Bretton Woods e o primeiro choque do petróleo em 1973, que causou elevação substancial dos preços do principal produto da matriz energética mundial. Diante disso, em 1974, a produção industrial arrefeceu, iniciando uma desaceleração entre 1975 e 1977, agravada pela necessidade de um cenário externo favorável para manter a política expansionista. O crescimento do "Milagre Econômico" (1968 – 1973) acabou por gerar pressões inflacionárias e problemas na balança comercial em decorrência do forte aumento do preço do petróleo, de modo que, para manter os investimentos em infraestrutura e

industrialização, foi necessário que o país recorresse a empréstimos internacionais, aumentando sua dívida externa.

Em resposta aos estrangulamentos internos que foram evidenciados com o choque do petróleo, o Brasil implementou o II PND (1974-1979), com foco em amplos investimentos para transformar a estrutura produtiva e superar desequilíbrios externos, conduzindo o país Brasil à uma posição de potência intermediária no cenário internacional (Carneiro, 2002). O II PND aumentou a participação relativa dos produtos manufaturados brasileiros no mercado doméstico, melhorou a qualidade das M&E para o atendimento da demanda local, que registrou taxas de crescimento superiores à produção industrial, e quadruplicou a produção de bens de capital, especialmente os bens de capital seriados (Vermulm, 1995; Iacono, 2015).

Ao longo da década de 1970 as empresas de M&E buscaram aproximar-se do padrão tecnológico internacional, sendo assim, houve um amadurecimento tecnológico no setor, em especial no subsetor de máquinas-ferramenta, com a fabricação de equipamentos de maior qualidade e sofisticação tecnológica (Iacono, 2015). Assim, no início da década de 1980, o Brasil apresentava uma indústria de M&E diversificada e um pouco mais sofisticada, para além disso, havia conseguido reduzir o *gap* tecnológico do setor devido a um processo de *catching-up* ocorrido entre 1955 e 1980 (Arend; Fonseca, 2012). Por outro lado, o trabalho de Morceiro e Guilhoto (2019) evidencia que os setores manufatureiros começaram a perder participação no PIB em anos e ritmos diferentes da manufatura agregada. O setor de M&E começou a perder participação desde meados da década de 1970. Além disso, o setor enfrentava problemas de competitividade internacional devido à excessiva verticalização das empresas, à produção em escalas insuficientes em alguns segmentos e à uma defasagem na adoção de tecnologias de ponta comparado aos padrões globais (Guerrero; Fonseca, 2018).

Segundo Arend e Fonseca (2012), a reversão da convergência e aumento do hiato tecnológico a partir da década de 1980 se deve em grande medida aos processos de internacionalização e abertura econômica, bem como pelo controle de setores-chave por empresas multinacionais. Somado a isso, em meados daquela década, com a reserva de mercado para fabricantes de produtos de informática nacionais instituída pela Política Nacional de Informática (PNI) em 1984, Lei n.º 7.232, que vigorou até 1992 e foi revogada com a abertura econômica, atrasou-se a integração tecnológica entre a indústria de bens de capital e a eletroeletrônica e robótica, bem como a adoção de sistemas CAD/CAM (Araújo, 2011).

Durante a década de 1990, as reformas estruturais e o processo de abertura econômica criaram um ambiente competitivo distinto para as empresas do setor de M&E, que, aliadas às

mudanças no paradigma tecnológico, impulsionaram uma reestruturação produtiva significativa. Esse novo cenário de competição global diminuiu a competitividade dos fabricantes locais, levando a um aumento das importações. Além disso, resultou em uma maior concentração de mercado, onde somente fabricantes de M&E, tanto nacionais quanto estrangeiros, com maiores capacidades tecnológicas e financeiras, além de instalações produtivas que favoreciam economias de escala, conseguiram se consolidar e prosperar.

Apesar das fragilidades enfrentadas pela indústria nacional com a abertura comercial, Guerrero e Fonseca (2018) também destacam que a abertura econômica trouxe alguns efeitos positivos para o setor de M&E, haja vista que a importação de equipamentos, peças e componentes mecânicos e eletrônicos possibilitou aumentar a qualidade e o desempenho das MF/CNC com a diminuição de seus custos de produção e dos preços. No entanto, a abertura da economia expôs o setor à concorrência sistêmica, i.e., uma competição generalizada em termos de preços, padrão de qualidade, eficiência produtiva, concorrência tecnológica, além da concorrência com marcas reconhecidas internacionalmente, diminuindo a competitividade dos produtores locais e favorecendo as importações (Chudnovsky; Erber, 1999; Erber; Vermulm, 1993). Assim, o processo de abertura comercial das economias possibilitou a substituição de cadeias produtivas constituídas localmente por cadeias de fornecedores e representantes especializados, atendendo um mercado que se tornava mais oligopolizado em escala global.

Até a década de 1990, a pauta de importações era complementar à produção nacional, mas após a abertura, uma gama de produtos importados passou a competir com os produtos domésticos, evidenciando deficiências na cadeia de fornecedores nacionais (Araújo, 2011). A esse respeito, Santos e Piccinini (2008) advogam que a continuidade da conjuntura macroeconômica desfavorável, aliada ao processo de abertura comercial e à elevada liquidez internacional, concomitante com a sobrevalorização cambial ocorrida na segunda metade da década, a partir do Plano Real, contribuiu para reduzir o custo das M&E importados em termos de preços e financiamento. Este cenário resultou no aumento da concorrência externa em um mercado já pouco aquecido.

A demanda foi fragmentada e desviada para o exterior em busca de produtos de elevado conteúdo tecnológico, o que retrata a dependência externa do país no setor industrial, em especial, no setor de bens de capital, e instituiu-se um regime de abertura comercial em um contexto industrial de firmas nacionais com baixa competitividade em relação às internacionais. Tal cenário expôs as empresas nacionais que contavam com baixo desenvolvimento da

capacidade inovativa em um mercado internacionalizado, configurando sua heterogeneidade tecnológica e competitiva que perdura até os dias atuais.

As empresas de pequeno porte e com pouca diversificação de produção, sobretudo os fabricantes de bens seriados, foram as mais afetadas, muitas saindo do mercado ou buscando novos ramos, mas sem sucesso frente ao novo regime de concorrência. A partir disso, Araújo (2011) afirma que “o fato é que o Brasil não foi capaz de desenvolver uma indústria de bens de capital que estivesse no vértice do sistema nacional de inovação, fonte geradora e difusora de inovações para o resto da economia brasileira” (Araújo, 2011, p. 420).

Nesse cenário, embora as importações de M&E proporcionem oportunidades de transferência tecnológica incorporada advinda da indústria dos países desenvolvidos, sem a devida articulação, nos países menos desenvolvidos, este setor torna-se cada vez mais atrofiado. Isso ocorre devido ao fato de que a dependência de produtos estrangeiros acaba por enfraquecer o setor de M&E dos países menos desenvolvidos, limitando sua capacidade de difundir novos conhecimentos tecnológicos e progresso técnico para os demais segmentos da economia.

Isto posto, Guerrero e Fonseca (2018) apontam que devido à heterogeneidade dos esforços inovativos, tanto entre os fabricantes de M&E, quanto entre os usuários e instituições, bem como a fraca interação estrutural entre eles, que tem condicionantes históricos, no Brasil configuram-se duas dinâmicas inovativas no setor de M&E, sendo elas:

- I) um grupo de empresas entre as líderes e seguidoras que investem continuamente em P&D complementado por meio de licenciamento e o desenvolvimento de produto. Este grupo também contempla empresas estrangeiras que têm acesso aos conhecimentos de outras empresas por meio das relações estabelecidas entre produtor-usuários;
- II) e outro grupo de empresas constituído por estratégias tecnológicas passivas e predominantemente imitativas, normalmente, com baixos esforços inovativos formais.

Após um período de perda de dinamismo e profunda reestruturação produtiva, na década de 1990, para enfrentar a competitividade internacional, o setor de M&E beneficiou-se do ciclo de investimentos e redução da volatilidade econômica a partir do segundo semestre de 2003 até o segundo semestre de 2008. Durante esse período, o setor foi escolhido como um dos prioritários da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), entre 2004 e 2007, devido ao seu papel difusor de progresso técnico, bem como devido à necessidade de transcender suas fragilidades (ver Além e Pessoa, 2005). Mesmo com as medidas

implementadas pelo programa, o setor continuava a enfrentar grande distanciamento tanto em termos produtivos, quanto em aspectos inovativos, em relação às economias mais inovadoras do mundo no setor, que naquele momento era liderado por Alemanha e EUA.

O trabalho de Strachman e Avellar (2008) buscou identificar a existência de padrões de desenvolvimento tecnológico no setor de bens de capital, no Brasil, considerando as estratégias de comportamento das empresas líderes, nacionais e internacionais. Os autores argumentam que os setores de bens de capital mecânicos e elétricos, inovações incrementais são realizadas com bastante frequência pelas empresas instaladas no país, sejam elas nacionais ou estrangeiras. Não obstante, as empresas nacionais que possuem estratégias de exportação, encontram-se defasadas tecnologicamente em relação a seus concorrentes internacionais, portanto, acabam se especializando no fornecimento de máquinas de menor grau tecnológico, denominadas máquinas de “segundo escalão” ou “segunda geração”, em relação àqueles competidores. Nessa direção, Sabbatini *et al.* (2009) afirmam que, pelo fato desse setor produzir, especialmente, bens de tecnologia madura, as barreiras à entrada são relativamente baixas e a concorrência entre produtores se dá prioritariamente via preços, que, por sua vez, faz as economias de escala um importante fator competitivo.

Sob essa perspectiva, observa-se que o setor brasileiro de M&E possui um dinamismo relativamente lento, quando comparado com os países líderes, uma vez que, modifica muito vagorosamente seus produtos e processos. Tais características apresentam-se devido aos altos valores dos bens fabricados e os custos de um mal funcionamento deles, sobretudo, no caso dos bens de capital sob encomenda, mais caros e de maior demora para uma eventual reposição (Strachman; Avellar, 2008). Somado a isso, vale ressaltar que, no processo de evolução industrial, a microeletrônica se estabeleceu como base do atual modelo técnico-econômico. Entretanto, no Brasil, a coexistência de máquinas eletromecânicas e máquinas de comando computadorizado indica, claramente, que a base eletrônica não está plenamente integrada à base mecânica (Erber; Vermulm, 2002 *apud* Miguez; Willcox; Daudt, 2015, p. 314).

Miguez, Willcox e Daudt (2015) reforçam aspectos evidenciados em outros trabalhos ao analisar o desempenho e os desafios enfrentados pela indústria de bens de capital no Brasil entre 2000 e 2012, incluindo questões de competitividade, inovação e infraestrutura. Segundo os autores, mesmo as empresas líderes nacionais investem pouco em P&D, quando comparadas às firmas semelhantes em países avançados. Ao mesmo tempo, outra deficiência das empresas nacionais refere-se aos elos bastante incipientes e informais estabelecidos com os usuários e fornecedores do setor, somado ao fato de que carecem, sobretudo, de relações formais 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, com um grande obstáculo para funcionar de modo mais satisfatório como difusor de tecnologia para o resto da economia.” (Miguez; Willcox; Daudt, 2015, p. 315).

No mesmo sentido, Iacono (2015) busca analisar os principais elementos determinantes internos e externos para o acúmulo de capacidade tecnológica em empresas do setor de bens de capital no Brasil, por meio de um estudo qualitativo, junto a 44 empresas do setor de bens de capital mecânico, localizadas na região Sudeste do Brasil. Segundo o autor, em todas as dimensões analisadas as características apresentadas condicionam as empresas a uma baixa competitividade, seja por preço ou por diferenciação tecnológica. Portanto, do ponto de vista interno, é imprescindível que as empresas se engajem em processos contínuos de aprendizagem para a construção e acúmulo de sua capacidade tecnológica. Por outro lado, do ponto de vista externo, as interrupções do ciclo de aprendizagem, determinadas pelas flutuações do crescimento econômico, contribuem para a ruptura da sequência evolutiva do processo de acúmulo de capacidade tecnológica, bem como nos investimentos em inovação e P&D (Iacono, 2015).

No que tange aos aspectos inovativos, mais recentemente alguns trabalhos têm buscado tratar da inovação tecnológica no setor em estudo. O trabalho de Almeida e Botelho (2020) visa analisar os aspectos que concernem à evolução da inovação tecnológica no setor brasileiro de M&E e compara a evolução das atividades inovativas das empresas que foram beneficiadas *vis-à-vis* as não beneficiadas pelos programas de apoio do governo à inovação. Os resultados obtidos por meio da PINTEC e de tabulação especial elaborada pelo IBGE indicam que houve efeitos positivos das políticas industriais e de C,T&I dos anos 2000 para o setor de M&E. Deste modo, as autoras pontuam que as atividades inovativas das empresas do setor analisado foram potencializadas pelos diversos instrumentos de apoio do governo e evoluíram favoravelmente em comparação às empresas não beneficiadas.

O artigo de Giovanini, Pereira e Schindler (2024) busca verificar se os países com maior participação no *market-share* do setor de M&E vislumbram uma trajetória de aumento na participação das atividades de *Knowledge Intensive Business Services* (KIBS), Serviços de Negócios Intensivos em Conhecimentos, bem como se o Brasil perdeu relevância internacional e se utiliza poucos insumos oriundos do ramo de KIBS. Os resultados mostram que o setor de M&E exibe elevada integração vertical e baixa integração com atividades de KIBS. Logo, por um lado, existe espaço para o avanço das tecnologias digitais, as quais podem contribuir para o

aumento na produtividade. Por outro lado, os resultados indicam que o setor tende a adotar estratégias de integração vertical para proteger os seus segredos industriais, uma vez que se encontra na vanguarda tecnológica.

As evidências encontradas para o Brasil corroboram o argumento de que o país não conseguiu completar o seu processo de industrialização, sendo o setor de M&E um exemplo dessa limitação. Os resultados evidenciam as dificuldades em manter um processo endógeno e autodeterminado de crescimento econômico, uma vez que aumentos na sua taxa de crescimento resultam em aumento nas importações de M&E, o que o faz esbarrar na sua restrição externa (Giovanini; Pereira; Schindler, 2024).

Na mesma direção, Labrunie (2024) investiga o envolvimento da indústria brasileira de M&E com as *Digital Production Technologies* (DPTs), Tecnologias Digitais de Produção, e as barreiras para seu desenvolvimento e integração por meio de uma sondagem e entrevistas semi-estruturadas com gestores de empresas. A pesquisa aponta para as lacunas em infraestrutura digital e as dificuldades enfrentadas pelas empresas brasileiras para acessar fontes de financiamento e recrutar trabalhadores com as habilidades necessárias. O artigo conclui que o aspecto de fusão tecnológica das DPTs intensifica a importância da colaboração governo-indústria-academia, a necessidade de habilidades multidisciplinares dos trabalhadores, e a necessidade de implementar sistemas de produção completos em vez de soluções fragmentadas. Também mostra que o Brasil possui um forte ecossistema com capacidades relacionadas às DPTs que podem ser alavancadas. No entanto, identifica-se que as políticas do governo brasileiro até o momento têm sido insuficientes para promover uma transformação digital fundamental das empresas brasileiras.

3.3 Notas metodológicas

Este ensaio tem como objetivo analisar o SSI do setor de M&E brasileiro, com o intuito de identificar as características intrínsecas a esse sistema e traçar uma análise comparativa em relação aos SSI dos líderes mundiais do setor, analisados no primeiro ensaio. Para tanto, realizou-se um estudo exploratório-descritivo, de abordagem qualitativa, bem como uma pesquisa bibliográfica, documental e estudo de caso que concerne à temática de inovação tecnológica e SSI de M&E brasileiro.

A pesquisa bibliográfica foi conduzida a partir da base teórica sobre inovação tecnológica e Sistemas de Inovação no contexto das transformações econômicas capitalistas, que fornecem o referencial necessário para compreender as dinâmicas de inovação no setor de M&E brasileiro.

A pesquisa eminentemente documental foi realizada por meio de informações e dados oficiais disponibilizados publicamente. Os dados coletados incluíram informações sobre a estrutura do sistema de inovação, os agentes envolvidos, os conhecimentos e tecnologias utilizados, as políticas públicas adotadas, e a dinâmica desse sistema.

Para caracterizar o panorama geral do sistema de inovação em análise, os dados foram obtidos a partir da Pesquisa Industrial Anual (PIA), Pesquisa de Inovação (PINTEC), Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), Sistema de Contas Nacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Banco Central do Brasil (BCB), Secretaria de Comércio Exterior (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços - SECEX/MDIC), Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ) e do United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN COMTRADE). É importante ressaltar que, na PINTEC, a fabricação de M&E obedece a divisão 28 da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 28) e a classificação 84 no UN COMTRADE. Uma vez apresentadas as notas metodológicas de pesquisa deste ensaio, a próxima seção abordará uma análise comparativa da dinâmica e das características dos SSI do setor de M&E brasileiro.

Uma vez apresentadas as notas metodológicas deste ensaio, a próxima seção apresentará uma análise da dinâmica e das características do SSI do setor de M&E brasileiro.

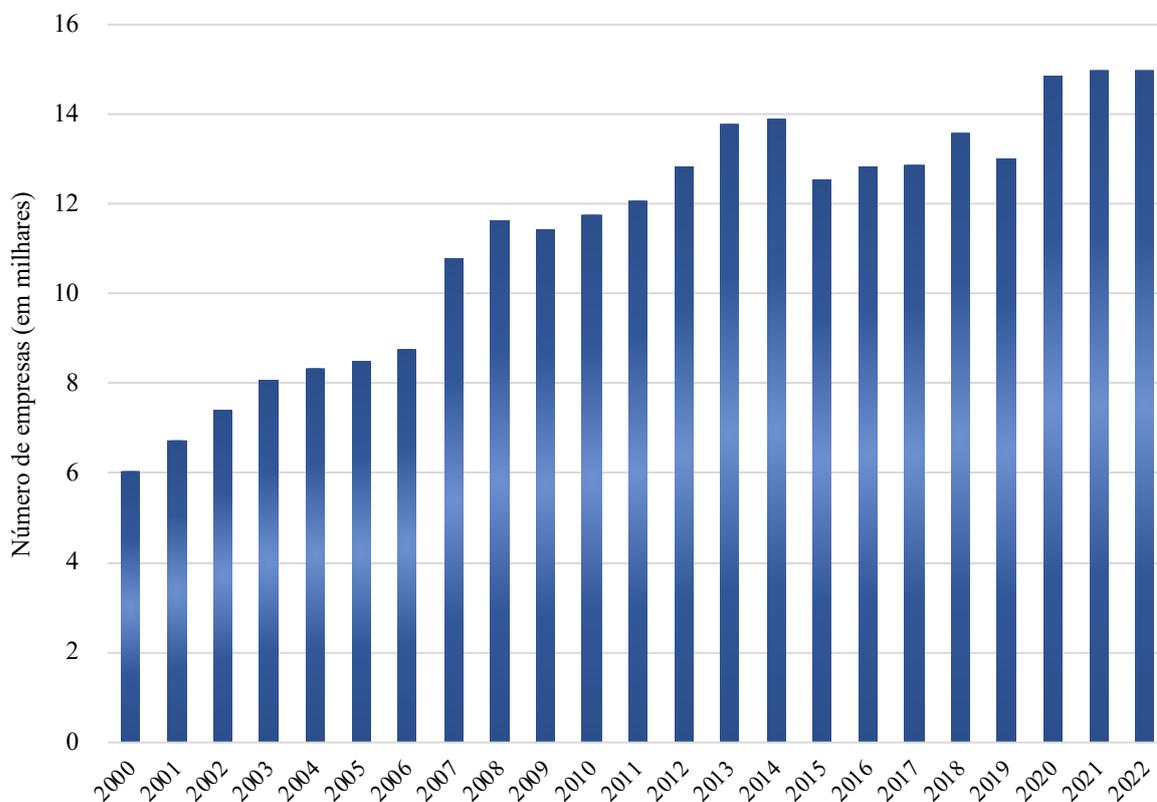
3.4 Sistema Setorial de Inovação do setor de M&E brasileiro

Esta seção pretende caracterizar o SSI do setor de M&E brasileiro visando identificar as características específicas deste sistema em termos de estrutura produtiva e organização do setor, seus agentes heterogêneos e a formação de redes, as características das atividades inovativas, demanda doméstica e internacional, e por fim, um apanhado sobre as políticas industriais e tecnológicas, bem como os incentivos à inovação que tiveram impactos diretos neste setor brasileiro a partir dos anos 2000.

3.4.1 Estrutura produtiva e organização

A indústria brasileira de M&E registrou, em 2022, cerca de 14.959 empresas predominantemente PMEs (Brasil, 2024a). Entretanto, devido à grande heterogeneidade, o setor é composto por estabelecimentos de pequeno, médio e grande portes, que, por sua vez, segundo os dados da PIA (2024), empregam mais de 424 mil funcionários diretos e, de acordo com Abimaq (2024), geram mais de dois milhões de empregos indiretos na cadeia produtiva que são induzidos por sua demanda. O número de empresas do setor apresentou uma trajetória de aumento entre os anos 2000 e 2022, saltando de 6.029 para 14.959 empresas nos mais diversos ramos que o configuram (Gráfico 14). 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.

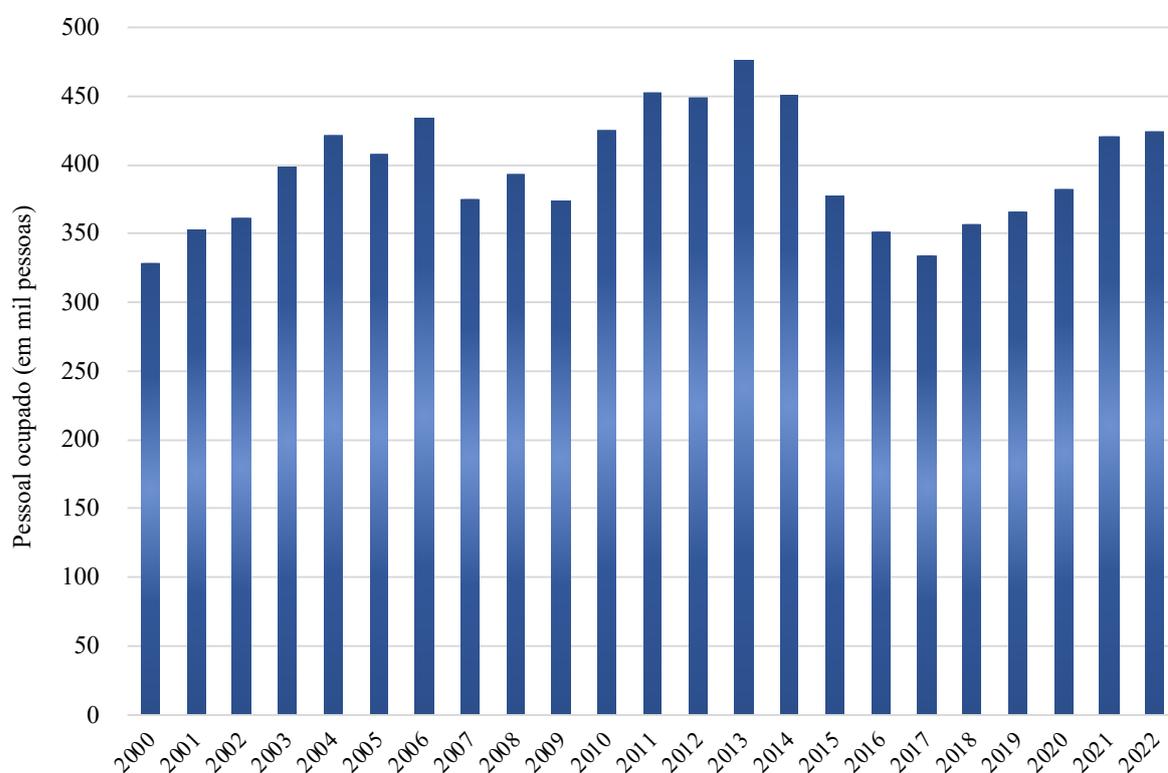
Gráfico 14 – Número de empresas da indústria de M&E brasileira no período entre 2000 – 2022 (em milhares)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA), Brasil (2024a).

O quadro de pessoal ocupado do setor de M&E no Brasil obteve substancial aumento de 45% no período de 2000 – 2013, resultando no crescimento de 328.172 pessoas ocupadas, em 2000, para 475.940 pessoas ocupadas diretamente, em 2013. Não obstante, como pode ser observado por meio do Gráfico 15, desde 2013, quando teve início a queda de faturamento do setor, foram eliminados mais de 140 mil postos de trabalho (PIA, 2024). Somente a partir de 2018 o setor retomou o crescimento e melhora no quadro de pessoal ocupado, particularmente, devido ao aumento da produção e das vendas, sobretudo, direcionadas ao mercado externo.

Gráfico 15 – Pessoal ocupado da indústria de M&E brasileira no período entre 2000 – 2022 (em mil pessoas)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA), (2024a).

Outro fator importante que merece ser destacado é que, embora ao longo dos anos o quadro de pessoal ocupado tenha apresentado tendência de aumento, com exceção dos momentos de queda acentuada marcados pelas recessões, um dos principais gargalos do setor consiste na dificuldade de conciliar o volume de mão de obra necessária às exigências crescentes por qualificação. Deste modo, a baixa qualificação da mão de obra local acaba por exigir das empresas que possuem recursos para tanto, a alocação de profissionais estrangeiros, ou de suas matrizes no caso de multinacionais que operam no Brasil, para implementar projetos de elevado padrão técnico.

Como descrito anteriormente, o setor de M&E possui uma grande heterogeneidade estrutural que, assim como na indústria brasileira, está presente nas discussões acerca da baixa competitividade. No contexto brasileiro, essa heterogeneidade é marcada pela presença significativa de empresas de pequeno porte¹⁵ que são, em geral, menos produtivas, possuem menos recursos e menor capacidade de inovação.

O Gráfico 16 apresenta a evolução do quadro de empregos formais da indústria brasileira de M&E discriminados em percentual de empregos por porte, entre os anos de 2006 e 2022. Os dados mostram que há grande discrepância na distribuição do emprego no setor decorrente de cada classificação do tamanho das empresas. Haja vista que o setor é formado predominantemente por PMEs, estas concentram a maior parcela de empregados ao longo de todo o período. No entanto, os resultados mostram que, apesar do efeito da recessão doméstica que causou queda generalizada nos indicadores no ano de 2016, as empresas de grande porte apresentaram tendência de aumento do número de empregados. Nos anos de 2006 e 2008, as pequenas empresas do setor concentravam o maior número de empregados, todavia, estas apresentaram tendência de queda e as médias empresas tomaram a dianteira, chegando a registrar 132.616 empregados, em 2014, i.e., 32,5% da participação no total de empregos.

No acumulado, as empresas de pequeno porte e, sobretudo, as microempresas apresentaram tendência de queda na participação total de empregados no setor de M&E. Esse panorama reforça os achados da literatura¹⁶ que afirma que firmas menores, muitas vezes, possuem menor liquidez financeira que é intensificada pela dificuldade de acesso a recursos externos e menor capacidade de financiamento interno, resultando em grandes restrições de recursos necessários para investir em P&D. Somado a isso, frequentemente enfrentam maiores dificuldades para alcançar economias de escala, o que reduz sua eficiência produtiva em comparação com empresas maiores.

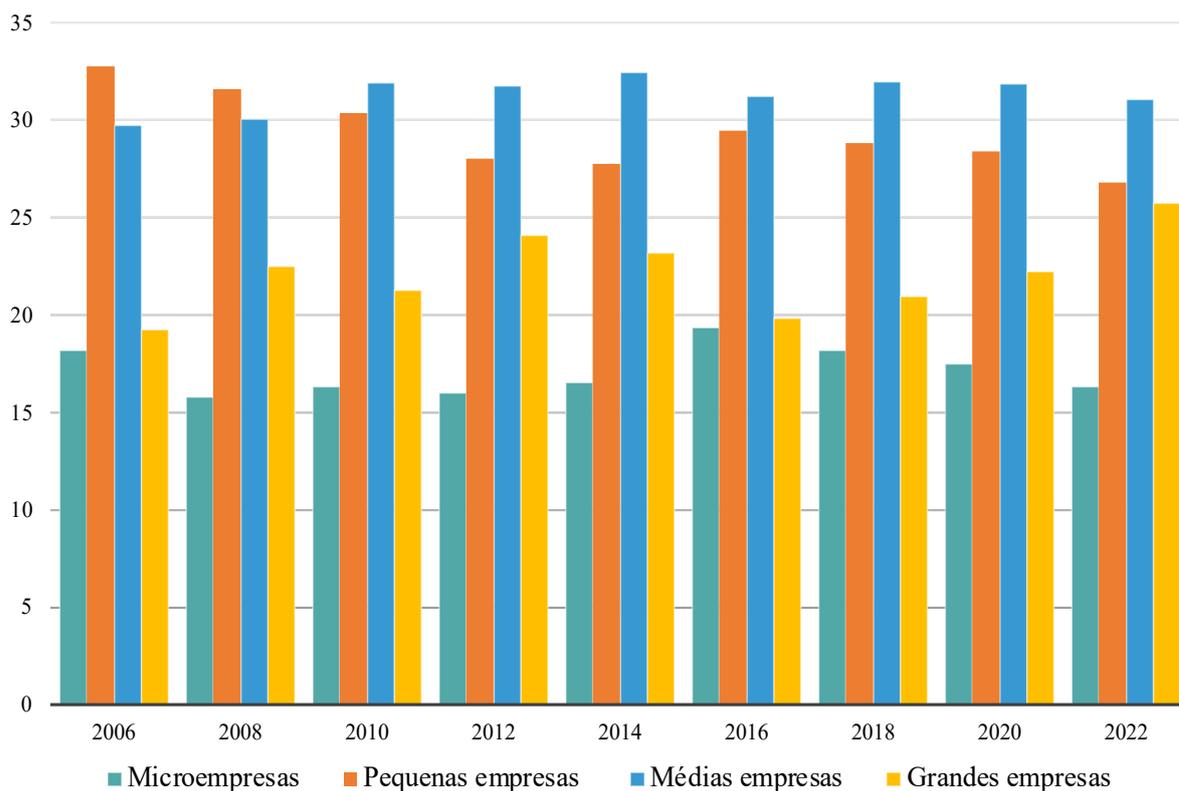
Por outro lado, as empresas de grande porte possuem maior liquidez financeira e facilidade de acesso a recursos externos e internos para investimento em P&D. Além disso, as grandes empresas contam com um leque maior de estratégias de diversificação e projetos

¹⁵ Para se manter a comparabilidade internacional e flexibilizar o número das classes de tamanho, o Manual de Oslo recomenda a seguinte classificação das unidades estatísticas para pesquisas sobre inovação por tamanho das firmas: empresas com 10 a 49 empregados, 50 a 249 empregados e 250 empregados ou mais. No Brasil, as empresas dos setores da indústria são classificadas pelo SEBRAE da seguinte maneira: até 19 pessoas ocupadas como microempresa, de 20 a 99 pessoas ocupadas como pequena empresa, de 100 a 499 pessoas ocupadas como média empresa e com 500 ou mais pessoas ocupadas como grande empresa (SEBRAE, 2015, p.23). Para fins de análise, nesta pesquisa, os dados da RAIS serão agrupados conforme a classificação utilizada pelo SEBRAE.

¹⁶ A esse respeito ver os trabalhos seminais de Schumpeter (1939;1942); Penrose (1959) e Comanor (1967) que mais tarde foram reafirmados por Cohen e Kepler (1992); Scherer e Harhoff (2000); Scherer; Harhoff e Kukies (2000); Botelho; Maia; Pires (2012).

capazes de espriar a incerteza inerente à atividade inovativa (Botelho; Maia; Pires, 2012). Em geral, essas firmas possuem maior acesso às tecnologias avançadas e métodos modernos de produção, o que impacta diretamente na capacidade de inovar e de competir tanto no mercado doméstico quanto no internacional.

Gráfico 16 – Evolução da participação do emprego por porte das empresas da indústria brasileira de M&E no período entre 2006 – 2022 (em %)



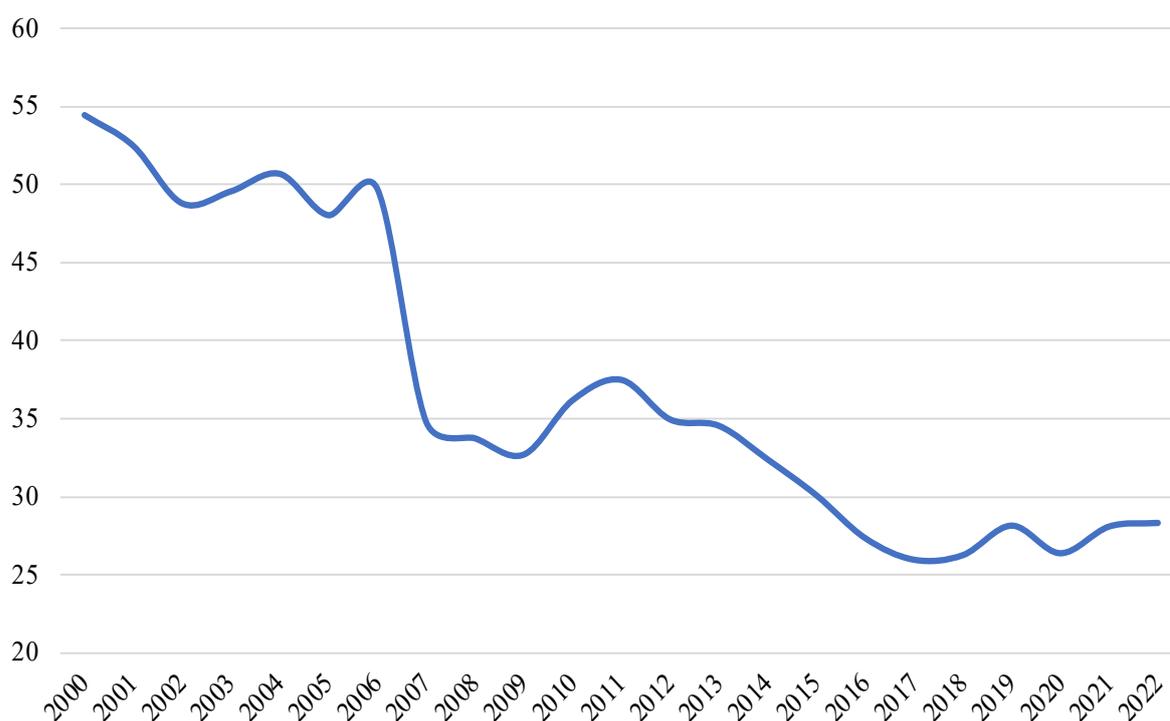
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), Brasil (2024c).

Complementarmente, o Gráfico 17 apresenta a evolução do tamanho médio das firmas do setor brasileiro de M&E, no período entre os anos 2000 e 2022. Este indicador é obtido por meio da divisão do número de pessoal ocupado pelo número de empresas do segmento, assim, obtém-se a média de empregados por empresa. Tal indicador é útil para avaliar a densidade de emprego dentro de um setor ou da economia como um todo. Os dados mostram que o setor tem apresentado forte tendência de queda no tamanho médio das firmas ao longo do período.

Um resultado de tamanho médio elevado pode indicar que o setor é composto por empresas maiores ou que cada empresa possui uma grande capacidade de empregar trabalhadores. Por outro lado, um resultado de tamanho médio baixo pode sugerir que o setor é composto, principalmente, por pequenas empresas ou apresenta tendência de aumento de

PMEs, e/ou que as empresas têm uma estrutura mais enxuta em termos de pessoal ocupado. Apesar do setor ser formado predominantemente por PMEs, como mostra Gráfico 16, apresentado anteriormente, evidenciou que as empresas de médio e grande portes apresentaram tendência de aumento do número de empregados nos últimos anos e as pequenas empresas, por sua vez, apresentaram tendência de queda.

Gráfico 17 – Tamanho médio das firmas da indústria de M&E brasileira no período entre 2000 – 2022



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA), Brasil (2024a).

É importante ressaltar que a média de empregados por empresa é um indicador multifacetado que pode ter várias causas subjacentes a depender do contexto econômico, portanto, necessita-se de uma análise minuciosa para entender quais fatores estão impulsionando as mudanças demonstradas pelos dados. Deste modo, outros elementos podem ser sugeridos como responsáveis pelo impacto acentuado na redução do tamanho médio das firmas do setor nesse período, a saber:

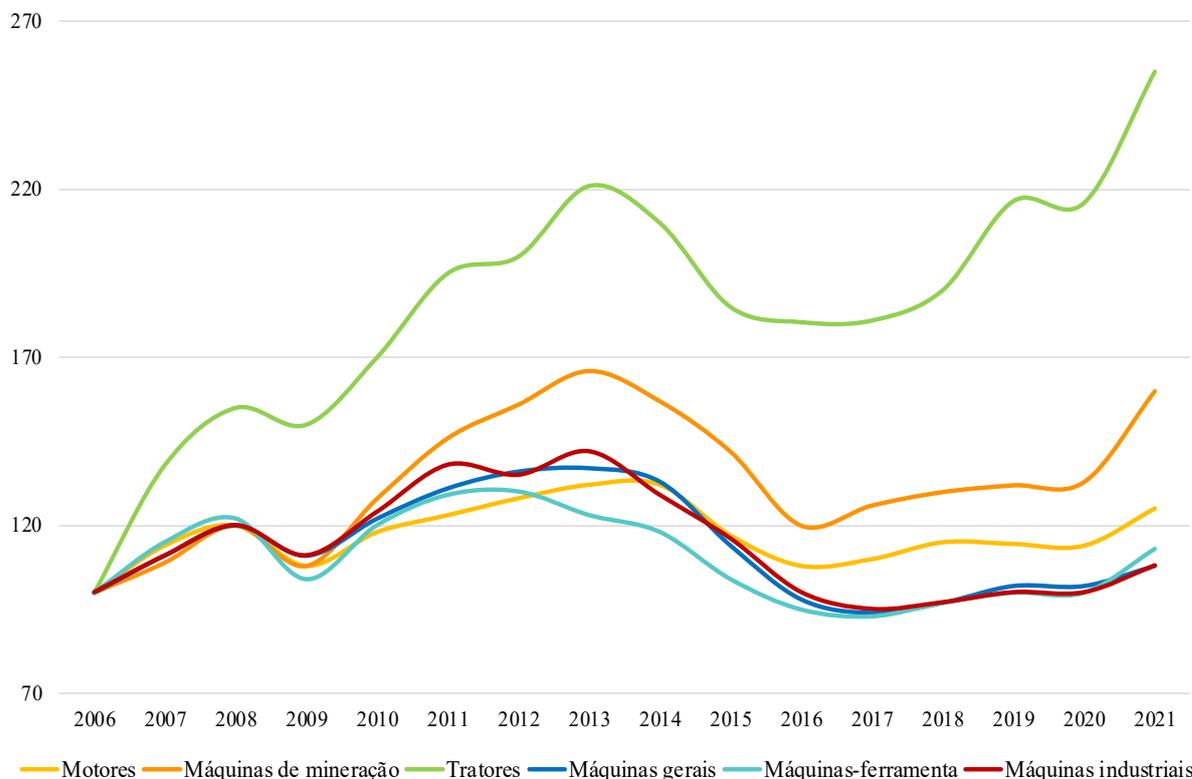
- I) Advento de crises econômicas ou restrições financeiras: os desafios econômicos podem resultar na redução contínua da média de empregados por empresa devido ao corte de postos de trabalho para reduzir custos e se manterem competitivas;

- II) Avanço de novas tecnologias: a diminuição do tamanho médio das firmas pode ser um reflexo da implementação de novas tecnologias e processos automatizados capazes de aumentar a eficiência produtiva e reduzir os custos e, como resultado, pode reduzir do quadro de pessoal ocupado;
- III) Aumento das importações: haja vista que as empresas necessitam de mão de obra para produzir seus produtos, em alguns casos, se estas decidem importar determinadas M&E em vez de produzi-los internamente, podem ocasionar queda na média de empregados por empresa devido à redução do quadro de pessoal ocupado. Isso ocorre pelo fato de que as fábricas nacionais necessitariam de menos funcionários, que antes eram alocados na linha de produção;
- IV) Descentralização do trabalho: as firmas podem estar terceirizando funções que anteriormente eram realizadas internamente, reduzindo o número de pessoal ocupado em empregos diretos ou também podem estar implementando formas de trabalho flexíveis, como contratos temporários, para reduzir a necessidade de grandes quadros permanentes de funcionários;

O Gráfico 18 apresenta a evolução dos dados de emprego desagregados por subsetor. A análise mostra que os subsetores de tratores e máquinas para mineração, embora tenham sofrido os efeitos da crise econômica de 2008 e da crise doméstica entre 2013 e 2016, cresceram acima da média dos demais. Ambos apresentaram uma tendência de aumento a partir de 2009, diferente dos demais, que apresentaram baixo crescimento a partir daquele ano e, mais tarde, em 2013, apresentaram queda brusca e acentuada 2016, seguida de baixa recuperação até o ano de 2021.

Com foco nos dois subsetores em destaque, verifica-se que no ano de 2016, o de máquinas de mineração retornou quase ao patamar do pós-crise de 2008, e até 2021 ainda não havia recuperado o patamar do maior desempenho na série, registrado em 2013. Por outro lado, verifica-se que, apesar dos adventos enfrentados, ao longo de todo o período o aumento nos empregos do setor é puxado pelo subsetor de tratores, máquina agrícola convencional mais utilizada nas atividades agrárias. O melhor desempenho do subsetor de tratores em relação aos demais nos faz indagar em que medida isso se relaciona ao processo de desindustrialização enfrentado pelo Brasil nas últimas décadas, bem como à especialização produtiva regressiva em atividades de menor conteúdo tecnológico.

Gráfico 18 – Número de empregados da indústria brasileira de M&E por subsetor, no período entre 2000 – 2021 (Número-índice 2006 = 100)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Relação Anual de Informações Sociais, (RAIS) Brasil, (2024c).

De modo geral, a desindustrialização pode ser definida como um declínio absoluto ou queda sustentada da participação da indústria de transformação no PIB e no emprego (Tregenna, 2009). Nos últimos anos tem-se observado um intenso debate acerca de um processo de desindustrialização prematura na economia brasileira *vis-à-vis* a perda relativa de importância da indústria de transformação no PIB, bem como a tendência de uma trajetória *falling behind* (Nassif; Feijó; Araújo, 2013; Rodrik, 2016). Desde as décadas de 1980 e 1990, o Brasil começou a experimentar uma notável redução na contribuição do setor industrial no PIB desencadeando um debate de que este processo esteja ocorrendo, tanto em termos de emprego como de produção. Embora seja um tema amplamente discutido, ainda não há um consenso na literatura em relação ao tipo de desindustrialização e, sobretudo, suas causas (Cano, 2012; Hiratuka; Sarti, 2017; Dosi; Riccio; Virgillito, 2021).

Embora o processo de desindustrialização sofrido pelo Brasil nos últimos anos seja um elemento imprescindível a ser considerado na caracterização da dinâmica do setor de M&E brasileiro, esta pesquisa não pretende aprofundar o debate acerca desse processo. A questão da desindustrialização no Brasil tem sido um tema amplamente debatido a partir de diferentes

abordagens teóricas, tanto no meio acadêmico como para além dele, como na esfera pública e privada, e possui trabalhos mais completos e aprofundados sobre esse tema.

O debate sobre um processo de desindustrialização da economia brasileira num contexto de “doença holandesa”, também conhecida na literatura como a “maldição” dos recursos naturais, acompanhado de uma tendência de reprivatização da agenda exportadora concentrada em *commodities* agrícolas e minerais, está presente em vários estudos. Em casos como este, destaca-se que estruturas econômicas concentradas em setores primários em meio a um contexto de aumento dos preços das *commodities* e de valorização cambial podem resultar em um processo de especialização das exportações em produtos intensivos em recursos naturais (Bresser-Pereira; Marconi, 2008; Oreiro; Feijó, 2010). Esta condição pode tornar os produtos dos setores de bens manufaturados menos competitivos internacionalmente e culminar na retração da indústria nacional, gerando desemprego e menores taxas de crescimento econômico.

O último *boom* nos preços das matérias-primas (2000 – 2013) moldou a América Latina de importantes maneiras (Schorr, 2019). Este período foi marcado por um aumento substancial nos preços internacionais das *commodities*, o que beneficiou o Brasil, dada a sua rica base de recursos naturais. O aumento das receitas de exportação contribuiu para acelerar o crescimento econômico e ajudou a financiar projetos de infraestruturas e programas sociais. Contudo, houve certa dificuldade em transformar esses ganhos em desenvolvimento produtivo de forma sustentável com a disseminação do progresso técnico.

Ao mesmo tempo, o *boom* trouxe consequências preocupantes, pois impulsionou o aprofundamento da dependência de um modelo de crescimento econômico baseado na apropriação de recursos naturais, vulnerável às flutuações dos preços internacionais e aos choques externos, em redes de produção pouco diversificadas e inserção internacional subordinada, conceituada como neoextrativismo (Gudynas, 2009).

O setor de M&E constitui um dos 24 setores da indústria de transformação e representa, aproximadamente, cerca de 5% do valor adicionado total dessa indústria, como apresentado na Tabela 1. Logo, o debate sobre um processo de desindustrialização na economia brasileira também recai 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. O setor de M&E foi um dos mais afetados pela abertura comercial na década de 1990 e, após esse período, muito afetado pelos movimentos de valorização e desvalorização cambial a partir dos anos 2000. Conforme os dados mais recentes divulgados pela PIA, em 2022 o valor adicionado da indústria de transformação era de aproximadamente R\$ 1,4 trilhão e do setor de M&E de R\$ 70,7 bilhões.

Apesar de serem os maiores valores da série em termos reais, representa a menor participação do valor adicionado em termos percentuais de toda a série.

Tabela 1 – Evolução da participação do valor adicionado da indústria brasileira de M&E na indústria de transformação e no total geral da indústria no período 2007 – 2021 (1000 R\$) (Número-índice 2022 = 100)

Valor adicionado					
Ano	Indústria de Transformação		Fabricação de máquinas e equipamentos		
	(em R\$)	(%) percentual do total geral da indústria	(em R\$)	(%) percentual do total da indústria de transformação	(%) percentual do total geral da indústria
2007	952.947.091	93,63	50.639.124,33	5,31	4,98
2008	1.145.790.198	92,97	58.935.176,11	5,14	5,14
2009	972.682.431	94,19	49.497.973,22	5,09	4,79
2010	1.099.544.766	90,99	63.266.026,23	5,75	5,24
2011	1.125.606.829	87,87	68.794.347,36	6,11	5,37
2012	1.099.431.233	88,14	66.668.048,28	6,06	5,34
2013	1.145.631.643	88,22	70.581.437,74	6,16	5,44
2014	1.120.767.992	90,63	66.526.589,70	5,94	5,38
2015	967.043.095	92,17	52.988.198,05	5,48	5,05
2016	959.553.798	92,88	48.721.266,61	5,08	4,72
2017	956.042.132	90,96	45.867.431,55	4,80	4,36
2018	1.040.790.367	90,30	49.425.228,48	4,75	4,29
2019	1.069.733.691	90,76	52.507.126,72	4,91	4,46
2020	1.163.302.115	88,04	56.661.899,96	4,87	4,29
2021	1.514.795.396	84,59	74.903.162,32	4,94	4,18
2022	1.649.698.322	88,84	90.775.858,00	5,50	4,89

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA), Brasil (2024a) e Contas Nacionais, Brasil (2024d).

Notas: ¹ Os dados referem-se à estrutura do valor adicionado das empresas industriais com 5 ou mais pessoas ocupadas, segundo as divisões e os grupos de atividades (CNAE 2.0).

² Não foram disponibilizados pela PIA dados do valor adicionado da indústria brasileira de máquinas e equipamentos anteriores ao ano de 2007.

³ Os valores foram deflacionados para o ano de 2022 a partir do Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC).

O cenário econômico externo somado ao cenário político e econômico recessivo interno que o Brasil vem enfrentando desde a última década, marca, provavelmente, a maior crise da história do setor de M&E. Apesar do aumento do número de empresas ao longo dos anos, a partir de 2013, a participação do valor adicionado do setor de M&E na indústria de transformação iniciou uma trajetória decrescente e caiu de 6,16% para 4,94%, em 2021. No total geral da indústria o setor perdeu ainda maior representatividade, caindo de 5,44% para 4,18%. A indústria de transformação, por sua vez, reduziu em 9 pontos percentuais sua participação no total geral da indústria durante o mesmo período (PIA, 2024).

Outro indicador que merece ser destacado é a participação do valor agregado no valor da produção industrial, como apresenta a Tabela 2. Os dados mostram que, assim como a participação no valor adicionado, a relação entre o Valor da Transformação Industrial (VTI) /

Valor Bruto da Produção Industrial (VBPI) apresenta o mesmo comportamento de declínio. Um resultado de queda neste indicador sugere um aumento no custo das operações industriais, que pode ocorrer devido ao acréscimo de produtos importados no processo manufatureiro. Além disso, esse processo vem acompanhado do aumento das importações do setor de M&E, bem como da indústria de transformação, o que representa um enfraquecimento da produção nacional e transferência da produção e de seu valor agregado para o exterior.

Tabela 2 – Evolução da participação do valor da transformação industrial na produção industrial e da produtividade do trabalho no setor de M&E brasileiro e na indústria de transformação, no período 2000 – 2022 (Número-índice 2022 = 100)

Ano	Indústria de Transformação				Fabricação de Máquinas e Equipamentos			
	VTI	VBPI	VTI / VBPI	VTI / PO	VTI	VBPI	VTI / VBPI	VTI / PO
2000	992.070.089,86	2.208.228.037,9	0,45	190,0	53.823.452,70	114.381.082,7	0,47	164,0
2001	1.033.777.331,00	2.347.198.236,2	0,44	192,9	63.078.164,29	136.940.410,1	0,46	178,7
2002	1.036.463.237,02	2.354.446.861,9	0,44	189,9	64.923.837,51	139.664.057,3	0,46	179,7
2003	1.143.641.663,02	2.655.769.097,8	0,43	194,9	66.687.790,64	151.195.379,0	0,44	167,1
2004	1.264.381.642,18	3.007.017.236,7	0,42	204,5	76.986.192,56	177.755.867,4	0,43	182,5
2005	1.262.202.824,19	2.986.397.586,7	0,42	203,1	68.634.982,73	165.367.993,9	0,42	168,5
2006	1.336.963.818,89	3.106.822.869,9	0,43	201,4	75.222.026,89	176.838.658,6	0,43	173,1
2007	1.396.530.585,92	3.304.873.113,5	0,42	191,0	84.886.836,48	205.473.107,7	0,41	169,0
2008	1.550.101.206,54	3.628.815.076,3	0,43	201,7	75.038.781,56	186.348.088,2	0,40	191,0
2009	1.392.741.045,60	3.199.534.232,1	0,44	180,5	62.631.780,76	144.313.269,1	0,43	167,3
2010	1.561.599.963,00	3.527.380.036,0	0,44	190,2	77.983.027,34	181.377.882,3	0,43	183,4
2011	1.619.782.457,64	3.659.194.484,2	0,44	191,7	84.336.084,84	191.860.738,6	0,44	186,5
2012	1.624.277.103,84	3.722.973.956,2	0,44	188,9	83.948.868,79	188.990.231,3	0,44	187,1
2013	1.686.491.158,67	3.911.008.681,1	0,43	191,6	86.239.399,78	207.115.962,7	0,42	181,2
2014	1.633.336.097,74	3.838.845.932,1	0,43	190,5	81.510.773,95	195.252.773,3	0,42	181,0
2015	1.490.249.642,61	3.474.074.994,3	0,43	187,8	64.913.701,41	148.755.182,4	0,44	171,7
2016	1.398.623.162,21	3.273.196.565,1	0,43	185,4	59.590.853,63	130.562.524,8	0,46	169,8
2017	1.438.255.050,80	3.354.945.600,1	0,43	193,0	60.201.727,62	134.781.277,9	0,45	180,2
2018	1.570.061.122,98	3.726.193.452,0	0,42	210,1	63.501.013,63	153.451.450,1	0,41	178,1
2019	1.550.282.751,80	3.748.755.106,7	0,41	208,8	65.928.349,61	166.021.815,8	0,40	180,0
2020	1.568.163.042,67	3.894.090.711,86	0,40	210,2	70.426.270,20	178.824.310,99	0,39	184,4
2021	1.973.170.094,92	4.996.712.223,00	0,39	251,1	91.121.489,17	253.177.677,65	0,36	216,5
2022	2.218.843.881,00	5.683.098.208,00	0,39	275,4	110.382.565,00	290.914.130,00	0,38	260,3

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA), Brasil (2024a).

Notas: ¹ Os dados de participação do valor agregado na produção industrial são calculados por meio da razão entre o Valor da Transformação Industrial e o Valor Bruto da Produção Industrial (VTI / VBPI).

² O indicador de produtividade do trabalho é calculado por meio da razão entre o Valor da Transformação Industrial e o Pessoal Ocupado (VTI / PO) das empresas industriais com 1 ou mais pessoas ocupadas, segundo as divisões e os grupos de atividades (CNAE 1.0 e 2.0).

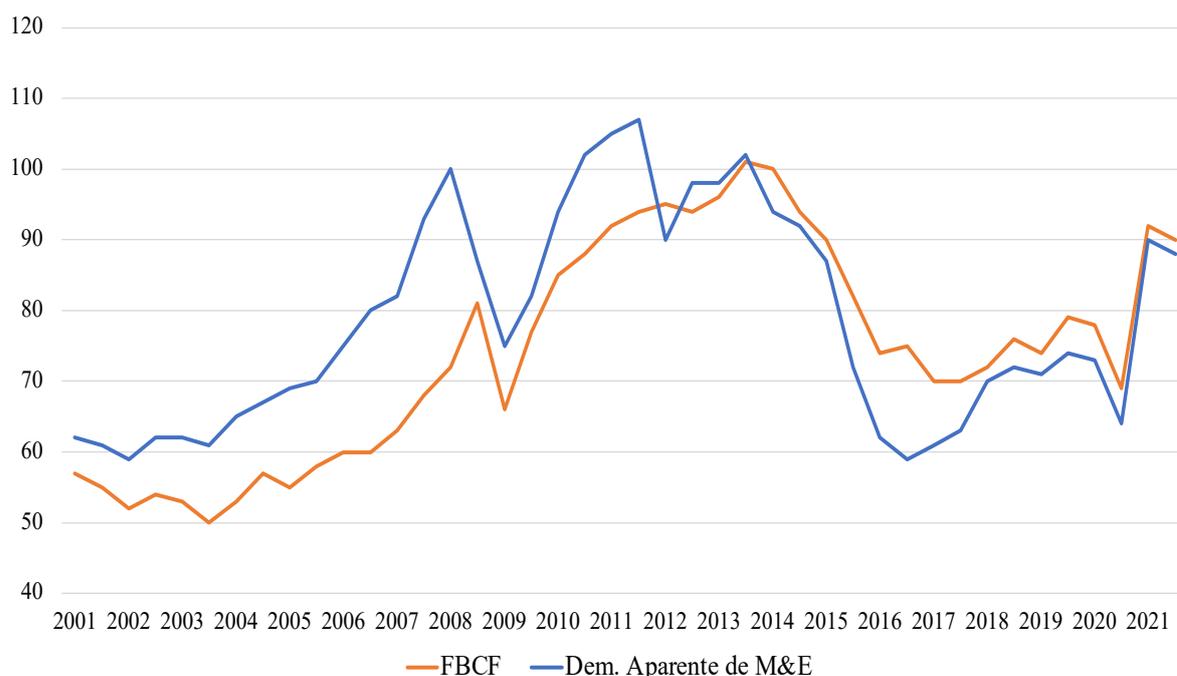
³ Os valores foram deflacionados para o ano de 2022 a partir do Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC).

Ainda sobre a Tabela 2, o indicador de produtividade da mão de obra de ambos apresentou constância, com pequenas flutuações ao longo do período, sendo as principais delas nos anos de 2008 – 2009 e 2015 – 2016, como uma resposta à crise financeira de 2008 e à recessão brasileira que assolou o setor de M&E, especialmente em 2015. Somente a partir de 2021 verificou-se leve aumento, puxado pela recuperação pós-pandemia.

Ao se analisar a demanda aparente de M&E (produção – exportação + importação), por meio da evolução da FBCF, medida por meio do indicador de demanda aparente por bens de

capital, entre 2015 e 2017, verifica-se níveis excepcionalmente baixos, comprometendo a FBCF, o crescimento futuro do país e a competitividade da indústria brasileira devido à forte contração de 30% da demanda aparente por M&E, entre 2013 e 2017 (Gráfico 19). A partir de 2017, iniciou-se uma retomada do crescimento com recuperação de 28,2%, que marcava o fim da recessão na indústria de M&E, de modo que, em 2019, a demanda aparente por máquinas e equipamentos representaram 41% da FBCF. Apesar do início da recuperação, aquele ano apresenta a maior queda no emprego, isso decorreu da incerteza política e econômica que levou as empresas a adotarem uma postura cautelosa em relação às contratações. Além disso, acredita-se que o aumento da tecnologia incorporada em M&E importadas também sejam responsáveis pela diminuição do pessoal ocupado.

Gráfico 19 – Evolução da FBCF e demanda aparente de M&E no Brasil entre 2001 – 2021 (Número-índice 2021 = 100), série com ajuste sazonal



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Banco Central do Brasil, BCB (2022).

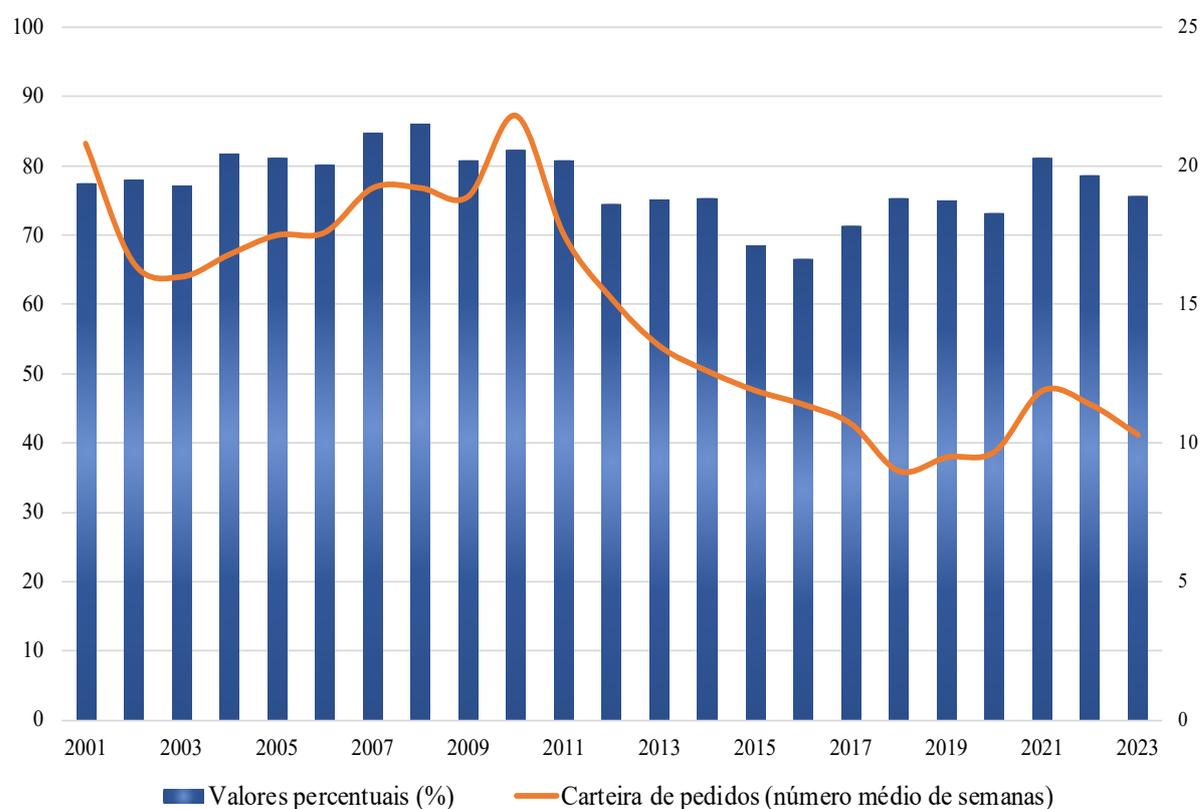
Nota: Os valores foram deflacionados para o ano de 2022 a partir do Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC).

Vale enfatizar que o setor de M&E está entre os primeiros a sentir os efeitos de uma crise e entre os últimos a sair, servindo de termômetro para a economia global, haja vista que demanda altos investimentos em capacidade produtiva e reflete o nível de confiança do empresariado, bem como sua disposição para investir na indústria, além de atuar como indicador de preparação de ciclos de alta produção e consumo.

A despeito disso, em dezembro de 2019, o mundo foi surpreendido com o início da pandemia da Covid-19, que impactou severamente a indústria mundial de modo geral, entretanto, apenas em abril de 2020 registrou-se o início da crise no setor de M&E com nova retração de 31,9%, resultado mais baixo no período. Todavia, no segundo semestre daquele ano, o setor começou a apresentar sinais de recuperação com consecutivos meses de crescimento durante quase todo o ano de 2021. A partir de então, a demanda registrou expansão de 70,9% e se recuperou acima do patamar pré-pandemia (BCB, 2022). Assim sendo, o setor atingiu 82,5% do nível de utilização da capacidade instalada (NUCI) no mês de outubro de 2021, e registrou aumento de 17% na carteira de pedidos em relação ao mês de outubro de 2020.

O indicador de Nível de Utilização da Capacidade Instalada (NUCI) tem como objetivo avaliar o grau de atividade produtiva da indústria em relação à capacidade produtiva total do parque industrial. A evolução do indicador para o setor brasileiro de M&E mostra que no período 2001 – 2008 o NUCI ampliou-se substancialmente, saltando de 77,5%, em 2001, para 86,1%, em 2008, o maior patamar alcançado no período (Gráfico 20).

Gráfico 20 – Evolução do Nível de Utilização da Capacidade Instalada e carteira de pedidos (em semanas para atendimento) da indústria brasileira de M&E, no período 2001 – 2023



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ABIMAQ (2024).

A partir de 2008, o setor começou a experimentar uma desaceleração no NUCI, que se acentuou em 2012, apesar de uma ligeira recuperação entre 2013 – 2014. Em contrapartida, a economia voltou a desacelerar, impactada pela recessão econômica e pela crise política enfrentada no país, resultando nos menores índices de utilização da capacidade produtiva em 2015 – 2016, e, por conseguinte, marcando o mais alto nível de ociosidade das máquinas e equipamentos no setor.

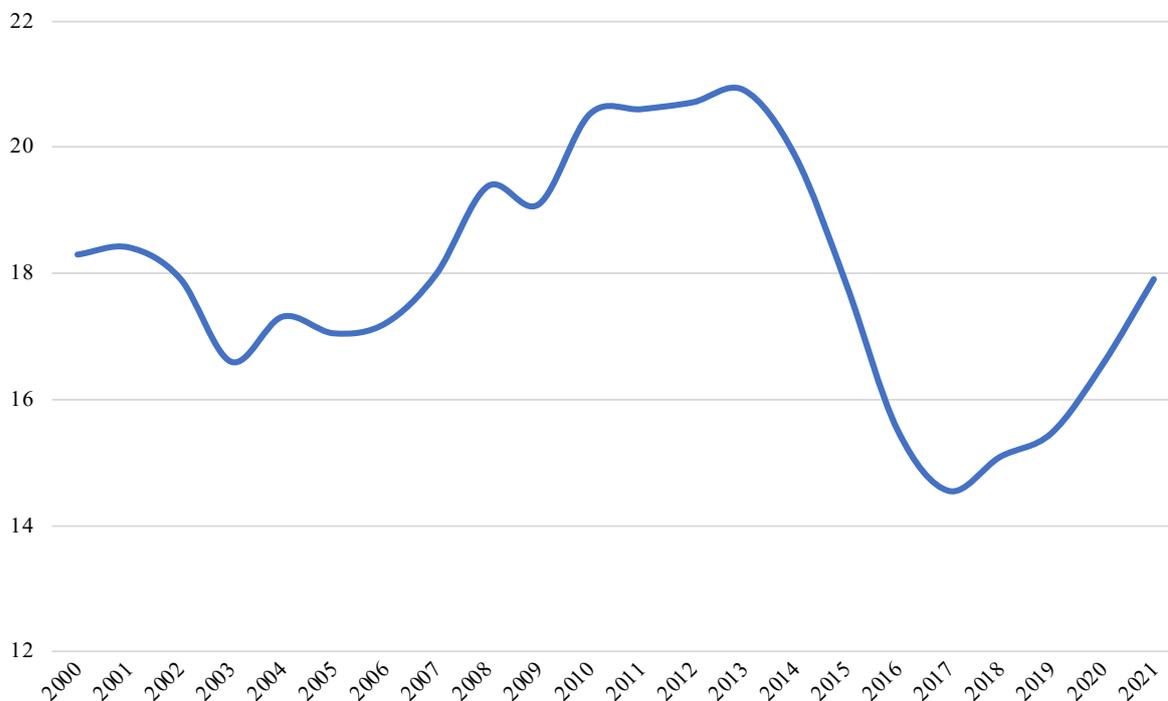
Diante das dificuldades enfrentadas pelo setor de M&E, ocorreu uma diminuição contínua na fatia do mercado detida pela produção interna no total do consumo aparente, especialmente devido à desvalorização do Real, no período entre 2012 e 2016. Como resultado, a participação de mercado dos produtos nacionais no setor reduziu-se de 60% há uma década para menos de 40% em 2018, nível preocupante que compromete a sobrevivência do setor, haja vista a acirrada concorrência no mercado externo. Durante os anos de 2017 – 2019, o setor conseguiu uma recuperação de 8,8% no NUCI, que foi interrompida, em 2020, pelo advento da pandemia. A partir do segundo semestre de 2020 registrou importante recuperação, no entanto, voltou a cair encerrando o ano de 2023 operando com 75,6% da capacidade produtiva.

Em relação à carteira de pedidos, nota-se que a partir de 2010 ocorreu uma significativa redução na quantidade de pedidos. Apesar da retomada de crescimento do NUCI a demanda por novos pedidos mostrou poucos sinais de recuperação. Essa condição ocorre em grande medida devido à conexão com os setores de infraestrutura e indústria de base, que apresentam uma retomada mais lenta de crescimento. Outro aspecto importante que contribui para a recuperação tardia no indicador da carteira de pedidos é que a indústria de M&E tende a restaurar o nível de capacidade produtiva que foi comprometido antes de realizar novos pedidos e adquirir novas máquinas (Almeida, 2020).

Além disso, a taxa de investimento do país, dada pela razão entre a FBCF e o PIB, despencou de 20,9%, em 2013, para 14,6%, em 2017, como demonstrado pelo Gráfico 21. Esta queda pode ser um dos principais fatores que explicam a retração da economia brasileira a partir de 2014. Nesse cenário, houve contínua perda de participação da produção nacional no consumo aparente, particularmente, em decorrência da depreciação do Real, entre o período de 2012 e 2016, que amentou consideravelmente o custo dos componentes importados e por conseguinte o custo de produção dos fabricantes nacionais, reduzindo a competitividade dos produtos nacionais em relação aos estrangeiros. Deste modo, o *market share* da produção nacional no setor caiu, em um período de dez anos, de 60%, em 2007, para menos de 45%, em 2017, nível preocupante que compromete a sobrevivência do setor, *vis-à-vis* a acirrada

concorrência no mercado externo (ABIMAQ, 2018).

Gráfico 21 – Variação da Taxa de Investimento do Brasil, no período 2000 – 2021



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Sistema de Contas Nacionais, Brasil (2024d).

Comparando-se aos níveis internacionais, a taxa de investimento brasileiro apresenta resultados distantes do ideal para um país em processo de desenvolvimento, haja vista que, entre 2000 e 2021, de acordo com os dados do Sistema de Contas Nacionais (2024), a taxa de investimento média brasileira alcançou 18% do PIB, enquanto a média mundial registrou 23,6%. Além disso, o Brasil ficou longe de países emergentes como China (39%) e Índia (30%), próximo ao conjunto de países da América Latina como Peru (21,1%) e Uruguai (17,2%), mas ainda abaixo do investimento em nações como Honduras (24,8%) e Chile (22,4%).

3.4.2 Agentes heterogêneos e a formação de redes

Um SSI é composto por diversos agentes heterogêneos para além das firmas, como organizações e indivíduos caracterizados por processos específicos de aprendizagem e estruturas organizacionais. Esses agentes estão interconectados por meio de diversas relações de mercado e não-mercado, formando redes complexas. Sendo assim, os agentes interagem por meio de processos de comunicação, troca, cooperação, competição e comando (Malerba; Mani, 2009).

Nos países líderes do setor de M&E, apesar da estrutura heterogênea e descentralizada do setor, a cooperação entre firmas especializadas e o desenvolvimento de uma vasta rede de interação entre elas permitiu a conformação de *clusters* de inovação e o desenvolvimento de fortes redes da indústria, onde as firmas se desenvolvem em estreita proximidade com outros importantes atores para o segmento.

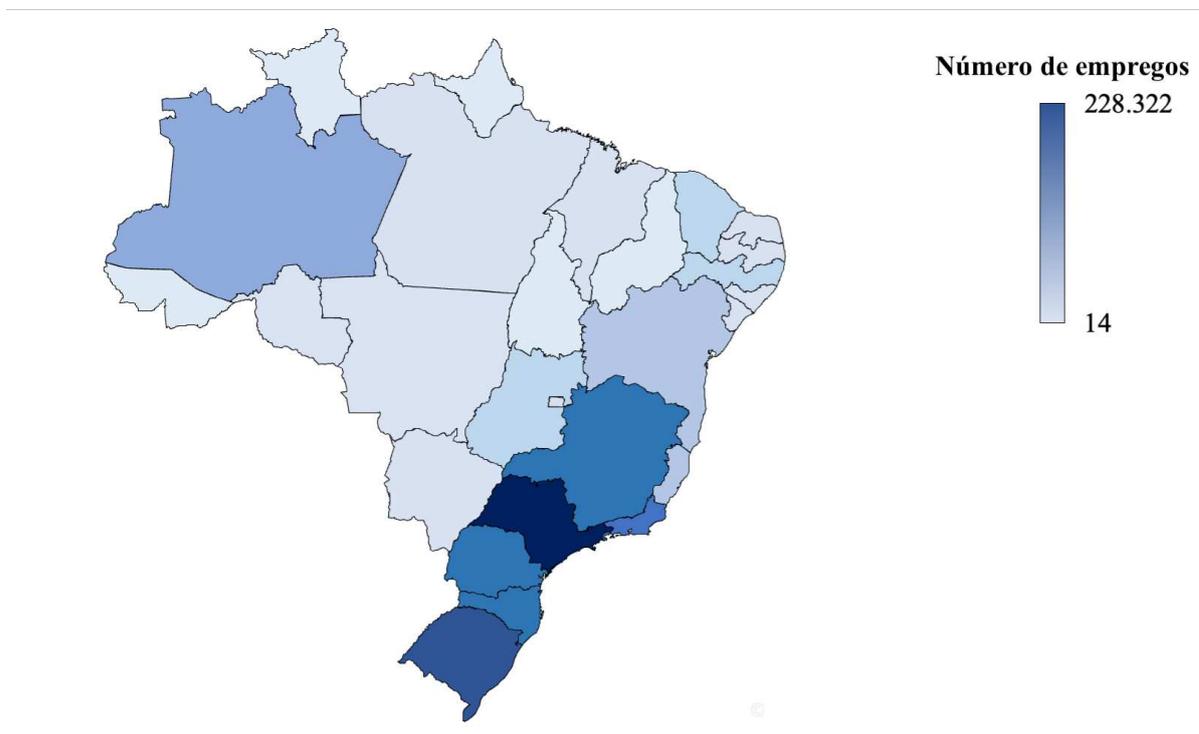
No Brasil, o setor de M&E possui grande disparidade de desenvolvimento entre diferentes regiões do país. Este fato reforça o fenômeno de *clusterização* ou conformação dos chamados Arranjos Produtivos Locais (APLs)¹⁷ do setor, concentrados nas regiões Sul e Sudeste. Embora este trabalho não tenha como objetivo realizar um mapeamento das aglomerações de empresas do setor de M&E no Brasil, a Figura 1 apresenta a concentração média de empregos do setor no país por estado, no período entre 2000 – 2021, segundo os dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). Os dados colocam em destaque o estado de São Paulo, que apresenta a maior média de concentração de empregos formais (228.322) do setor de M&E no Brasil, cerca de 365% maior que o segundo colocado. Em seguida, situam-se Rio Grande do Sul com média de 62.855 empregados, Santa Catarina com 46.948, seguidos por Paraná (39.234) e Minas Gerais (34.430).

Para além da região Sudeste, o estado do Amazonas se destaca entre os demais estados restantes do país, com média de 11.877 empregados formais no setor de M&E. Acredita-se que esta concentração de empregos do setor no estado seja devido à Zona Franca de Manaus, polo industrial localizado na capital do estado. Em contrapartida, os estados vizinhos Amapá e Acre apresentaram as menores médias de concentração de empregos formais no setor, com 51 e 14 empregados, respectivamente.

Essa distribuição geográfica é resultado de diversos fatores históricos, econômicos e sociais associadas à história do desenvolvimento industrial do Brasil, incluindo a proximidade com importantes centros econômicos e mercados consumidores, a disponibilidade de mão de obra qualificada e a infraestrutura de transportes e logística mais desenvolvida, além da tradição na fabricação de máquinas-ferramenta, maquinário agrícola, equipamentos para a indústria alimentícia, entre outros.

¹⁷ As estruturas produtivas formadas por aglomerações setoriais de empresas possuem denominações distintas a depender do país e da base teórica de pesquisadores. Embora configurem um elemento importante dentro dos SSI, esta pesquisa não pretende aprofundar nos conceitos e fundamentos teóricos que tangem às estruturas produtivas, haja vista que foge do escopo do trabalho.

Figura 1 – Concentração média de empregos do setor de M&E no Brasil por estado no período entre 2000 – 2021



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), Brasil (2024c).

Begnini e Carvalho (2021) identificaram a existência de um *cluster* de metalurgia e fabricação de M&E em Joinville, e um *cluster* de máquinas, aparelhos e materiais elétricos em Jaraguá do Sul, ambos municípios vizinhos localizados no estado de Santa Catarina, inclusive é o local onde se encontram as empresas WEG e Schulz. O *cluster* de Joinville figura entre os maiores do Brasil, é formado por 217 empresas da divisão do setor de M&E e possui 1.165 estabelecimentos com atividades associadas ao setor.

Haja vista que a grande maioria das empresas do setor estão localizadas no estado de São Paulo, naquela região também se verifica a conformação de importantes redes do setor. A cidade de Campinas possui um importante parque industrial e tecnológico, no setor de M&E, com destaque para a fabricação de equipamentos de alta tecnologia a partir de empresas como Bosch e Honda. Além disso, a integração com atores como universidades e centros de pesquisa, como a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), fomentam a inovação e o desenvolvimento tecnológico.

Além dessa, outras cidades do estado de São Paulo podem ser apontadas como importantes nas redes do setor e contemplam atores (firmas) renomados como: Piracicaba (Caterpillar); Indaiatuba (John Deere e Zoomlion); Jundiaí (Siemens); São Paulo capital

(ThyssenKrupp e Hitachi); São Bernardo do Campo (Atlas Schindler); São José dos Campos (Sany); Suzano (Komatsu) Santa Bárbara d'Oeste (Romi); Pompéia (Jacto) e Sertãozinho (Dedini e Zanini, M&E para o setor sucroalcooleiro).

Belo Horizonte e sua região metropolitana também possuem uma forte rede de empresas M&E, especialmente voltadas para o subsetor de mineração, siderurgia, automotivo e construção, bem como fornecedores especializados e forte integração com a cadeia produtiva local. Devido à proximidade com grandes empresas, como Vale, Samarco, Usiminas, Fiat e Vallourec, a região dispõe de uma rede de fornecedores especializados.

Ademais, não podem deixar de ser mencionados alguns dos principais centros de estudo que contribuem para a conformação da rede de interação entre empresas e escola, em especial as de formação técnica que fornecem mão de obra qualificada e específica, capazes de atender as firmas do setor. Neste caso, destacam-se o Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET), os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IFET) e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI).

Uma característica estrutural do setor de M&E no Brasil, apontada por Araújo (2011), consiste no fato de que “tecnologicamente” a maioria das empresas são “seguidoras”. As empresas líderes – as quais cerca de 40% são multinacionais¹⁸ 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).

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.

Outro obstáculo ao desenvolvimento inovativo do setor que merece ser ressaltado refere-se às ações de direito de propriedade intelectual apontado por Kim e Lee (2009) como

¹⁸ Ver Gomes; Strachman (2005) para aprofundamento acerca do papel das multinacionais no desenvolvimento tecnológico do Brasil. Complementarmente ver Gomes; Consoni e Galina (2010) que trata sobre P&D em filiais de empresas multinacionais instaladas no Brasil.

barreiras à entrada ao processo de *catch up* do setor. As firmas incumbentes visam não apenas a cobrança de retornos na forma de *royalties* ou taxas, mas também a interrupção das atividades das firmas entrantes no mercado, sobretudo, nos mercados internacionais. Em geral, os países tecnologicamente avançados fortaleceram suas políticas e regras de proteção aos DPI, e isso emergiu como um dos importantes desafios que precisam ser enfrentados pelas empresas em processo de *catch up* no setor. Além disso, no Brasil, em alguns casos a morosidade do processo no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) somada ao tempo vigente da patente fazem com que as patentes deixem de ser um estímulo à inovação devido ao longo monopólio temporário e se transformem em uma ferramenta de inibição da concorrência.

Ademais, sabe-se que o Brasil vem enfrentando dificuldades de cunho político e econômico que tem impactado seriamente o setor industrial, somado a um processo de desindustrialização. Diante do atual cenário altamente competitivo da indústria mundial, pautado por constantes potencialidades de inovações tecnológicas, faz-se necessário que as firmas do setor de M&E criem formas de se reinventar, visando alcançar níveis de desenvolvimento mais avançados, para garantirem sua permanência nos mercados e não colocarem em ameaça sua sobrevivência no setor.

3.4.3 Características das atividades inovativas

Para investigar os aspectos que concernem à evolução da inovação tecnológica no setor de M&E buscou-se analisar os dados disponíveis das edições da Pesquisa de Inovação (PINTEC) a partir dos anos 2000, sendo elas, as edições de 2003 (triênio 2001 - 2003); 2005 (triênio 2003 - 2005); 2008 (triênio 2006 - 2008); 2011 (triênio 2009 - 2011); 2014 (triênio 2012 - 2014) e (triênio 2015 - 2017)¹⁹. É importante ressaltar que, para fins desta pesquisa, não se utilizou os dados da primeira edição da PINTEC, i.e., PINTEC 2000 (triênio 1998 - 2000), uma vez que esta pesquisa visa analisar os dados a partir dos anos 2000.

A PINTEC tem por objetivo a construção de indicadores setoriais, nacionais, bem como regionais, das atividades inovativas nas empresas da indústria brasileira com o intuito de permitir o conhecimento e acompanhamento da evolução destes indicadores ao longo tempo

¹⁹ É importante destacar que esta seção, que trata das características inovativas do setor de M&E, se configura como uma continuidade da análise realizada na Dissertação de Mestrado (Almeida, 2020), que abordou a inovação tecnológica no setor de M&E, setor que se constitui objeto de estudo da presente Tese. No entanto, esta pesquisa contempla a última edição da PINTEC (2017), que não havia sido analisada na Dissertação de Mestrado pelo fato de ainda não estar disponível.

(PINTEC, 2014). Deste modo, seus dados podem ser utilizados pelas empresas para análise de mercado, pela comunidade acadêmica para estudos sobre atividades inovativas e análises setoriais, bem como pelo governo na elaboração e avaliação de políticas públicas nacionais e regionais.

A PINTEC tem como referência metodológica o Manual de Oslo, documento elaborado pela Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) em conjunto com a Eurostat, com o intuito de orientar, padronizar e estabelecer conceitos e metodologias para a elaboração de estatísticas e indicadores de P,D&I que oferece diretrizes de maneira internacionalmente comparável (OCDE, 2005).

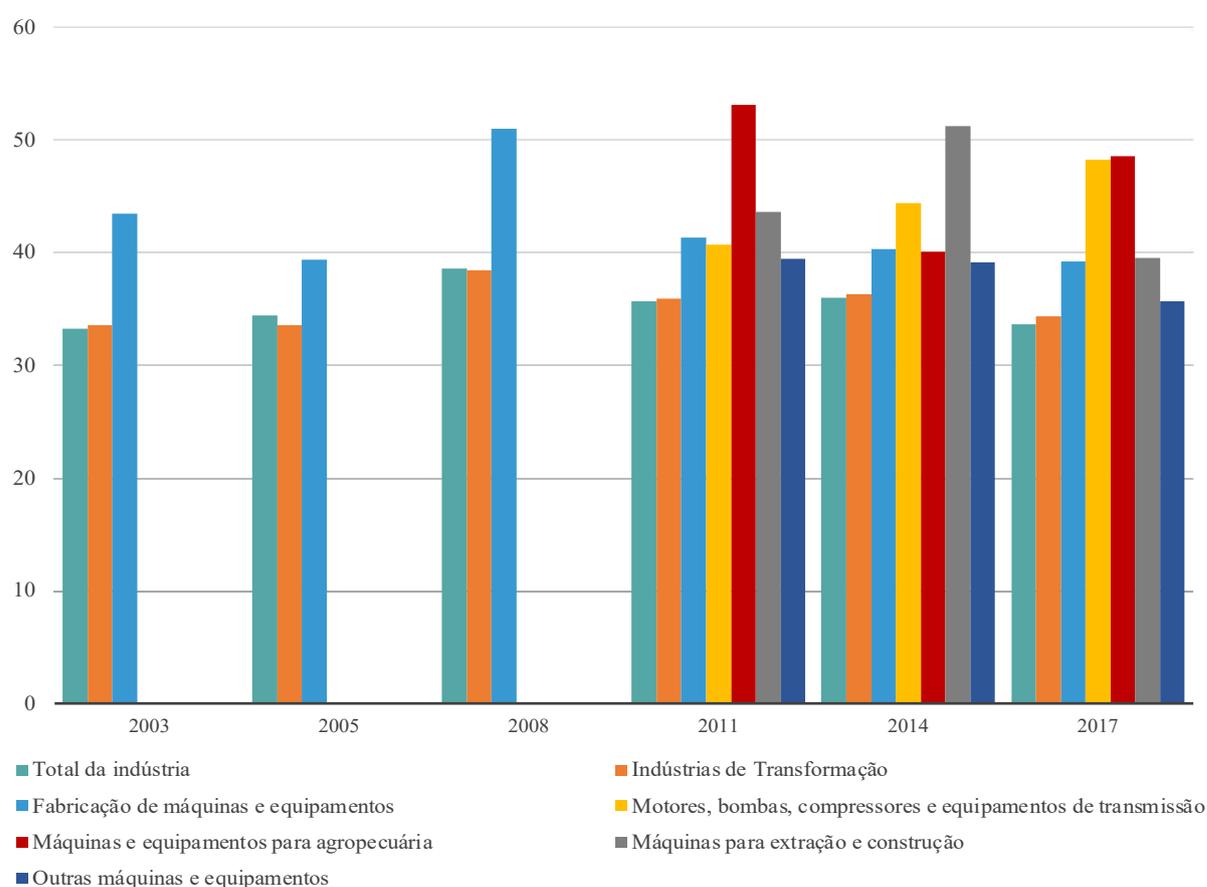
O Gráfico 22 apresenta a evolução da taxa de inovação das empresas brasileiras do setor de M&E referente ao período 2001-2017, obtido a partir da divisão da quantidade total de empresas que implementaram inovações pela quantidade total de empresas da amostra da pesquisa. De acordo com os dados nota-se que a taxa de inovação do setor é superior à taxa do conjunto da indústria de transformação e à taxa total da indústria ao longo de todo o período em análise. Este resultado já era esperado devido à necessidade de acompanhar o padrão de competição setorial, para o qual os gastos em P&D em particular, e em atividades inovativas em geral, são fundamentais.

Devido ao seu caráter estratégico, o setor de M&E foi selecionado como um dos setores prioritários pelos planos de política industrial, como resultado, foi beneficiado com vários programas que visavam a ampliação das suas atividades inovativas. Todavia, verifica-se que a taxa de inovação do setor recuou entre as edições da PINTEC (2003 e 2005), de 43,50% para 39,35%. Na PINTEC (2008), a taxa de inovação apresentou recuperação substancial, alcançando o patamar de 51%. Entretanto, o mesmo fenômeno de queda pode ser observado nas edições seguintes da PINTEC (2011; 2014 e 2017), onde registrou 41,31%; 40,33% e 39,24%, respectivamente, queda de 11,76 pontos percentuais em relação à 2008, acompanhando tendência verificada para o total da indústria.

As oscilações deste e de outros indicadores em análise podem ser creditados às instabilidades vivenciadas no período, tanto no cenário interno quanto no externo. Entre 2003 e 2010 o Brasil experimentou o maior ciclo de crescimento desde os anos 1980, mesmo tendo atravessado a pior fase da crise internacional de 2008. Este ciclo de crescimento teve como determinantes principais o aumento dos investimentos públicos, a rápida expansão do crédito, o aumento real do salário mínimo e a ampliação dos gastos sociais por meio das políticas públicas, além de um forte aquecimento do setor exportador em um cenário de crescimento do

comércio mundial (Laplane; Laplane, 2017). Entretanto, os efeitos retardados da crise externa a partir de 2011, em conjunto com as dificuldades de institucionalização da política industrial e de inovação ao longo do período, produzem resultados que ora apontam para a melhoria dos indicadores, ora para a sua piora, dificultando que se estabeleçam relações de causalidade. Somado a isso, a PINTEC (2017) abrange um período (2015 – 2017) no qual o Brasil vivenciou uma crise político-econômica e mudanças nas diretrizes das políticas industriais e de inovação.

Gráfico 22 – Taxa de inovação das empresas que implementaram inovações do setor de M&E – PINTEC: período 2001 – 2017 (em %)

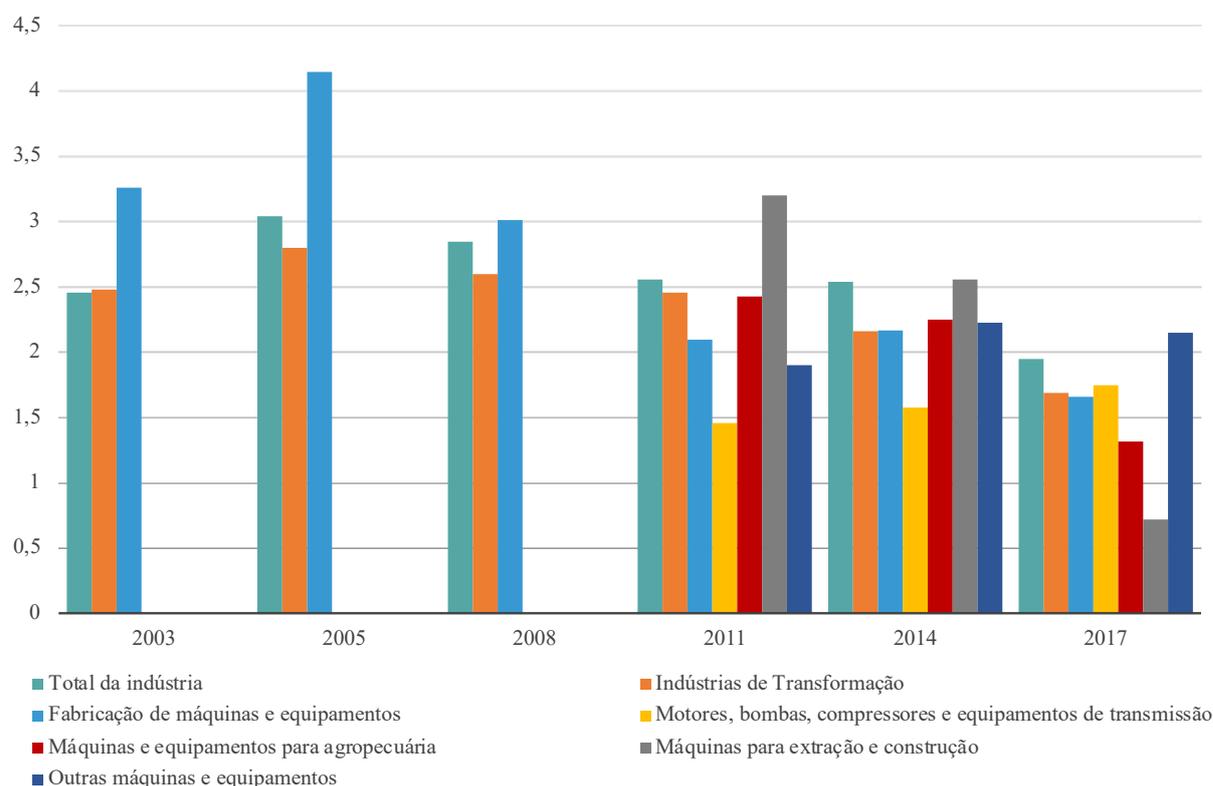


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Pesquisa de Inovação, Brasil (2020).

Para avançar na análise dos indicadores gerais de inovação, o Gráfico 23 apresenta o esforço inovativo, obtido por meio da relação entre o valor do dispêndio realizado em atividades inovativas e a receita líquida de vendas. No setor de M&E o percentual do indicador de esforço inovativo passou de 3,26%, na PINTEC (2003), para 4,15%, na PINTEC (2005), o maior patamar histórico já registrado pela pesquisa. Todavia, quando observado o indicador ao longo do período, nota-se uma queda a partir da PINTEC (2008), passando de 3,01%, para 2,10% na

PINTEC (2011), recuperando-se para 2,17%, na PINTEC (2014) e reduzindo-se para 1,66 na PINTEC (2017), razoavelmente distante do resultado percebido em 2005. Observa-se, portanto, a mesma tendência observada para a taxa de inovação.

Gráfico 23 – Esforço inovativo total das empresas que implementaram inovações do setor de M&E – PINTEC: período 2001 – 2017 (em %)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Pesquisa de Inovação, Brasil (2020).

O Gráfico 23 também apresenta uma análise desagregada do esforço inovativo das empresas inovadoras do setor para edições da PINTEC (2011; 2014 e 2017)²⁰. Os subsetores que se destacaram com as maiores proporções de dispêndios totais em atividades inovativas sobre a receita líquida de vendas foram os de máquinas para extração e construção com 3,20%, em 2011 e 2,43%, em 2014, seguido por M&E para agropecuária com 3,20%, em 2011 e 2,25%, em 2014. Não obstante, ambos os subsetores apresentaram os resultados mais baixos em 2017, acompanhando a queda do indicador para a indústria em geral e a para a indústria de M&E.

Verifica-se que os dados de esforço inovativo e taxa de inovação mostram comportamentos diferenciados entre os subsetores que compõem o setor de M&E. Como houve

²⁰ A análise setorial desagregada das empresas inovadoras do setor de M&E começou a ser disponibilizada apenas a partir da PINTEC (2011).

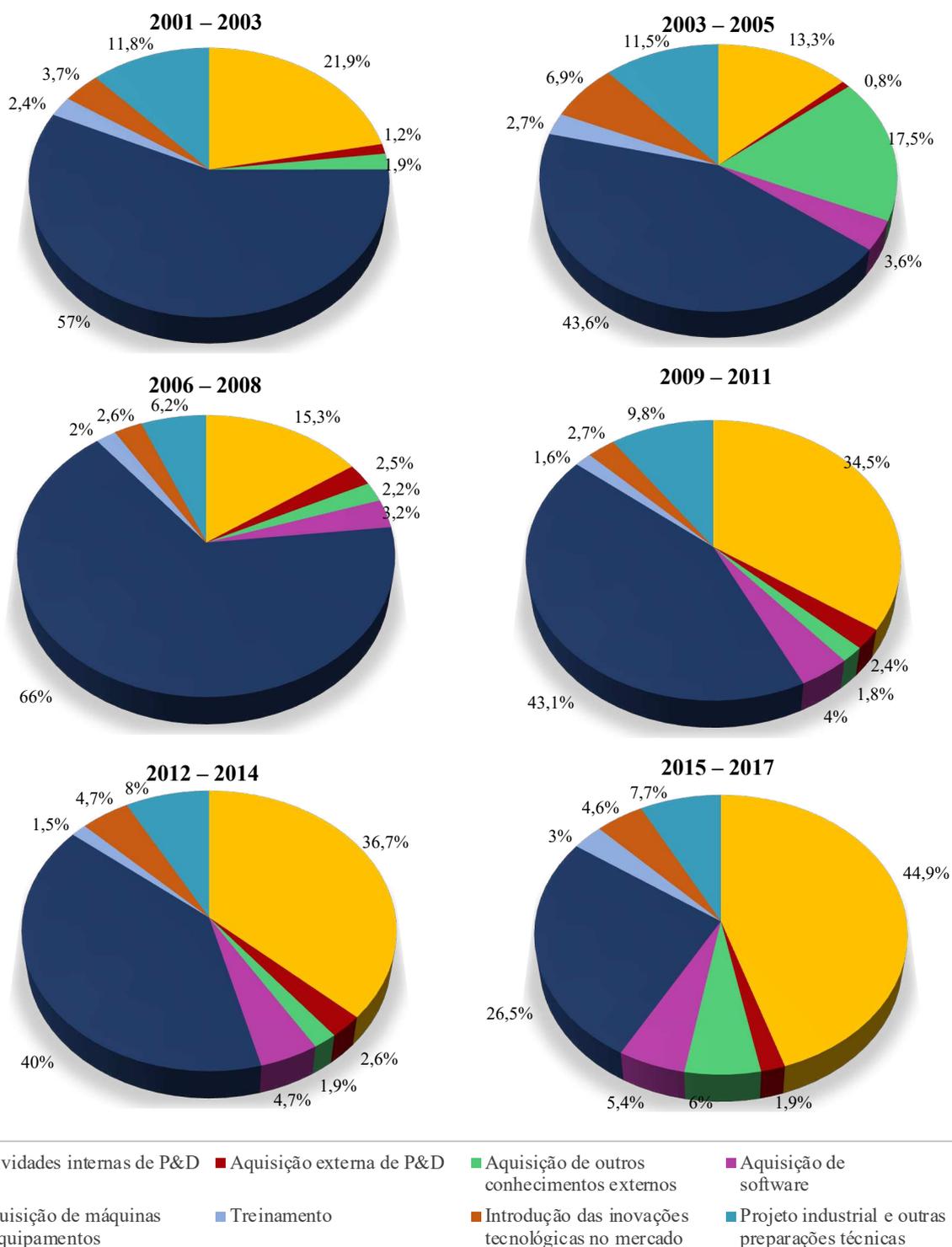
aumento substancial na taxa de crescimento das importações, embora em ritmo diferenciado entre seus subsetores²¹, tal comportamento aparenta perda de competitividade, especialmente associada aos avanços chineses. Assim, há um indicativo que o setor tenha passado por um processo de especialização, com os subsetores ligados à agropecuária e à construção civil fortalecidos. Essa hipótese seria corroborada pela especialização brasileira em *commodities*, somada ao investimento no sistema de agronegócios e ao expressivo crescimento da construção civil nos anos 2000, fortemente vinculado às políticas públicas (e.g., Programa Minha Casa, Minha Vida). No entanto, essa questão requer estudos mais aprofundados que fogem ao escopo deste trabalho.

Para finalizar a análise das atividades inovativas no setor de M&E, o Gráfico 24 apresenta o percentual dos diferentes dispêndios referentes ao período 2001 – 2017. Constatou-se que, ao longo de quase todo o período, a predominância da dinâmica inovativa do setor esteve fincada na aquisição de M&E. Embora tal participação tenha sofrido sucessivas quedas, caindo de 66%, na PINTEC (2008) para 26,5% na PINTEC (2017), sua predominância mostra que a aquisição de tecnologia incorporada em M&E representou ao longo do período a principal atividade inovativa na estrutura dos gastos realizados com inovações pelas firmas do setor, com exceção da PINTEC (2017), onde ocupou a segunda posição na participação dos dispêndios nas atividades inovativas.

As atividades internas de P&D, por sua vez, registraram aumento na participação percentual nos dispêndios, passando de 21,9%, em 2003, para 44,9%, em 2017, assumindo a posição de principal atividade inovativa na estrutura dos gastos realizados com inovações pelas firmas do setor. Foi a primeira vez, na série histórica da PINTEC, que os gastos com P&D alcançaram esse resultado, o que permite inferir que os subsídios provenientes das políticas industriais dos anos 2000, em especial o programa de incentivos fiscais para atividades de P&D, estimularam o aumento nos investimentos das firmas em atividades internas de P&D. Embora não se tenha utilizado metodologias que permitam identificar relações de causalidade, entende-se que esse é um sinal importante de que os estímulos das políticas industriais dos anos 2000 produziram resultados positivos, ademais de indicar que houve, de fato, maior articulação com as políticas de C,T&I, que direcionaram vários instrumentos de apoio ao aumento dos gastos de P&D empresariais, tal como mostrado por Ulhôa, Botelho e Avellar (2019).

²¹ Participação das importações por subsetores: Componentes para a indústria de M&E (18,3%); Máquinas para a indústria de transformação (16,8%); Máquinas para bens de consumo (21,2%); Infraestrutura e indústria de base (17,2%); Máquinas para logística e construção civil (15,9%); Máquinas e implementos agrícolas (2,1%); Máquinas para petróleo e energia renovável (0,3%); e Outras máquinas (8,3%).

Gráfico 24 – Participação percentual dos dispêndios nas atividades inovativas das firmas do setor de M&E brasileiro, que implementaram inovações de produto ou processo – PINTEC: período 2001 – 2017



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Pesquisa de Inovação (PINTEC), Brasil (2020).

Embora a aquisição externa de P&D esteja entre as menores participações dos gastos em atividades inovativas, chegando a aparecer em última posição nas edições da PINTEC (2003;

2005 e 2017), apresentou aumento ao longo do período, passando de 1,2%, em 2003, para 2,6%, em 2014. Do mesmo modo, a aquisição de *software*, que foi registrada como atividade inovativa a partir da PINTEC (2005), registrou crescimento de 3,6%, em 2005, para 5,4%, em 2017.

Sob essa perspectiva, acredita-se que, pelo fato do parque industrial brasileiro enfrentar um distanciamento tecnológico *vis-à-vis* às economias mais inovadoras do mundo, é razoável esperar que as atividades de aquisição externa de P&D e a aquisição de *software* sejam menores devido à baixa difusão de novas tecnologias, assim como a aquisição de M&E seja alta devido à compra de novas máquinas que incorporam tecnologia e representam a implementação de produtos e/ou processos novos ou significativamente aprimorados em nível das empresas.

Os esforços governamentais, historicamente, concentraram-se no apoio à compra de M&E com tecnologias incorporadas, bem como produção e comercialização dos bens de capital de menor conteúdo tecnológico em relação aos países mais desenvolvidos, deixando o apoio à inovação em segundo plano ou a cargo de políticas horizontais. Portanto, assim como aponta Araújo (2011), o setor brasileiro de M&E padece das mesmas carências referentes ao aprendizado e inovação tecnológica que os demais setores industriais.

3.4.4 Demanda doméstica e internacional

Embora algumas empresas brasileiras de M&E tenham reconhecida competitividade internacional e sejam capazes de competirem com base em inovação e diferenciação de produtos – e.g. WEG; Romi; Jacto; Stara; Aeris Energy; Stara; Schulz; Kepler Weber, dentre outras – a performance de inovação e os investimentos em atividades inovativas estão de acordo, quando não abaixo, da média nacional e muito abaixo da média dos líderes mundiais. Este fato é preocupante, haja vista que o setor é supostamente difusor das inovações tecnológicas e indutor do progresso técnico (Araújo, 2011; GTAI, 2022).

É importante destacar que uma fatia da demanda interna de M&E é suprida por meio de produtos importados. Somado a isso, muitas empresas estrangeiras do setor encontram-se instaladas no Brasil e ocupam posições de destaque no mercado doméstico, como as grandes Caterpillar, John Deere, Sany, XCMG, Bosch, Siemens, Atlas Schindler, ThyssenKrupp, Komatsu, Zoomlion, Hitachi, Volvo, dentre outras. Acerca disso, Miguez (2018) enfatiza que a estrutura industrial no Brasil engloba praticamente todas as multinacionais mais importantes do setor de M&E, nos segmentos mais relevantes para a economia brasileira, como as máquinas agrícolas, para construção e de uso industrial. No entanto, isso não impede que exista uma rede

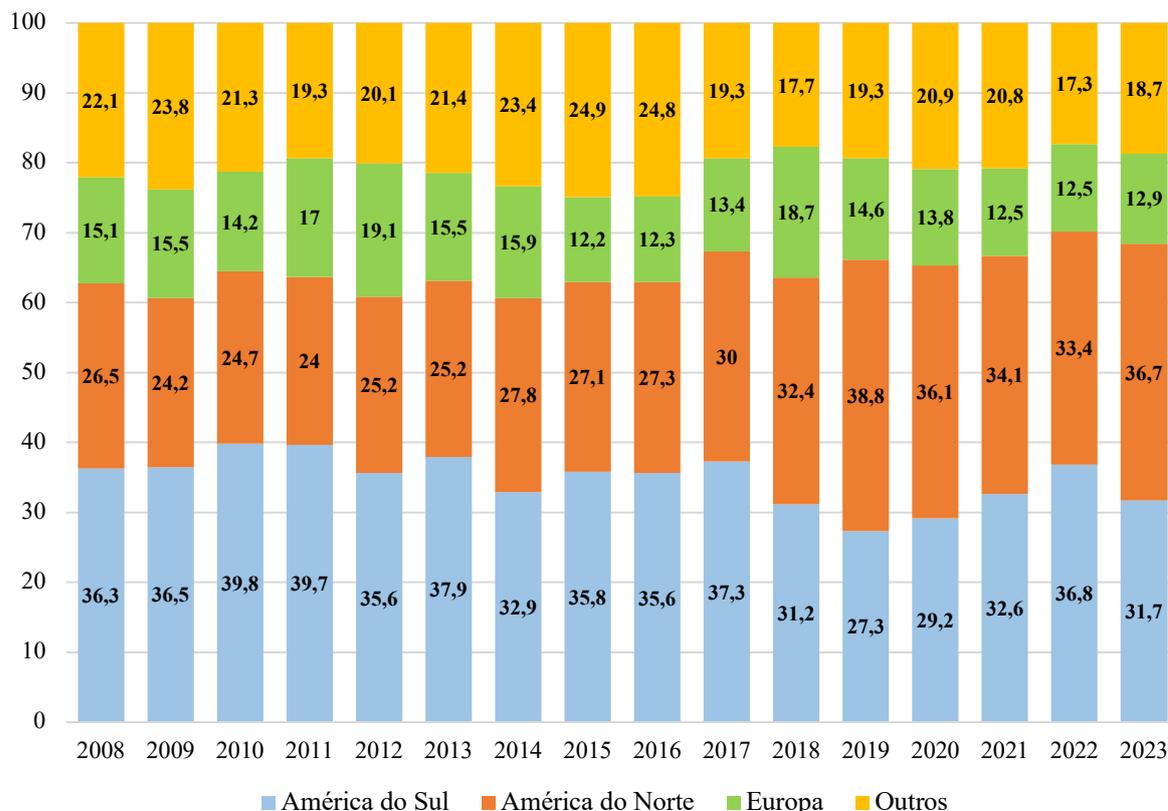
de empresas nacionais em diversos desses segmentos, muitas delas PMEs, como já demonstrado anteriormente. Em alguns casos, é possível verificar inclusive certa complementaridade, como apontado pelo autor no caso de máquinas agrícolas, em que as empresas de tratores são majoritariamente grandes multinacionais e as empresas de implementos agrícolas são majoritariamente micro, pequenas e médias empresas (MPMEs) nacionais.

Além disso, considerando que muitas empresas nacionais produtoras de M&E que possuem estratégias de exportação, encontram-se defasadas tecnologicamente em relação a seus concorrentes internacionais, acabam se especializando no fornecimento de máquinas de menor grau tecnológico, denominadas máquinas de “segundo escalão” ou “segunda geração”, em relação àqueles competidores que descontinuaram a produção de máquinas menos avançadas tecnologicamente. Como resultado, possuem baixa integração às CGV devido à inserção por meio de produtos de menor conteúdo tecnológico.

Essas máquinas podem ser atraentes para mercados em países desenvolvidos, onde máquinas mais complexas e de última geração são mais comuns, mas também mais caras e potencialmente mais difíceis de reparar. Além disso, devido às estruturas de custos diferentes, como mão de obra e matéria-prima mais baratas, as máquinas brasileiras podem ser produzidas com custos inferiores e, conseqüentemente, vendidas a preços mais competitivos, o que pode ser atraente especialmente em segmentos de mercado onde a demanda é sensível ao preço.

Este fato pode ser confirmado ao considerar que o principal importador de M&E do Brasil são os EUA. Como apresentado no Gráfico 25, ao longo do período analisado a América do Norte aumentou sua participação nas importações de M&E brasileiros em cerca de 10 pontos percentuais, que antes era liderada pela América do Sul. No último ano, 36,7% das M&E brasileiras foram exportadas para a América do Norte, sendo cerca de 80% do total para os EUA. Já a América do Sul reduziu sua participação em nove pontos percentuais até o ano de 2019, porém aumentou novamente a participação e no último ano registrou 31,7% das exportações, com destaque para a Argentina que representa um terço do volume total. É importante destacar que, por anos, a China esteve entre os maiores importadores de M&E brasileiros, no entanto, a partir de 2020 reduziu drasticamente as importações do setor, uma vez que está direcionando esforços para desenvolver a indústria nacional, e hoje está na 21ª posição entre os países que mais importam M&E do Brasil, representando apenas 0,8% do total (SECEX, 2024).

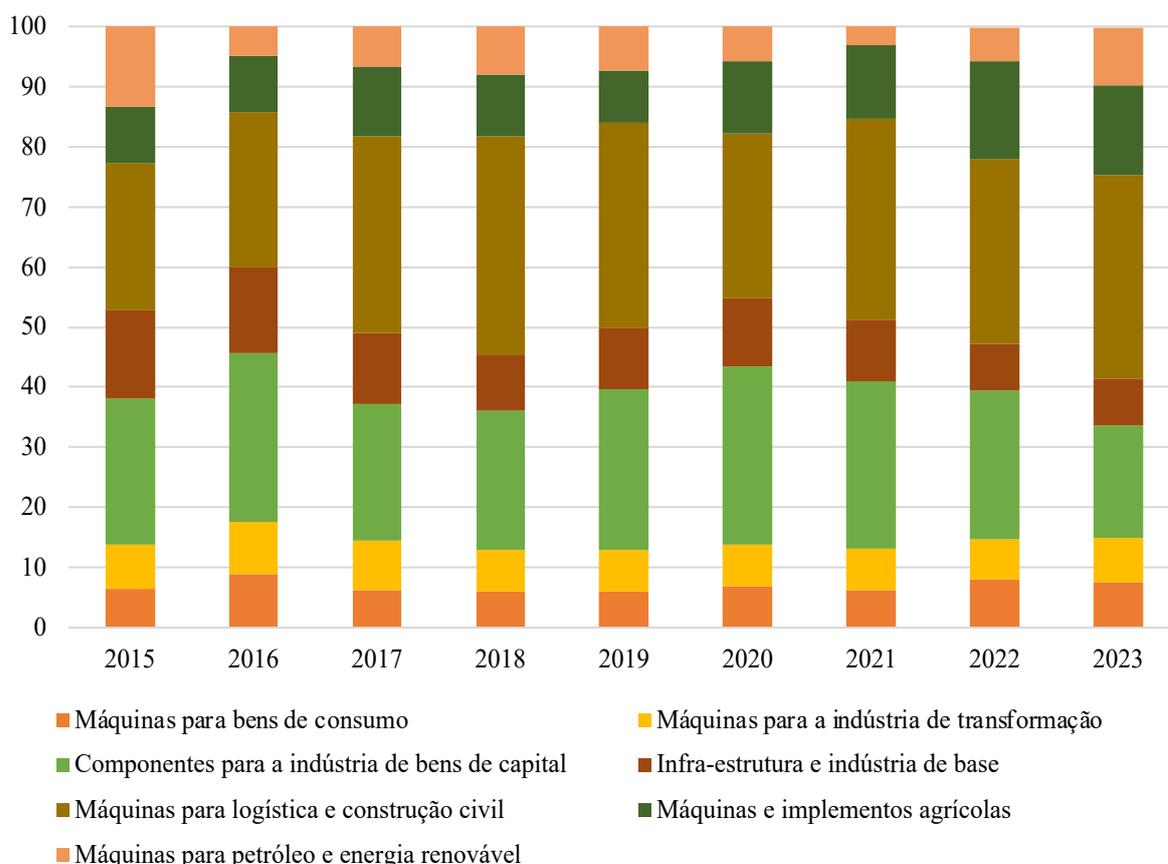
Gráfico 25 – Evolução da participação dos principais destinos das exportações de M&E brasileiras no período entre 2008 – 2023 (em %)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da SECEX/MDIC, Brasil (2024b).

Ainda sobre as exportações do setor, o Gráfico 26 apresenta as exportações de M&E desagregadas por subsetor. O segmento de máquinas para logística liderou as exportações do setor com média de 31% das exportações totais ao longo do período, puxado pela exportação de máquinas rodoviárias, que compreende cerca de 30% das vendas externas desse subsetor. Os componentes para a indústria de bens de capital obtiveram a segunda maior participação do setor, com média de 25,1%, destacando-se as exportações de motores, válvulas industriais, transmissão mecânica e geradores, seguidos pelas máquinas e implementos agrícolas, que, por sua vez, ocuparam a terceira posição, com média de 11,6% das exportações totais do setor no período.

Gráfico 26 – Evolução das exportações de M&E por subsetor²² no período entre 2015 – 2023



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da SECEX/MDIC, Brasil (2024b).

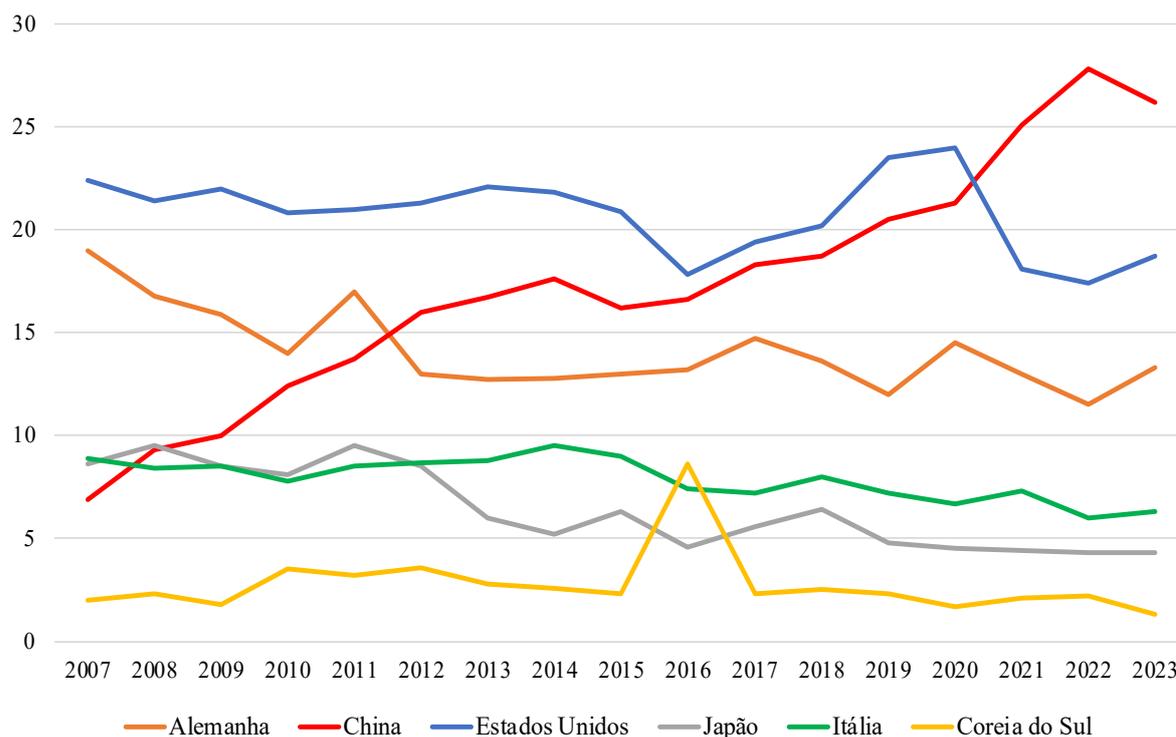
Nota: Os dados de exportações por subsetor foram disponibilizados somente a partir de 2015.

Em contrapartida, o maquinário importado pelo Brasil consiste em produtos de alto valor agregado, intensivos em tecnologia e maquinário de ponta. Assim, não surpreende que os principais países exportadores de M&E para o Brasil sejam as cinco potências tecnológicas do setor: China, responsável por quase 32% das exportações, seguida por Estados Unidos (18,7%), Alemanha (13,3%), Itália (6,3%), Japão (4,3%) e Coreia do Sul (1,3%), como apresenta o Gráfico 27. Vale ressaltar que, por anos, os Estados Unidos estiveram na liderança das

²² Os subsectores destacados acima compreendem as seguintes categorias: I) Máquinas para bens de consumo: equipamentos para ginástica; indústria alimentícia, farmacêutica e refrigeração; máquinas e acessórios para a indústria do plástico; têxteis; gráficos; madeiras; e outras; II) Máquinas para a indústria de transformação: equipamentos para pintura; ferramentas e modelações; fornos e estufas industriais; M&E para tratamento superficial; segurança; solda; M&E e instrumentos para controle de qualidade, ensaio e medição; e outras; III) Componentes para a indústria de bens de capital: ar comprimido e gases; bombas e motobombas; geradores; hidráulicos, pneumáticos e automação industrial; motores; transmissão mecânica; válvulas industriais e vedações; IV) Infraestrutura e indústria de base: equipamentos para cimento e mineração; saneamento básico e ambiental; e projetos e equipamentos pesados (exceto para petróleo e energia renovável); V) Máquinas para logística e construção civil: M&E para a indústria cerâmica; do mármore; construção civil; do vidro; máquinas rodoviárias; e movimentação e armazenamento; IV) Equipamentos para grama, jardinagem e manejo florestal; VII) Máquinas para petróleo e energia renovável: equipamentos navais e de offshore; máquinas para energia renovável e projetos e equipamentos pesados (exclusivos para petróleo e petroquímico) (Brasil, 2024).

exportações do setor para o Brasil, porém tem perdido importante fatia para a China que tem se apropriado de importante fatia do comércio internacional do setor, como já abordado anteriormente no Ensaio 1.

Gráfico 27 – Evolução da participação dos principais países de origem das M&E importadas pelo Brasil no período entre 2007 – 2023 (em %)



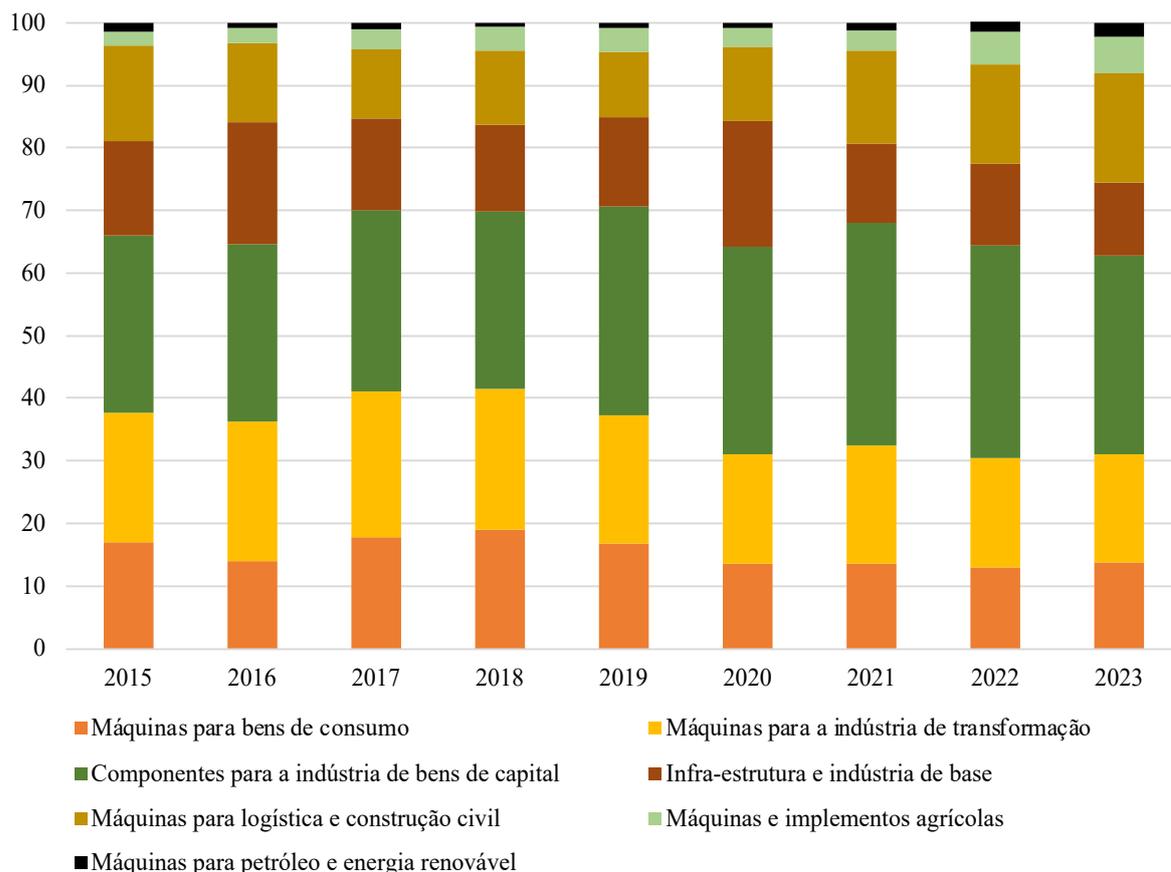
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da SECEX/MDIC, Brasil (2024b).

No que tange às importações por subsetor, o segmento de componentes para a indústria de bens de capital liderou as importações com média de 31,3% no período, como apresenta o Gráfico 28, puxado pela importação de transmissão mecânica. O segmento de máquinas para a indústria de transformação obteve a segunda maior participação do setor, com 20%, destacando-se as exportações de máquinas, equipamentos e instrumentos de controle de qualidade, ensaio e medição, bem como máquinas-ferramenta e sistemas integrados de manufaturas. As máquinas para bens de consumo, que, por sua vez, ocuparam a terceira posição, foram responsáveis por 15,3% das importações no período, sobretudo, para a indústria alimentícia, farmacêutica e refrigeração.

Por meio da análise dos Gráficos 26 e 28 é possível observar que as importações supriram parte relevante da demanda interna de M&E, em especial de componentes para a indústria de bens de capital, que registrou queda das exportações e aumento das importações no

período. Além disso, complementarmente ao Gráfico 17, observa-se que os segmentos que apresentaram maior redução do emprego são os que lideraram as importações. Por outro lado, o segmento que puxou os empregos do setor, segmento de máquinas agrícolas apresentou aumento tanto nas importações quanto nas exportações.

Gráfico 28 – Evolução das importações de M&E por subsetor no período entre 2015 – 2023



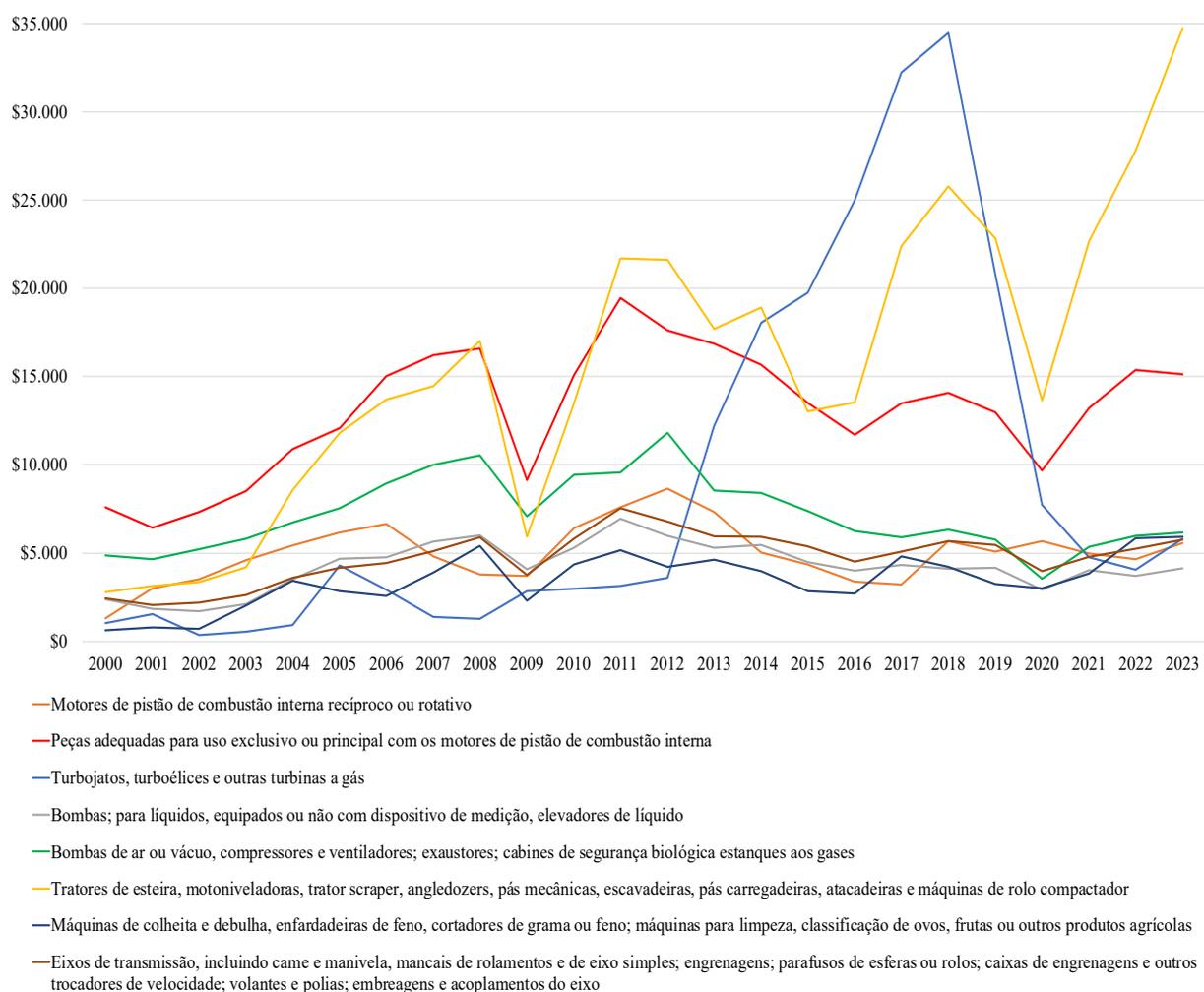
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da SECEX/MDIC, Brasil (2024b).

Nota: Os dados de importações por subsetor foram disponibilizados somente a partir de 2015.

O setor de M&E, desde a década de 1990, enfrenta um processo de reestruturação produtiva, decorrente da abertura econômica que mudou a dinâmica do setor, uma vez que a taxa de crescimento das importações aumenta mais rapidamente que a evolução produtiva interna, gerando queda no coeficiente de lucro da indústria nacional. Não obstante, as importações desempenham papel fundamental para o setor, sobretudo para suprir a demanda interna e preencher as lacunas dos bens de alta intensidade tecnológica, que, por sua vez, estão intimamente relacionados ao baixo dinamismo e à baixa competitividade dos produtos da indústria nacional.

Complementarmente, os Gráficos 29 e 30 apresentam as exportações e importações com mais uma desagregação por subsetor de M&E, segundo os dados do UN COMTRADE (2024). O Gráfico 29 mostra os subsectores com maior volume de exportações. O segmento de trator de esteira, motoniveladoras, trator scraper, angledozers, pás mecânicas, escavadeiras, pás carregadeiras, atacadeiras e máquinas de rolo compactador liderou as exportações em grande parte do período e alcançou quase US\$ 35 bilhões em 2023, seguido pelo segmento de peças adequadas para uso exclusivo ou principal com os motores de pistão de combustão interna, que alcançou cerca de US\$ 15 bilhões no mesmo ano. O segmento de turbojatos, turboélices e outras turbinas a gás também obtiveram destaque, sobretudo, entre os anos de 2012 e 2018, ano em que as exportações deste segmento alcançaram quase US\$ 35 bilhões.

Gráfico 29 – Evolução das exportações de M&E desagregadas por subsetor no período entre 2000 – 2023

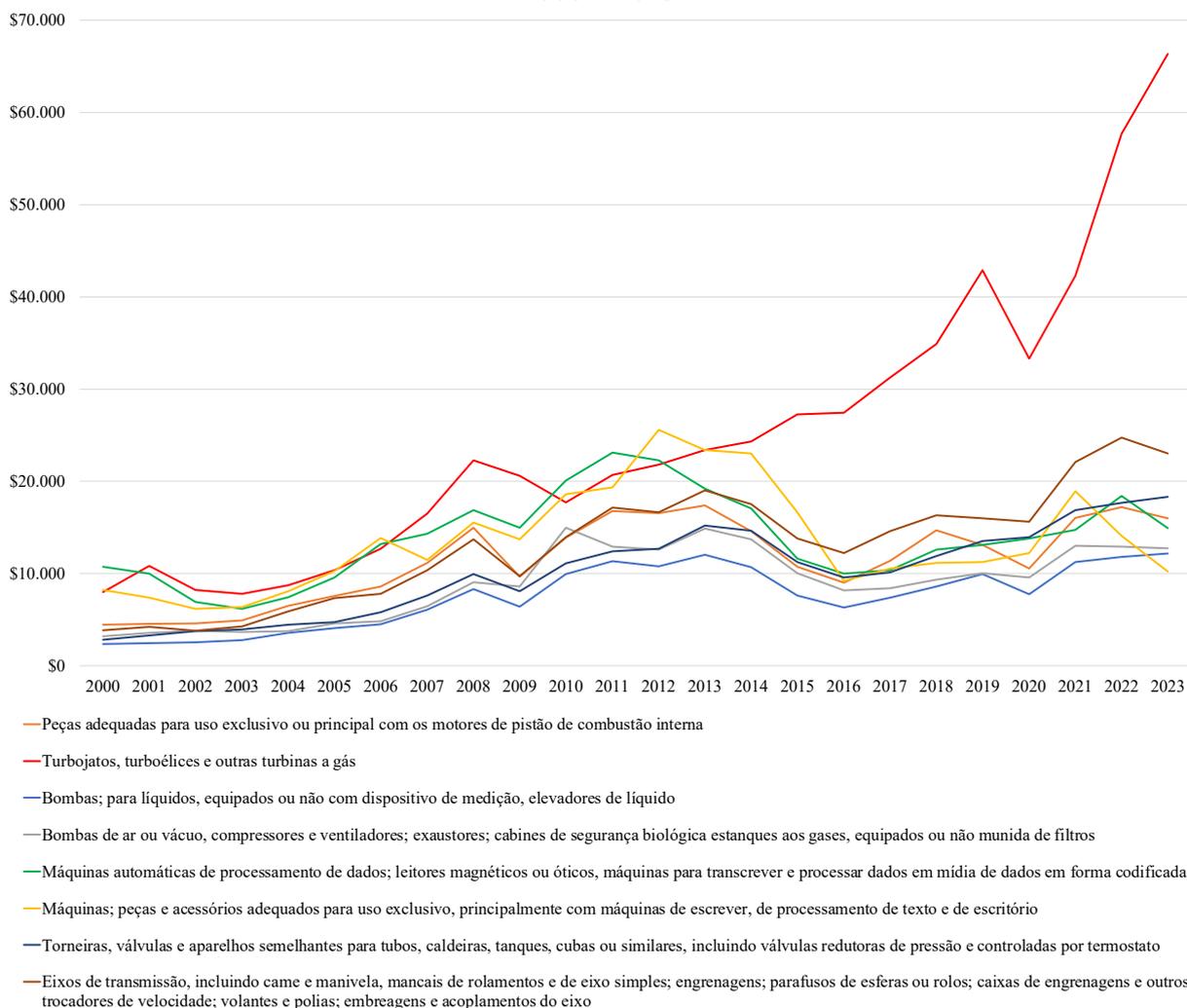


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do UN COMTRADE (2024).

Embora possua menor destaque no período, vale ressaltar que entre os maiores subsetores exportadores estão os segmentos de máquinas de colheita e debulha, enfardadeira de feno, cortadores de grama ou feno, máquinas para limpeza, classificação de ovos, frutas ou outros produtos agrícolas, que juntamente com o segmento de tratores representa a especialização em produtos do setor agrícola na pauta exportadora brasileira. Por fim, salienta-se que, assim como apresentado no Gráfico 25, a maior parte das exportações dos subsetores foram destinadas à América do Sul, com destaque para Argentina, e América do Norte, especialmente para os EUA.

Já em relação às importações por subsetores, o Gráfico 30 mostra que estas foram lideradas em quase todo o período pelo segmento de turbojatos, turboélices e outras turbinas a gás, que obteve destaque a partir de 2014, alcançando quase US\$ 70 milhões, em 2023, seguido pelo segmento de eixos de transmissão que alcançaram US\$ 23 milhões. Como apontado anteriormente, os dados também mostram que, diferentemente das exportações, verifica-se as importações consistem em produtos de maior valor agregado, como máquinas automáticas de processamento de dados, leitores magnéticos ou óticos e máquinas para transcrever e processar dados em mídia de dados em forma codificada. Assim como apresentado no Gráfico 27, os principais países exportadores destes segmentos de M&E para o Brasil são as maiores potências tecnológicas do setor, sendo elas China, EUA e Alemanha.

Gráfico 30 – Evolução das importações de M&E desagregadas por subsetor no período entre 2000 – 2023

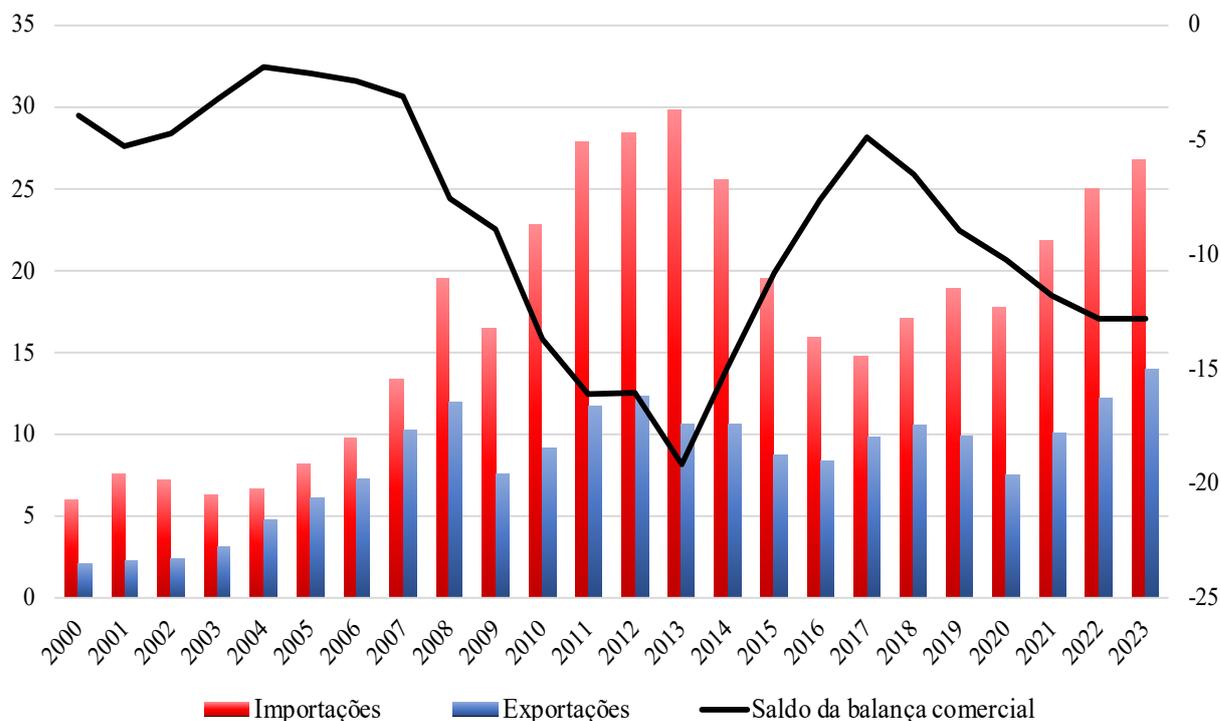


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do UN COMTRADE (2024).

Por meio do Gráfico 31, a partir dos dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX/MDIC), é possível observar a evolução das exportações, importações e do saldo da balança comercial da indústria brasileira de M&E no período 2000 – 2023. Entre os anos de 2000 e 2008, as exportações aumentaram de US\$ 2 bilhões para quase US\$ 12 bilhões e as importações de US\$ 6 bilhões para US\$19,5 bilhões, que puxou o aumento de 48% no consumo aparente. O crescimento acelerado da economia brasileira a partir de 2003, foi fortemente influenciado pelo cenário internacional e pelo ritmo de crescimento do comércio mundial em uma situação de liquidez dos mercados financeiros de modo que o PIB cresceu, em média, 4,1% ao ano. Além disso, o ritmo de crescimento e avanço do comércio mundial, bem como a abundância de fluxos de capitais, levou ao rápido crescimento das exportações brasileiras e a

um forte aumento da Formação Bruta de Capital Fixo, proporcionando melhora na balança comercial (especialmente entre 2003 e 2006) (Almeida, 2020).

Gráfico 31 – Exportações, Importações e Saldo da Balança Comercial da indústria brasileira de M&E, no período 2000 – 2023 (Valores em US\$ FOB – *Free on board*) (US\$ bilhões)



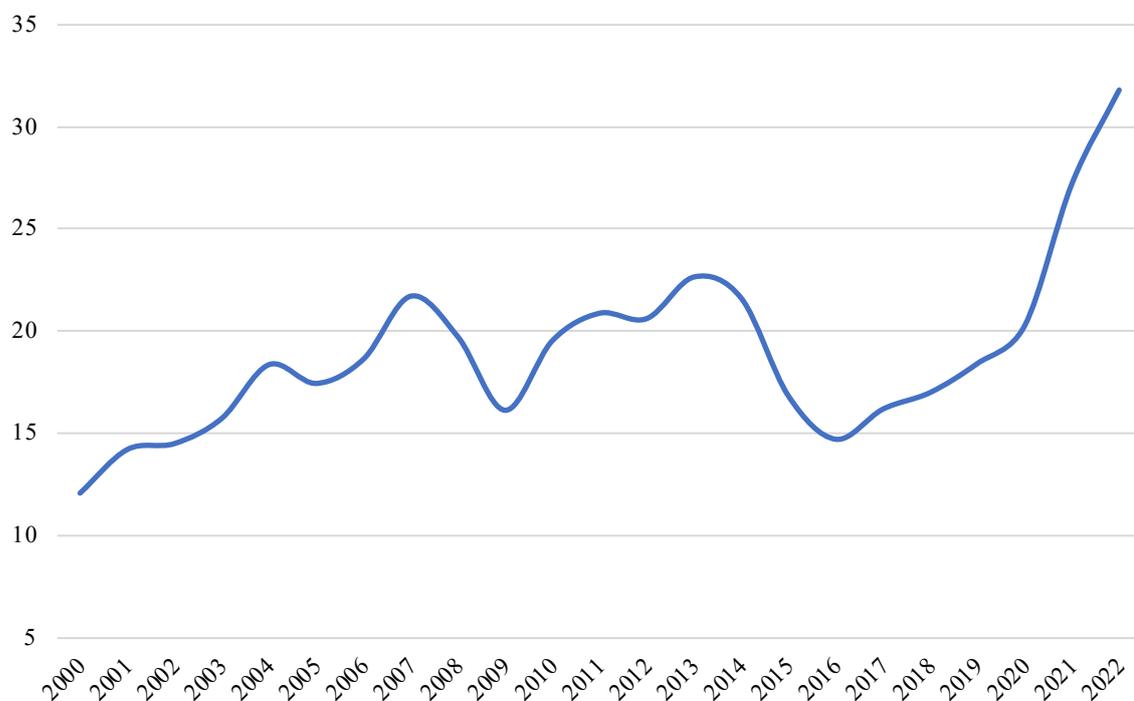
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da SECEX/MDIC, Brasil (2024b).

A crise financeira global de 2008 desencadeou uma queda generalizada na produção de vários países, uma contração no comércio internacional e, como resultado, diminuição das taxas de exportação. Entre 2008 e 2013, houve um aumento substancial nas taxas de importação do setor, ao passo que as exportações e a receita líquida de vendas (Gráfico 32) caíram drasticamente em 2009 como reflexo da crise. Entre 2011 – 2012 verifica-se recuperação das taxas de exportações e, por conseguinte, na receita líquida de vendas que alcançou cerca de R\$ 214 bilhões, maior patamar registrado ao longo do período. Acredita-se que parte dessa pequena elevação pode ser atribuída ao Programa de Sustentação do Investimento (PSI) criado em 2009 e operado pelo BNDES, que visava estimular a produção, aquisição e exportação de bens de capital e inovação tecnológica.

Apesar disso, as taxas de exportações não acompanharam na mesma proporção a taxa de crescimento das importações. Deste modo, a demanda doméstica foi sendo progressivamente atendida por produtos estrangeiros, particularmente aqueles de alta complexidade tecnológica,

resultando em queda no nível de participação da produção nacional no setor, déficits comerciais recorrentes e uma deterioração na balança comercial do setor de M&E.

Gráfico 32 – Receita Líquida de Vendas do setor de M&E brasileiro, no período 2000 – 2021
(Valores em R\$ bilhões) (Número-índice 2022 = 100)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA), Brasil (2024a).

Notas: Os valores foram deflacionados para o ano de 2022 a partir do Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC).

Em 2013, o setor de M&E importou quase US\$ 30 milhões, a maior taxa de toda a série histórica, por outro lado, aquele ano marcava o início de uma brusca queda das exportações e o recorde de déficit da balança comercial (US\$ -19,2 milhões), como mostra o Gráfico 29. A partir de então, a economia perdeu ritmo novamente e transformou-se na pior recessão econômica registrada no setor, com maior intensidade no período 2015 – 2017.

Entre os anos de 2013 e 2017, as importações reduziram a menos da metade e as exportações, embora também tenham apresentado queda, registraram ligeira recuperação a partir de 2016, acarretando a melhora do saldo comercial. Todavia, a crise econômica brasileira que afetou drasticamente o setor, somada a um cenário de volatilidade cambial, fez com que o setor registrasse queda consecutiva por quatro anos e acumulasse uma perda de cerca de 35% na receita líquida de vendas naquele período, como demonstrado no Gráfico 30.

A recessão econômica que o Brasil vem enfrentando nessa última década, com maior intensidade no período 2015 – 2017, trata-se, provavelmente, da maior crise da história da

indústria de M&E. Este advento fez com que as dificuldades internas amplificassem os obstáculos da indústria brasileira em acompanhar o desenvolvimento dos países industrializados na mudança do padrão de concorrência industrial e implantação de soluções baseadas em novos paradigmas tecnológicos.

Somente a partir de 2017 iniciou-se a retomada de crescimento no setor, ano que marcou o fim da recessão na indústria de M&E. O aumento na taxa de crescimento das exportações, assim como na taxa de crescimento das importações, que registraram recuperação após 4 anos consecutivos de queda, corroborou para a recuperação da capacidade de investimentos e diminuição do déficit comercial.

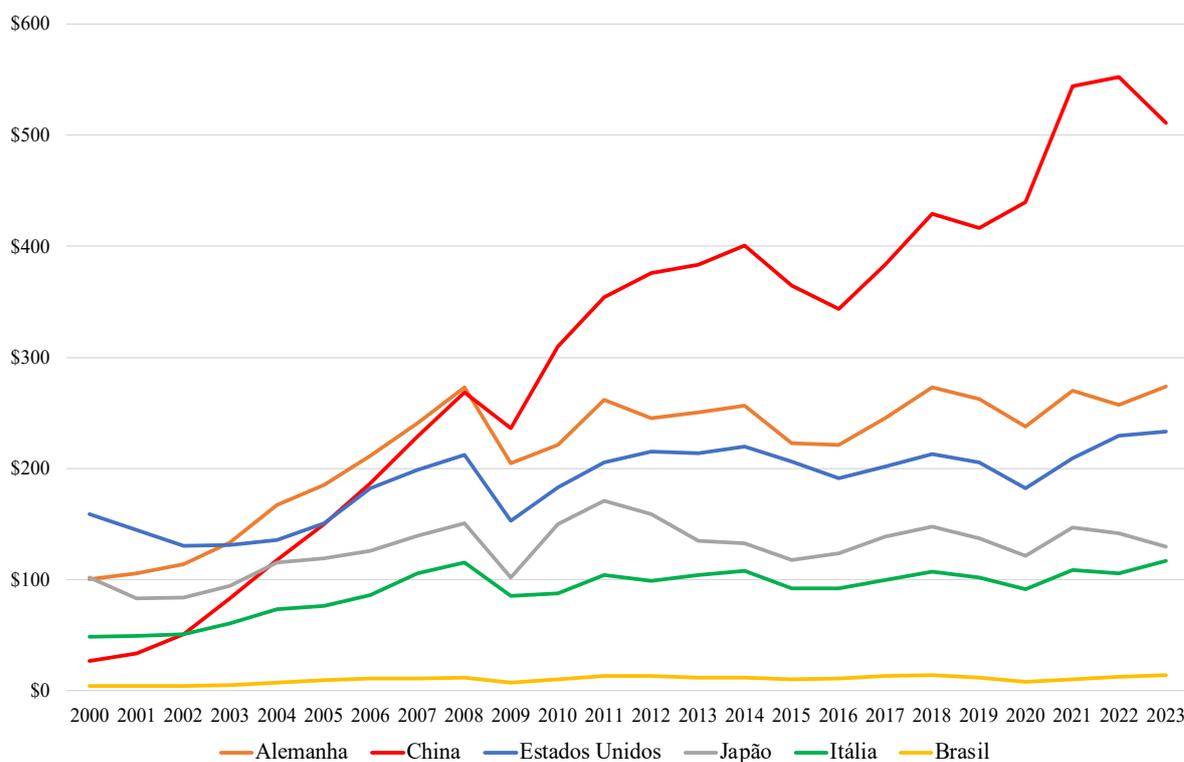
Em 2018, houve melhora no quadro das exportações e crescimento registrado de 13,4% no consumo aparente, mas este ainda continua em nível excepcionalmente baixo (R\$ 108 bilhões). Em 2019, o mundo foi surpreendido pela pandemia da Covid-19 que interrompeu o processo de recuperação do setor iniciado em 2018. No ano de 2020, as exportações de M&E despencaram para US\$ 7,5 milhões, mesmo patamar do período pós crise de 2008, como demonstrado no Gráfico 31. O ano de 2021 foi marcado por um período de recuperação econômica. Não obstante, a guerra entre Rússia e Ucrânia impactou a economia mundial, que ainda estava se reerguendo dos danos provocados pela pandemia, afetando as cadeias globais de fornecimento. No Brasil, esse impacto manifestou-se na escassez ou no aumento dos preços dos insumos produtivos, os quais alcançaram níveis recordes até o final do ano de 2021 (ABIMAQ, 2024).

Em 2022, verificou-se o começo de uma normalização no abastecimento de matérias primas e diminuição do custo de determinados materiais, em especial o aço, crucial na fabricação de máquinas e equipamentos, devido à desaceleração das atividades econômicas nas grandes economias. Diante disso, em 2023 as vendas de M&E de produção nacional aumentaram 24% e as exportações registraram quase US\$ 14 milhões, maior taxa de toda a série histórica. As importações, por sua vez, registram trajetória ascendente desde 2017, e alcançaram US\$ 26,8 milhões em 2023, no entanto, devido ao aumento das exportações é possível verificar uma redução da tendência de queda da balança comercial (Gráfico 31).

Em relação à demanda internacional, os Gráficos 33 e 34 apresentam o volume de comércio das exportações e importações do setor de M&E brasileiro comparado aos países líderes internacionais. 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, como apresentado no Gráfico 33.

Gráfico 33 – Volume de exportações do setor de M&E brasileiro em relação aos países líderes mundiais do segmento no período 2000 – 2023 (em US\$ bilhões)

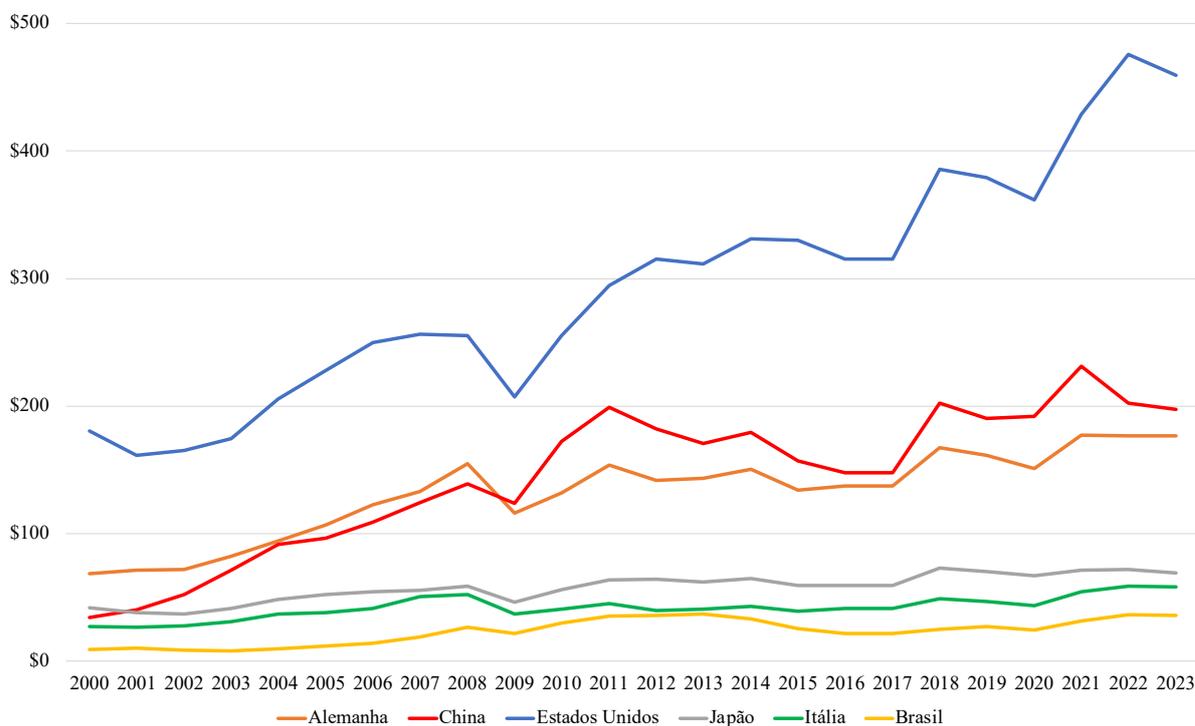


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do UN COMTRADE (2024).

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, como já demonstrado no Ensaio 1.

O Brasil, 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 (Gráfico 34), mas voltou a apresentar queda a partir de 2013 devido à recessão doméstica, já descrita anteriormente.

Gráfico 34 – 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 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.

3.4.5 Política industrial e tecnológica e incentivos à inovação²³

De acordo com Suzigan e Furtado (2010), até a década de 1970 o desenvolvimento do Brasil foi estimulado por políticas industriais implementadas por uma organização institucional do Estado construída a partir da década de 1930. Suzigan (1996) aponta que o Plano de Metas foi a primeira experiência efetiva de planejamento do desenvolvimento industrial como

²³ Esta seção apresenta as políticas industriais brasileira que, de algum modo, participaram diretamente no fortalecimento do setor de M&E, ou programas que ainda participam. Vale ressaltar que esta seção já foi tratada anteriormente na Dissertação de Mestrado (Almeida, 2020), que também abordou o mesmo setor em estudo nesta Tese. No entanto, esta seção se faz necessária na presente pesquisa por constituir um dos elementos do SSI do setor analisado e trazer alguns elementos novos que não haviam sido abordados na Dissertação de Mestrado.

elemento central de uma ampla estratégia de desenvolvimento econômico. Portanto, o II PND foi a segunda experiência, uma vez que se articulou um conjunto de investimentos públicos e privados na indústria e na infraestrutura econômica. Em síntese, essas políticas destacaram-se por criar uma estrutura industrial integrada e diversificada, entretanto, contavam com forte protecionismo, subsídios de várias naturezas, desatenção ao desenvolvimento tecnológico e à exportação, bem como ausência de prazos e metas (Suzigan; Furtado, 2010).

Nos anos 1980, o Brasil praticamente deixou de implementar políticas industriais apesar de várias iniciativas do governo para definir tais políticas, no entanto, pouco se concretizou (Suzigan; Furtado, 2010). Entre as iniciativas, é importante mencionar a aprovação da Lei da Informática (1984); e a criação do Ministério de Ciência e Tecnologia (1985). Entretanto, o intenso debate sobre a necessidade de implementação de políticas industriais por funcionários de governo, intelectuais, associações industriais e pelos trabalhadores deixaram algumas ideias consensuais que influenciariam os eventos futuros (Suzigan; Villela, 1997).

Em 1991, definiu-se a Política Industrial e de Comércio Exterior (PICE) com ênfase em políticas horizontais, que se mostrou ineficaz e não resistiu às crises política e econômica do governo Collor. Durante os governos Fernando Henrique Cardoso, observa-se que nenhuma política industrial abrangente foi implementada, além de passar a ser considerada por muitos nociva ao equilíbrio resultante do livre jogo de mercado (ABDI, 2015; Suzigan; Villela, 1997). Um novo conjunto de diretrizes para o desenvolvimento industrial foi emitido, mas permaneceu ineficaz devido à falta de suporte entre o governo e os objetivos macroeconômicos de estabilização do Plano Real (Suzigan; Villela, 1997).

Não obstante, acreditava-se que crescimento e desenvolvimento viriam com a abertura comercial e financeira, desregulamentação na atuação do capital estrangeiro e bom estado dos fundamentos macroeconômicos. Nesse sentido, observou-se uma política industrial “ao contrário”, iniciando um ciclo de privatizações, financeirização e desnacionalização significativa do legado deixado pelo período dos governos militares (ABDI, 2015).

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.

Com uma guinada fortemente horizontal, poucas cadeias produtivas priorizadas e altamente seletiva, a PITCE foi uma política pública inovadora, cujo setor de bens de capital foi escolhido entre os setores prioritários da política industrial por ser difusor de progresso técnico e devido aos seus efeitos multiplicador e de *spillovers* ao longo da cadeia produtiva (Além; Pessoa, 2005; ABDI, 2015). Por outro lado, nesse setor, a indústria brasileira ocupava posição de prestígio somente em mercados menos sofisticados, pois não desenvolveu competência em eletrônica, que poderia ser amenizada pelas ações em semicondutores e mecânica fina, também denominada de mecânica de precisão, pois requer o aprimoramento das tecnologias de processo para fabricar produtos de alta precisão (Salerno; Daher, 2006).

Posto isso, Salerno e Daher (2006) advogam que para o fortalecimento do setor de bens de capital brasileiro, instituiu-se três medidas por meio da PITCE, sendo elas: I) facilitar a aquisição de máquinas e equipamentos por todos os segmentos da economia via Programa de Modernização do Parque Industrial Nacional (MODERMAQ), Financiamento de Máquinas e Equipamentos (FINAME) e outros, visando a criação de demanda e o fortalecimento dos produtores brasileiros; II) criação da linha de financiamento para projeto, produção e compra de bens por encomenda (*turn key, main contractor*, serviços de engenharia) pelo BNDES; III) iniciativas de comercialização internacional, via contratos entre o setor produtor e a Apex-Brasil, viabilizando a prospecção de mercados e inteligência comercial para o setor, bem como a participação de produtores brasileiros nas principais feiras internacionais do segmento industrial.

Somado a isso, durante a PITCE houve esforços para desonerar o investimento, a produção e as exportações. Deste modo, foram zeradas as alíquotas de Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para bens de capital, estabeleceu-se a isonomia tributária entre produtos importados e produzidos no país, aplicando aos primeiros a contribuição para o Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (Cofins). Além disso, aprovou-se a isenção da contribuição para o Programa de Integração Social e o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público, mais conhecidos como PIS/PASEP, e para o Cofins para a compra de

máquinas e equipamentos por empresas exportadoras que exportassem pelo menos 80% de sua produção (Cano; Silva, 2010).

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, e, além disso, pela fragilidade de coordenação do processo de execução (Suzigan; Furtado, 2006). Todavia, apesar das dificuldades em alcançar os resultados esperados, a PITCE possibilitou a conformação de bases mais sólidas para as políticas industriais posteriores.

A política industrial foi novamente delineada com a implementação da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), em 2008, que visava dar sustentabilidade ao ciclo de expansão da economia, além de reestruturar e aprofundar as medidas anteriormente estabelecidas na PITCE. Segundo Ulhôa, Botelho e Avellar (2019), a PDP foi articulada com uma abrangência bastante superior à PITCE, sobretudo, sob a perspectiva da ampliação dos setores produtivos; da disponibilidade de recursos orçamentários, fiscais (desonerações tributárias), créditos direcionados aos objetivos do programa, subvenções econômicas; bem como da ampliação dos financiamentos via Sistema BNDES.

A PDP estabeleceu programas para vinte e cinco setores, dentre eles, o setor de bens de capital – bens de capital seriados e sob encomendas – também recebeu destaque e inseria-se entre os programas para fortalecer a competitividade. Tendo em vista o grande potencial de crescimento, com estimativa de ampliação do investimento fixo/PIB para 21% em 2010, as metas para o setor de bens de capital seriados visavam investimentos de US\$11,5 bilhões para 2008-2010, além de ampliar os gastos em P,D&I/faturamento líquido de 1,32% para 2,0% e ampliar as exportações de US\$ 16,7 bilhões para US\$ 22,3 bilhões, em 2010. Tais metas buscavam, sobretudo, ampliar o potencial competitivo da indústria de M&E por meio da estratégia de conquista de mercados, sob a gestão do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC) (IEDI, 2011).

Em relação ao setor de bens de capital sob encomenda objetivava-se ampliar a competitividade e inserção externa da indústria brasileira por meio da estratégia da focalização (especialização). Também sob a gestão do MDIC, as metas visavam aumentar gastos em P,D&I/faturamento líquido de 0,55% para 0,80% e ampliar exportações para US\$ 4,4 bilhões em 2010 (US\$ 2,9 bilhões em 2007). Assim como os bens de capital seriados, os bens de capital sob encomenda possuíam grande potencial de crescimento, sobretudo, por meio dos investimentos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e estimativa de ampliação do

investimento fixo/PIB para 21% em 2010, além de projetos de integração da infraestrutura sul-americana.

Em contrapartida, além da grande heterogeneidade intraindustrial, característica inerente ao setor de M&E, com baixo nível de eficiência o segmento possuía outros desafios que consistiam, principalmente, em expandir capacidade de produção, adensar a cadeia produtiva e fortalecer empresas de capital nacional (ECNs), apoiar a consolidação empresarial, ampliar inserção internacional das empresas, aumentar capacitação tecnológica e fortalecer engenharia básica e detalhamento de projeto (IEDI, 2011).

Em relação ao setor de M&E, a PDP avança em maior ou menor grau em vários pontos, de modo que, alguns aspectos demandados foram atendidos no âmbito do programa. Dentre esses pontos estão a expansão da capacidade de produção com medidas de estímulo ao investimento e desoneração tributária, por meio da reestruturação do Fundo de Investimentos em Direitos Creditórios (FIDC) criado pela ABIMAQ, que visava incentivar os financiamentos para produção e modernização dos parques fabris das empresas do setor de M&E, além do adensamento da cadeia e fortalecimento das empresas nacionais, por meio da prorrogação da vigência do Programa FINAME no âmbito do MODERMAQ (ABIMAQ, 2008).

Assim como apontam Ulhôa, Botelho e Avellar (2019), os resultados prospectivos da PDP ficaram bastante aquém das metas estabelecidas. Não obstante, a crise desencadeada a partir da economia norte-americana (crise do *subprime*), impôs severas limitações nos cenários macroeconômicos interno e externo, cujos efeitos também afetaram o nível de atividade econômica no Brasil. Logo, vale ressaltar que, embora não tenha cumprido suas metas, a PDP avançou muito na articulação e abrangência de instrumentos de política industrial. Nesse sentido, Stein e Herrlein Júnior (2016) enfatizam a importância da redução do IPI para uma ampla gama de setores, a prorrogação da depreciação acelerada para novos investimentos, a redução do prazo para ressarcimento do PIS/PASEP e Cofins na compra de máquinas e equipamentos, e talvez o mais importante deles, destacou-se o financiamento e os créditos concedidos pelo BNDES.

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 no governo da presidenta Dilma Rousseff, sob o lema “Inovar para competir, competir para crescer” e 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 (ABDI, 2016;

BRASIL, [s.d.]c).

Entretanto, de acordo com Ulhôa, Botelho e Avellar (2019), 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. Somado a este fato, a apreciação cambial criara a necessidade de engendrar esforços de uma inserção externa ancorada em setores dinâmicos e com capacidade de gerar progresso técnico. Além disso, buscava-se que o PBM desempenhasse importante papel no enfrentamento da crise internacional, exercendo uma função anticíclica, sobretudo, capaz de atuar na manutenção dos postos de trabalho e funcionar como eixo de sustentação da dinâmica industrial, proporcionando o diálogo entre o poder público, o empresariado e a sociedade (ADB, 2016).

Operando em estreita articulação com a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI), o PBM visava promover o adensamento produtivo e tecnológico, ampliação de mercados, bem como criação e fortalecimento de competências críticas a partir de um desenvolvimento sustentável. Para tanto, as diretrizes dos projetos e programas foram contempladas em duas dimensões: I) estruturante – diretrizes setoriais, e II) sistêmica – temas transversais (BRASIL, [s.d.]c). O setor de bens de capital insere-se na dimensão estruturante, no bloco chamado “sistemas da mecânica, eletroeletrônica e saúde”. É importante ressaltar que os setores inseridos nessa categoria são, tradicionalmente, de alta intensidade tecnológica, demonstrando a necessidade de fomentar o desenvolvimento dos setores com maior capacidade de gerar tecnologias avançadas, conteúdo tecnológico direcionado ao processo produtivo e alto potencial de difusão de inovações, além de gerar encadeamentos produtivos de alta qualidade.

As diretrizes traçadas no PBM balizaram as discussões no âmbito dos dezenove Conselhos de Competitividade Setorial, de modo que foram estabelecidas agendas estratégicas setoriais para cada um dos setores. A agenda estratégica do setor de bens de capital foi delineada visando alcançar três principais objetivos, a saber: I) aumentar o consumo aparente de bens de capital e reduzir o coeficiente de importação; II) aumentar as exportações de bens de capital, e; III) aumentar a competitividade da indústria de bens de capital CNDI (2013).

Nota-se que os objetivos estratégicos do PBM delineados para o setor de bens de capital são os mesmos da PDP. Este fato reforça a ideia de continuidade dos planos anteriores, ou seja, é necessário reestruturar e aprofundar as medidas sem mudar os rumos da política anteriormente estabelecida. Além disso, “os primeiros esforços devem ser direcionados para garantir que a

política industrial se consolide como um instrumento permanente e qualificado para a promoção da competitividade da indústria nacional e do desenvolvimento do país” (IEDI, 2011, p. 81).

O pacote de ações do PBM, que engloba modificações em desoneração, financiamentos, inovação e defesa comercial, tem como mérito o fato de colocar os problemas da competitividade, inovação e densidade da estrutura industrial brasileira na agenda do país. No entanto, naquele momento a ABIMAQ já pautava a necessidade de definir uma estratégia clara para o futuro da indústria brasileira, haja vista que o excesso de metas, bem como a falta de instrumentos e mecanismos efetivos para o alcance dos objetivos propostos, também foram levantados como falhas do PBM. Outro aspecto citado refere-se à demora na implementação das medidas *vis-à-vis* ao curto prazo de vigência, uma vez que os problemas enfrentados pela indústria demandam soluções de longo prazo e regras estáveis (ABIMAQ, 2011).

Ao realizar uma análise acerca do arranjo institucional do PBM, Schapiro (2014) conclui que os problemas do PBM estão associados às debilidades no arranjo político-institucional, tanto na dimensão técnico-administrativa, quanto na dimensão política. Para o autor a política industrial ainda padecia de uma cacofonia decisória, proporcionada por um arranjo institucional oco, uma vez que, não era centralizada em uma única agência de Estado, i.e, possuía representantes de diversos ministérios. Além disso, somava-se ainda ao problema de fragmentação de representação do setor industrial, haja vista que, diversos órgãos tornaram-se responsáveis pela política industrial. O autor verificava, portanto, um problema de coordenação intragovernamental.

O Brasil Mais Produtivo (B+P) foi um programa do governo federal lançado em 2016, ao final do governo Dilma, que teve continuidade no governo Temer, até a conclusão da primeira etapa, em 2018, e vigora até os dias atuais. Coordenado pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), o B+P visava elevar o crescimento da produtividade industrial que, por sua vez, consiste em um dos grandes desafios para o crescimento e desenvolvimento do país. Sendo assim, o B+P foi um instrumento de promoção da produtividade intrafirma, por meio da implementação de melhorias rápidas, de baixo custo e alto impacto, voltado às empresas industriais brasileiras de pequeno e médio porte, por meio de ferramentas de manufatura enxuta, ou *lean manufacturing* (Brasil, 2024; CEPAL/IPEA; 2018)

O B+P teceu uma governança complexa no desenho da iniciativa que incluía diferentes instituições que estavam na órbita do MDIC. Deste modo, além do MDIC, o B+P contou com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai), que, por meio de seus consultores contratados, executou a política no chão de fábrica, a ABDI, a Apex-Brasil, bem como com a

parceria do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) e apoio do BNDES. Com a implementação, a governança do Programa B+P passou a ser exercida por meio de comitês nacionais específicos, coordenados pelo MDIC e compostos pelos parceiros do programa., e.g., os Comitês de Orientação Estratégica e os Comitês de Orientação Técnica de Manufatura Enxuta, de Eficiência Energética e de Digitalização e Conectividade (BRASIL, 2024; CEPAL; IPEA, 2018).

É importante frisar que o desenho do B+P não teve a mesma abrangência e complexidade em relação aos programas implementados anteriormente. O B+P mostrou sua relevância em uma dimensão pontual da política industrial e apresentou ações para aumento da produtividade intrafirma, com apoio de um conjunto de articulações pensadas para setores mais maduros, porém sem amplos programas estratégicos, sobretudo, para a indústria de ponta. Além disso, a implementação se deu mediante melhorias rápidas, de baixo custo e com a realização de projetos pilotos para sua ampliação. Todavia, as empresas do setor de M&E foram contempladas por cumprirem os requisitos e estarem entre os setores selecionados para a implementação das ferramentas do B+P, (e.g. o segmento metalmeccânico no ramo da ferramentaria, em especial, pela CNAE 28 que compreende a fabricação de máquinas e equipamentos).

Após alguns anos de descontinuidade e desmantelamento das políticas industriais, neste ano de 2024, o Governo lançou uma nova política industrial, chamada Nova Indústria Brasil (NIB), que visa impulsionar o desenvolvimento nacional, até 2033. Deste modo, a NIB busca estimular o desenvolvimento produtivo e tecnológico, ampliar a competitividade da indústria brasileira, nortear o investimento, promover melhores empregos e impulsionar a presença qualificada do país no mercado internacional. Segundo Brasil (2024), 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, as atividades inovativas das firmas foram potencializadas pelos diversos instrumentos de apoio do governo durante a vigência dos programas e evoluíram em proporção superior quando comparadas às empresas não beneficiadas (Almeida, 2020). Todavia, houve descontinuidade na implementação dos programas de apoio à inovação entre o primeiro e o segundo governo Dilma (2011 – 2016), sobretudo, pelos efeitos da crise econômica doméstica (Almeida; Botelho, 2020). Desde então, 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.

3.5 Considerações finais

Este ensaio buscou analisar o SSI do setor de M&E brasileiro, com o intuito de identificar as características intrínsecas a esse sistema e traçar uma análise comparativa entre os SSI dos líderes do setor analisados no primeiro Ensaio. As estratégias dos líderes mundiais do segmento são exemplos para que o Brasil possa aprender com suas trajetórias, sobretudo a chinesa. Esta possui maior similaridade devido ao processo de industrialização tardia e o fato de ser um país seguidor em termos de C,T&I até o início dos anos 2000. Nesse sentido, os resultados da análise poderão ser utilizados como ferramentas para auxiliar na conformação de políticas públicas de inovação e estratégias de apoio ao direcionamento do SSI brasileiro que

visem aumentar o ritmo de incorporação do progresso técnico e a redução do hiato tecnológico em relação aos países líderes do setor, de modo a fortalecer o aumento da competitividade e a capacidade inovadora da indústria brasileira.

Ao traçarmos uma linha de comparação entre o SSI brasileiro de M&E em relação aos países líderes mundiais do setor (Alemanha, China e Estados Unidos), como apresentado no Quadro 5, observa-se que, no Brasil, o segmento apresenta determinadas características intrínsecas que não correspondem ao padrão de desenvolvimento dos líderes do setor no âmbito internacional. O Ensaio 1 evidenciou que estes consideram o setor de M&E como um dos elementos da força motriz da economia e evidenciam um protagonismo da atuação estratégica do Estado na conformação e modernização do SSI.

Os líderes do setor possuem políticas industriais bem definidas que incentivam a inovação e a competitividade no setor de M&E, além de forte apoio governamental, por meio de financiamentos de projetos de P&D e investimentos massivos em inovação tecnológica. Além disso, o Estado esteve no centro do desenvolvimento do setor de M&E, atuando como um dos principais demandantes dos produtos para outros setores-chave da economia, fomentando o desenvolvimento da cadeia produtiva, bem como por meio da atuação de empresas estatais.

Em contrapartida, no Brasil, verifica-se que os esforços governamentais, historicamente, concentraram-se no apoio à compra de M&E com tecnologias incorporadas, bem como produção e comercialização dos bens de capital de menor conteúdo tecnológico em relação aos países mais desenvolvidos, deixando o apoio à inovação em segundo plano ou a cargo de políticas horizontais. Além disso, os dados mostram que, ao longo de todo o período analisado, o aumento nos empregos do setor foi puxado pelo subsetor de máquinas agrícolas, segmento de tratores, que evidencia o fortalecimento de uma dinâmica de especialização produtiva regressiva em atividades de menor conteúdo tecnológico. Somado a isso, verificou-se que a maior parte do maquinário importado pelo Brasil é proveniente das cinco potências tecnológicas do setor e consiste em produtos de maior valor agregado do que os produtos exportados, bem como, intensivos em tecnologia e maquinário de ponta, como mostram os dados de importações e exportações por subsetor. Logo, o setor de M&E brasileiro padece das mesmas carências referentes ao aprendizado e inovação tecnológica que os demais setores industriais.

Quadro 5 – Síntese das principais características do SSI do setor de M&E brasileiro em relação aos líderes mundiais do segmento

Elementos SSI	Alemanha	China	Estados Unidos	Brasil
Estrutura	Composto em sua maioria por PMEs + grandes <i>clusters</i>	Composto em sua maioria por PMEs + grandes <i>clusters</i>	Composto em sua maioria por PMEs + grandes <i>clusters</i>	Composto em sua maioria por PMEs
Concentração de empresas líderes	Alta	Baixa	Alta	Baixa
Demanda	Nacional e Internacional	Nacional e Internacional	Nacional e Internacional	Nacional e Internacional em produtos de menor conteúdo tecnológico
Redes de interação e cooperação	Forte tradição de cooperação entre governo, indústria, institutos de pesquisa e universidades	Menor interatividade entre indústria e universidade, com algumas relações ainda muito incipientes	Estreita relação entre governo, indústria, institutos de pesquisa, universidades e setor militar	Fraca interatividade entre os agentes do SSI, com algumas relações ainda muito incipientes
Política Industrial e Tecnológica	Fortemente ativa	Fortemente ativa	Fortemente ativa	Pouco ativa com períodos de inatividade
Atuação do Estado e Estrutura de Governança	Forte e descentralizada; sistema de governança colaborativo envolvendo governo, indústria e academia	Forte e centralizada; governo desempenha papel diretivo e define claramente as prioridades tecnológicas nacionais e de financiamento para projetos estratégicos como um componente central da estratégia de desenvolvimento econômico do país	Forte e descentralizada; setor privado possui papel importante na definição de prioridades de inovação; governo focando em apoiar a pesquisa básica e criar um ambiente propício para <i>startups</i> e inovação empresarial	Fraca e descentralizada; os esforços governamentais concentraram-se no apoio à compra de M&E com tecnologias incorporadas, bem como produção de bens de capital de menor conteúdo tecnológico em relação aos países mais desenvolvidos, deixando o apoio à inovação em segundo plano ou a cargo de políticas horizontais
Base tecnológica	Avançada, por meio de novas tecnologias digitais, com foco em automação, digitalização, inteligência artificial e C,T&I	Mediana; grandes esforços para aumentar a capacidade inovadora da indústria nacional e alcançar a liderança tecnológica global	Avançada, por meio de novas tecnologias digitais, com foco em automação, digitalização, inteligência artificial e C,T&I	Madura, formada por firmas seguidoras ou com estratégias tecnológicas passivas, imitativas e com baixos esforços inovativos; muitas das empresas líderes são multinacionais estrangeiras; líderes nacionais investem pouco em P&D
Educação	Investe fortemente na educação técnica e na formação profissional; programas como o sistema dual de educação combinam aprendizado com treinamento prático em empresas, garantindo uma força de trabalho qualificada	Programas educacionais focados em ciência, tecnologia, engenharia e matemática são fortemente incentivados. Além disso, há uma ênfase em atrair talentos estrangeiros e promover o retorno de estudantes chineses que estudaram no exterior	Foco no desenvolvimento de habilidades e capacitação do capital humano; programas educacionais e de treinamento são alinhados com as necessidades da indústria para garantir uma força de trabalho qualificada e inovadora	Programas educacionais focados em ciência, tecnologia e engenharia são incentivados; uma das maiores estratégias tem sido o financiamento de programas de intercâmbios que visam qualificar estudantes brasileiros no exterior para que o conhecimento seja aplicado no Brasil
Fontes de Financiamento e Investimentos em P&D	Públicas e privadas; equilíbrio entre incentivos fiscais para P&D, financiamento para projetos colaborativos de P&D, subsídios governamentais e investimentos privados	O governo é a principal fonte de financiamento para P&D, com grandes investimentos em infraestrutura e desenvolvimento tecnológico diretamente suportados pelo Estado	Públicas e privadas, diversos incentivos fiscais e crédito disponível para empresas que investem em P&D, subsídios governamentais e uma gama de investimentos privados	Públicas e privadas, porém com poucos instrumentos de apoio ao setor; maior destaque ao programa FINAME do BNDES
Enfoque Inovativo	Enfoque em inovações incrementais, melhorando continuamente tecnologias existentes e processos de manufatura	Inovações incrementais e radicais, mas com uma estratégia de alcançar rapidamente a fronteira tecnológica global, combinando inovações incrementais com a adoção e adaptação rápida de tecnologias estrangeiras	Maior foco em inovações radicais e disruptivas, com um ambiente de maior tolerância ao risco e um forte ecossistema de <i>startups</i>	Historicamente, o foco esteve no apoio à compra de M&E com tecnologias incorporadas; o setor é composto por muitas firmas seguidoras ou com estratégias tecnológicas passivas, imitativas e com baixos esforços inovativos
Integração com CGV	Altamente integrada com as CGV, exportando produtos de alta qualidade e tecnologia para todo o mundo	Altamente integrado globalmente, porém, 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	Altamente integrados globalmente, com um foco maior em inovações tecnológicas que são comercializadas globalmente	Baixa integração às CGV
Propriedade Intelectual	Sistema robusto de proteção de propriedade intelectual, incentivando a inovação ao garantir que inventores e empresas possam proteger e lucrar com suas invenções	Ainda enfrenta desafios referentes à propriedade intelectual; promove políticas que incentivam a transferência de tecnologias estrangeiras para empresas locais, muitas vezes como condição para o acesso ao mercado chinês, como <i>joint ventures</i> e parcerias	Sistema robusto de proteção de propriedade intelectual, incentivando a inovação ao garantir que inventores e empresas possam proteger e lucrar com suas invenções	Ainda enfrenta desafios referentes à política de propriedade intelectual; em alguns casos a morosidade do processo somada ao tempo vigente da patente fazem com que as patentes deixem de ser um estímulo à inovação devido ao longo monopólio temporário e se transformem em uma ferramenta de inibição da concorrência

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados mostram que, ao longo de quase todo o período analisado, a predominância da dinâmica inovativa do setor esteve fincada na aquisição de M&E. Embora tal participação tenha sofrido sucessivas quedas, caindo de 66%, na PINTEC (2008) para 26,5% na PINTEC (2017), sua predominância mostra que a aquisição de tecnologia incorporada em M&E representou a principal atividade inovativa na estrutura dos gastos realizados com inovações pelas firmas do setor, com exceção da PINTEC (2017), onde ocupou a segunda posição na participação dos dispêndios nas atividades inovativas.

Portanto, uma característica estrutural marcante no setor brasileiro de M&E é sua relativa defasagem tecnológica, de modo que as firmas acabam se especializando no fornecimento de máquinas de menor grau tecnológico. Isso diminui a produtividade e a competitividade do país e dificulta que o setor avance tecnologicamente, haja vista que a difusão de tecnologia ainda é feita, em muitos casos, por meio da aquisição de maquinário importado. Somado a isso, acredita-se que os incentivos governamentais estão muito aquém do necessário para alavancar o desenvolvimento industrial no país.

Em relação ao apoio do governo, no Brasil, verificou-se um conjunto de mudanças do aparato político-institucional que direcionou substancialmente o apoio do governo ao estímulo à inovação a partir dos anos 2000. Assim, as atividades inovativas das empresas do setor de M&E foram potencializadas pelos diversos instrumentos de apoio do governo e evoluíram favoravelmente em comparação às empresas não beneficiadas (Almeida; Botelho, 2020). Entretanto, verifica-se também debilidades da política industrial, especialmente sua face não transformadora, sendo consideradas esparsas e descontinuadas e, portanto, insuficientes para engendrar um desenvolvimento alavancado para o setor.

A dinâmica inovativa do setor continuou ancorada na aquisição de M&E, fato que reforça a dependência externa quanto à capacitação tecnológica. Ao contrário dos países líderes, onde o governo direcionou importantes esforços para o desenvolvimento do setor e da indústria como um todo (The White House, 2013; CGEE, 2013; HUAON, 2021; BMKW, 2022a; GTAI, 2022), no Brasil, os programas de apoio à inovação foram sendo desarticulados entre 2011 e 2016, sobretudo, pelos efeitos da crise internacional e pelos problemas internos, como a crise fiscal. Assim, a não centralidade da política industrial no conjunto das políticas públicas e a sua interrupção ao final do período produziram resultados que podem ser considerados parciais e sofreram descontinuidade, necessitando ser tratada como uma área estratégica pelo governo federal para elevar o patamar da indústria brasileira e do setor de M&E (Almeida, Botelho, 2020).

A China e o Brasil são considerados exemplos importantes de industrialização nas economias em desenvolvimento. Não obstante, nos últimos anos, estas economias seguiram caminhos diferentes de crescimento econômico. A China se destaca por sua trajetória de *catching-up* industrial e tecnológico em um curto período de tempo, bem como pela estratégia que visa conquistar a liderança no novo paradigma tecnológico global, enquanto a economia brasileira sofreu um processo de *falling behind*. Embora ainda exista uma lacuna frente às potências tecnológicas globais devido à dependência tecnológica estrangeira em relação ao maquinário de ponta, a China assumiu a liderança no volume de produção e exportações globais do setor de M&E.

Os chineses têm investido e tentado alcançar a independência tecnológica fabricando seus produtos com tecnologia própria, enquanto a economia brasileira tem vivenciado, nos últimos anos, uma especialização regressiva e um processo de desindustrialização, que remonta ao interrompimento da trajetória de crescimento econômico com diversificação industrial, na década de 1980, e seu aprofundamento como resultado das reformas liberais na década de 1990. A diferença entre tais trajetórias se deve, em grande parte, a diferentes estratégias de políticas industriais e macroeconômicas, sobretudo no que diz respeito à gestão da taxa de câmbio, somadas (Diegues *et al.*, 2016). Para além disso, vale ressaltar que algumas das recentes mudanças estruturais no setor de M&E brasileiro e sua perda de competitividade também estão condicionadas à ascensão da China como grande produtor e exportador de produtos desse segmento, haja vista que esta tem se apropriado de importante fatia do comércio mundial.

A formação de um SSI de M&E competitivo requer além da base científica consolidada, um setor produtivo capaz de transformar o desenvolvimento científico em novas máquinas e um ambiente institucional que ofereça segurança às empresas inovadoras. Os líderes do segmento possuem uma base de conhecimento sólida e processos de aprendizagem avançados, resultando em maior capacidade de inovação e, por conseguinte, ocupam posições mais nobres nas CGV. Há também uma grande diversidade de atores (empresas, universidades, instituições financeiras, agências governamentais) que interagem em redes bem estabelecidas, de modo que a interação entre governo, universidades, centros de pesquisa e indústrias é intensa e eficaz.

Lundvall (2007) demonstrou que existem diferenças importantes nos SNI, tanto entre os países avançados quanto entre os países em desenvolvimento. O SSI de M&E brasileiro, por sua vez, enfrenta desafios em sua conformação de redes de atores e uma deficiência na transição da pesquisa científica para o desenvolvimento de produtos tecnológicos e inovadores. Somado a isso, embora a estrutura do SSI também seja conformada em sua maioria por PMEs,

diferentemente dos países líderes, no Brasil, muitas das firmas do setor são seguidoras, possuem estratégias tecnológicas passivas, imitativas, baixos esforços inovativos e cerca de 40% das firmas líderes do segmento no país são multinacionais estrangeiras, como apontado por Miguez; Willcox e Daudt (2015).

Portanto, em muitos casos as principais atividades inovativas realizadas pelas firmas consistem em inovações incrementais e adaptações de tecnológicas, tornando-se receptoras de tecnologias oriundas do exterior. Essa dinâmica reafirma o fato de que aqueles países que não possuem sistemas setoriais maduros e consolidados possuem maior dificuldade de se inserirem nos mercados internacionais e ascenderem nas CGV (Malerba, 2004). Embora sejam identificadas importantes redes de firmas e fornecedores especializados, uma deficiência das empresas nacionais se refere aos elos bastante incipientes e informais estabelecidos com os usuários e fornecedores do setor. Além disso, mesmo as empresas líderes nacionais investem pouco em P&D, quando comparadas às firmas semelhantes em países avançados (Miguez; Willcox; Daudt, 2015).

Como agravante à situação do setor, não pode deixar de ser considerado o processo de desindustrialização enfrentado pela economia brasileira que também recai 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, como tratado por Morceiro e Guilhoto (2019). De modo geral, os dados deixam claro que o Brasil não foi capaz de construir uma indústria de M&E que atuasse como força motriz do crescimento e desenvolvimento econômico do país e estivesse no vértice do Sistema Nacional de Inovação.

A análise dos dados corrobora a primeira hipótese de que as firmas do setor de M&E brasileiro possuem significativo e crescente atraso tecnológico em relação aos líderes mundiais do setor. O SSI do setor de M&E brasileiro nunca se consolidou como um sistema de forma robusta e, aquilo que se aproximava está em evidente declínio, assim como a trajetória de *falling behind* da indústria brasileira. Para além desse contexto, o cenário econômico externo somado ao cenário econômico recessivo interno que o Brasil vem enfrentando desde a última década, marca, provavelmente, a maior crise da história do setor de M&E. Apesar do aumento do número de empresas ao longo dos anos, a partir de 2013, a participação do valor adicionado do setor de M&E na indústria de transformação iniciou uma trajetória decrescente e caiu de 6,16% para 4,94%, em 2021. No total geral da indústria o setor perdeu ainda maior representatividade, caindo de 5,44% para 4,18%, que representam as menores participações do valor adicionado em termos percentuais de toda a série deste estudo.

Considera-se que o setor de M&E ainda tem um longo caminho a percorrer em termos de evolução tecnológica. 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. A realidade é que o parque de máquinas brasileiro está excessivamente envelhecido, com muitos equipamentos obsoletos, isso faz com que a presença de um hiato tecnológico significativo entre o Brasil e os países líderes devido ao maior distanciamento das fronteiras tecnológicas se torne uma preocupação comum e uma ameaça para a sobrevivência e competitividade do setor.

É necessário que o Estado brasileiro assuma o protagonismo no desenvolvimento do setor de M&E e da indústria de modo geral, coordenando e direcionando investimentos para os setores-chave. Rodrik (1996) enfatizou a necessidade de intervenção governamental que mova as empresas de um equilíbrio “mau” para um equilíbrio “bom”. No caso do setor de M&E brasileiro, as intervenções políticas devem centrar-se na remoção das barreiras à entrada e ao processo de *catch-up* das firmas do setor descritos por Kim e Lee (2009).

A partir disso, é possível elencar algumas formas de atuação governamental para o setor, além das que já foram implementadas nas políticas industriais que vigoraram a partir dos anos 2000, sendo elas: I) desenvolver formas adequadas de financiamento para novas empresas de base tecnológica; II) disponibilizar incentivos específicos para MPMEs; III) fortalecer as relações e parcerias entre os atores do SSI de M&E doméstico e internacional; III) atuar como indutor na demanda por produtos que tem potencial tecnológico para suprir a demanda doméstica dos demais setores da economia; IV) desenvolver novas formas de difusão de tecnologia pelas universidades e pelas organizações científicas em geral; VI) planejar políticas industriais de Estado e não de governo, pois esta última está sujeita à descontinuidade devido às mudanças políticas. Além disso, mesmo com políticas industriais direcionadas, o setor deve lutar contra as pressões competitivas contínuas dos SSI estabelecidos e dos emergentes, que têm aumentado cada vez mais a participação de seus produtos no mercado brasileiro.

Por fim, indaga-se se a classificação do setor de M&E em termos de padrões setoriais de atividades inovativas das firmas pode ser generalizada para todos os países ou merece uma classificação que considere também as especificidades enfrentadas pelos países em desenvolvimento. Haja vista que a inovação tecnológica difere entre os setores da indústria, como apresentado anteriormente, Pavitt (1984) classificou o setor de M&E como pertencente às firmas intensivas em produção que se desdobram em duas categorias.

Por meio desta pesquisa, nota-se que o SSI de M&E brasileiro, bem como o chinês, apresentam características que fazem com que o setor não se encaixe perfeitamente nessas classificações. A grande heterogeneidade do setor que abrange desde PMEs até multinacionais estrangeiras líderes no segmento, bem com sua dependência externa de tecnologia incorporada e o perfil de muitas firmas classificadas como seguidoras e/ou imitativas não são bem representadas pela taxonomia de Pavitt que pressupõem uma base mais autônoma de inovação tecnológica.

Embora algumas empresas brasileiras de M&E invistam em inovação, a capacidade geral de P&D é limitada quando comparada aos países líderes. Isso faz com que o setor não se encaixe bem nas categorias em que estão classificadas. Além disso, as políticas públicas e o ambiente econômico no Brasil influenciam significativamente o setor. A falta de incentivos consistentes para inovação e o ambiente macroeconômico criam desafios únicos que não são completamente capturados pela tipologia de Pavitt. Já no caso do SSI do setor de M&E chinês, este possui muitas características em comum aos demais líderes do segmento, todavia, muitos dos elementos e estratégias responsáveis pela trajetória de *catching-up* também não são capturados pela taxonomia. Portanto, a tipologia não captura completamente a complexidade e os desafios específicos enfrentados pelo setor em países menos desenvolvidos.

Por fim, a inadequação do SSI do setor de M&E brasileiro às classificações de Pavitt destaca a necessidade de uma abordagem mais abrangente, i.e., que também contemple os elementos das trajetórias inovativas característicos de países em desenvolvimento. Isso possibilitará maior compreensão das diferentes dinâmicas inovativas e fornecerá ferramentas para a comparação do funcionamento dos SSI em diferentes contextos econômicos, de modo a superar os gargalos do desenvolvimento tecnológico e produtivo, bem como reduzir o hiato tecnológico frente aos países que se encontram na fronteira tecnológica do setor.

CAPÍTULO 4

HIATO TECNOLÓGICO NA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DA PINTEC E CIS PARA PAÍSES SELECIONADOS

4.1 Introdução

O avanço e a difusão de novos paradigmas tecnológicos de informação e comunicação têm possibilitado um grande salto na dinâmica do sistema produtivo, transformando a natureza da manufatura e, de maneira geral, da industrialização. A difusão de novas tecnologias atreladas ao processo manufatureiro tem elevado o conteúdo tecnológico dos setores da indústria, no qual se verifica uma crescente e constante mudança na dinâmica dos processos produtivos e no padrão de concorrência setorial da indústria em escala global.

É importante destacar que a ascensão da Indústria 4.0 gera novos desafios para os países emergentes, entre eles o de dar um salto em sua trajetória de crescimento, usando as novas tecnologias como uma forma de alcançar mais rapidamente os líderes tecnológicos mundiais e competir de forma mais equilibrada. Ao mesmo tempo, resta saber se os efeitos do avanço dos novos paradigmas tecnológicos vão além do grupo mais avançado de firmas manufatureiras e fomentam uma atualização tecnológica mais ampla da indústria. Neste caso, os países emergentes podem ser deixados em um estado de “desindustrialização prematura” e não conseguirem acompanhar a evolução tecnológica, haja vista que o grupo de empresas líderes da base tecnológica tende a ser menor e a maior parte das empresas tem capacidades tecnológicas mais limitadas (Rodrik, 2016; UNIDO, 2019a).

Um número de estudos e relatórios de organizações internacionais tem abordado o papel da tecnologia no desenvolvimento de países emergentes. Estudos mais recentes enfocam os desafios e oportunidades da digitalização e Indústria 4.0 para países emergentes (World Bank, 2016; López-Gómez *et al.*, 2017; Sturgeon, 2017; OIT, 2018; 2020; Mayer, 2018; International Finance Corporation, 2021). Outros estudos exploram o impacto potencial da digitalização sobre o emprego em países emergentes (Chang; Huynh, 2016; Hallward-Driemeier; Nayyar, 2017). Políticas da indústria 4.0 de governos de países emergentes são revisados por Santiago (2018) e as contribuições da mudança tecnológica e da inovação para o desenvolvimento econômico em países emergentes são tratadas por Zanello *et al.* (2016), Bogliacino *et al.* (2012) e (UNIDO, 2019a).

Nos países em desenvolvimento, muitos atores de baixa capacidade e baixo desempenho coexistem com outros mais avançados. Nesse ambiente de assimetrias de grau tecnológico cria-se uma lacuna da capacidade digital e a criação de ilhas de tecnologias avançadas, onde algumas das principais empresas líderes envolvidas com tecnologias de produção digital avançadas operam em um ambiente de empresas sem capacidades e ainda usando tecnologias desatualizadas. Assim, a lacuna da capacidade digital que poderia criar uma oportunidade de atualização tecnológica é transformada em um gargalo da industrialização digital (UNIDO, 2019a).

Desse modo, diante dos entraves enfrentados pelas economias em desenvolvimento, observa-se que as perspectivas desses países subirem na escada tecnológica são limitadas, além disso, avançar nesse novo paradigma inovativo exigirá grandes investimentos em capacidades industriais e tecnológicas. Contudo, sem estratégias de desenvolvimento os países de baixa renda correm o risco de ficar ainda mais para trás nesse cenário e não conseguir atingir o patamar dos países mais desenvolvidos (UNIDO, 2019a).

Os países que experimentam um crescimento mais rápido tendem a ser aqueles nos quais a participação da indústria no PIB aumenta de forma mais acentuada. Esse padrão é observado, sobretudo, em economias avançadas, principalmente aquelas que delimitam ou estão mais próximas da fronteira tecnológica (Thirwall, 2005). Logo, acredita-se que as nações com maior capacidade tecnológica tendem a se desenvolver mais rapidamente, enquanto as que possuem capacidades inferiores enfrentam desafios maiores para crescer e competir globalmente. Essa perspectiva está relacionada ao conceito de hiato tecnológico, que por sua vez, permeia a discussão sobre Sistemas de Inovação e tem suas raízes fincadas nas disparidades da capacidade de inovação e de absorção de novas tecnologias entre países, setores e empresas.

A discussão sobre hiato tecnológico, denominado pela literatura de *technology gap*, é indissociável daquela sobre as diferenças no nível de desenvolvimento dos países e, conseqüentemente, de suas trajetórias de crescimento. Vários estudos têm se debruçado sobre essa temática, sobretudo a partir do enfoque neoschumpeteriano. Segundo essa abordagem, as diferenças no ritmo de incorporação do progresso técnico entre países desenvolvidos e em desenvolvimento está na raiz da heterogeneidade estrutural das economias, e a com brasileira não é diferente (Cimoli, 2005; CEPAL, 2007; Gusso; Nogueira; Vasconcelos, 2011).

Nesse sentido, a inovação e a difusão do progresso técnico tornaram-se estrategicamente relevantes na maioria dos países em desenvolvimento e, sobretudo, fundamentais para orientação de políticas de inovação que visem aumentar o ritmo de incorporação do progresso

técnico e reduzir o hiato tecnológico frente aos países desenvolvidos. Essa abordagem não apenas ajuda a identificar as razões por trás das disparidades tecnológicas, mas também fornece ferramentas sobre como políticas e estratégias podem ser formuladas ou ajustadas para reduzir esses *gaps* tecnológicos. Nesse cenário, é importante entender onde o Brasil se situa no contexto internacional em termos de inovação tecnológica e investigar a existência de hiato tecnológico, especialmente no setor de M&E, segmento-chave para a economia e avanço das tecnologias disruptivas.

Os resultados do processo e das atividades inovativas podem ser mensurados, além disso, a disponibilidade de indicadores fornecida pelas pesquisas de inovação viabiliza comparações entre diferentes economias. Comumente, são alvo dessas comparações países economicamente menos desenvolvidos, e.g., o caso brasileiro, *vis-à-vis* países considerados desenvolvidos e industrializados, com estruturas produtivas mais complexas e sistemas de inovação maduros, como os países europeus, e.g., Alemanha, França, Reino Unido, dentre outros.

À luz destas referências, por meio de uma análise comparativa acerca dos indicadores de esforço e resultado inovativo, este ensaio tem como objetivo principal investigar a existência e o grau de hiato tecnológico do setor brasileiro de M&E, a partir dos anos 2000, *vis-à-vis* aos países europeus de maior expressividade no segmento, sendo eles: Alemanha, Itália, Reino Unido, França e Espanha. Dentro desse recorte temporal, os critérios utilizados para a seleção dos países desta pesquisa foram: I) maiores economias da União Europeia, a partir do *ranking* do Banco Mundial; II) maiores produtores europeus de M&E, a partir do ranking da UNIDO.

Nesse sentido, a principal questão que pretende ser respondida nesta pesquisa versa analisar qual hiato tecnológico se apresenta entre as firmas do setor de M&E brasileiro e de países europeus selecionados como líderes no setor? Assim, a hipótese que norteia este ensaio afirma que as empresas brasileiras do setor de M&E possuem elevado hiato tecnológico, que por sua vez, foi ampliado nos anos 2000, frente às firmas do mesmo setor dos países europeus líderes no segmento.

Visando alcançar aos objetivos delineados nesta pesquisa, este ensaio encontra-se estruturado em cinco seções, incluindo a presente introdução e as considerações finais. A segunda seção esboça os aspectos teóricos entre as disparidades produtivas e o hiato tecnológico, além de abordar sobre a difusão da inovação por meio do processo de importação de tecnologia incorporada em bens de capital. A terceira seção se debruça sobre a metodologia utilizada neste estudo. Em seguida, a quarta sessão busca realizar o exercício a fim de investigar

a existência de hiato tecnológico entre as empresas do setor brasileiro de M&E, *vis-à-vis* aos países europeus líderes no segmento.

Ademais, o ensaio contribui com a teoria neoschumpeteriana na medida em que proporciona um diálogo comparativo entre duas pesquisas de inovação realizadas de acordo com o Manual de Oslo, com ênfase em um setor industrial de grande dinamismo e relevância ao sistema econômico. A partir disso, a análise poderá auxiliar no direcionamento dos programas de apoio à inovação contribuindo para o desenho das políticas industriais no Brasil, bem como na formulação de políticas governamentais neste segmento.

4.2 Referencial Teórico

4.2.1 Disparidades produtivas e hiato tecnológico

O avanço e a difusão de novos paradigmas tecnológicos de informação e comunicação têm transformado a natureza do sistema produtivo e travado um processo de acirramento concorrencial, de modo que a inovação tem constituído uma das principais estratégias de diferencial competitivo na indústria, se tornando cada vez mais complexa, multidisciplinar e disruptiva. Por outro lado, frente às assimetrias de capacidade tecnológica ainda são muitos os países que lutam para acompanhar a evolução tecnológica, outros buscam ao menos aumentar o ritmo de incorporação do progresso técnico e reduzir o hiato tecnológico frente aos países desenvolvidos.

A concepção de que as disparidades produtivas e tecnológicas são alguns dos fatores que explicam as trajetórias de crescimento divergentes entre países já está presente há muito tempo na literatura econômica. A ideia de que no longo prazo existiriam assimetrias estruturais no comércio internacional que impediriam o desenvolvimento econômico dos países periféricos já havia sido descrita nos trabalhos seminais da perspectiva estruturalista do desenvolvimento. A partir da teoria centro-periferia, Prebisch (1949) apontava que o baixo dinamismo do setor exportador devido à sua trajetória de especialização somado à elevada propensão a importar produtos manufaturados seria um fator limitante ao crescimento nas economias periféricas devido à restrição do equilíbrio externo. Logo, seria necessário direcionar esforços para a industrialização como caminho para a superação do subdesenvolvimento, premissa que deu

origem à hipótese da deterioração dos termos de troca entre produtos primários e produtos manufaturados, conhecida como a teoria Prebisch-Singer.

A partir de então, a esse respeito se formalizaram alguns modelos teóricos. De acordo com Solow (1956) e outros autores da teoria neoclássica, o crescimento estaria ligado aos aumentos de produtividade e, posteriormente, à tecnologia. O progresso técnico foi incluído como um terceiro fator (exógeno) em relação ao capital e trabalho, todavia, passou a ser interpretado como um bem livre, acessível a todos e livre de encargos (Fagerberg, 1994). Essa perspectiva foi interpretada como limitada ao se considerar o papel central da inovação no sistema econômico capitalista apontado por Schumpeter (1942). O autor afirmava que o capitalismo se refere a um processo evolutivo que é, por natureza, uma forma de mudança econômica. Essa evolução ocorre, sobretudo, por meio da constante introdução de inovações, que revoluciona incessantemente, mas não de modo permanente, a estrutura econômica, destruindo a estrutura antiga e criando uma nova, ilustrando o fato essencial do capitalismo, denominado pelo autor de destruição criadora, e a ele que toda empresa capitalista deve se adaptar para sobreviver (Schumpeter, 1942).

Kaldor (1957, 1966) também contribuiu com uma série de leis empíricas visando explicar as taxas de crescimento diferenciadas entre países avançados, mas que também são passíveis de aplicação aos países em desenvolvimento. Em seus trabalhos, o autor já enfatizava a importância do desempenho exportador e do setor manufatureiro da indústria como estímulo ao crescimento econômico. Segundo Kaldor (1966), as atividades de bens de capital são parte do grande setor denominado manufatura, porém assumem importância decisiva no processo de desenvolvimento econômico autônomo ao endogenizarem as condições de oferta. A literatura econômica embasada nos princípios de Kaldor estabelece a indústria como motor do crescimento econômico e afirma haver estreita relação entre o nível de renda *per capita* e o grau de industrialização em vários países, assim como estreita relação entre o crescimento do PIB e da indústria manufatureira.

Deste modo, infere-se que os países que crescem com maior velocidade tendem a ser aqueles em que a participação da indústria no PIB aumenta de forma mais acentuada, isto é, típico das economias avançadas, principalmente aquelas que delimitam ou estão mais próximas da fronteira tecnológica (Thirwall, 2005). Além disso, os países que alcançaram um crescimento econômico estável, impulsionado pela industrialização, são os que conseguiram reduzir a pobreza de forma mais eficaz (UNIDO, 2015). Nesse sentido, segundo os modelos pós-keynesianos tradicionais, as estruturas produtivas assimétricas dão origem a um

crescimento desigual ao afetarem a restrição externa ao crescimento dos países em desenvolvimento (Thirlwall, 1979; McCombie; Thirlwall, 1994; Dutt, 2003; Barbosa Filho, 2004; Botta, 2009).

Mais tarde, em meados da década de 1980 houve uma mudança de cenário em relação às duas décadas anteriores. A partir de então, reconheceu-se que a tecnologia e o progresso técnico estão longe de ser um bem público, como abordado pela teoria *mainstream*, e se trata de um processo cumulativo caracterizado por capacidades intrínsecas. A teoria do crescimento endógeno, que se desenvolveu significativamente nos anos 1980 e 1990 por meio dos trabalhos de economistas como Romer (1986) e Lucas (1988), avançou na incorporação de pressupostos neoschumpeterianos ao considerar como elementos endógenos, e não como elementos externos nos modelos de crescimento econômico, fatores como conhecimento, capital humano e inovação.

Os neoschumpeterianos destacam que a teoria do crescimento endógeno é insuficiente para explicar o crescimento econômico de maneira abrangente. Assim, defendem uma abordagem que incorpora o papel das instituições, a importância das inovações disruptivas e a destruição criativa, e que reconhece a complexidade e a natureza não linear no processo de crescimento econômico (ver Nelson; Winter, 1982; Freeman; Louçã, 2001; Fagerberg; Mowery; Nelson, 2005). Enquanto a teoria do crescimento endógeno foca na inovação e no capital humano como fatores internos que impulsionam o crescimento, os neoschumpeterianos enfatizam a importância das mudanças tecnológicas revolucionárias e das dinâmicas de mercado que resultam na obsolescência de tecnologias e empresas antigas, conceitos que derivam das ideias originais de Schumpeter sobre destruição criativa.

Partindo da perspectiva schumpeteriana, a teoria evolucionária da economia, desenvolvida pioneiramente por Nelson e Winter (1982), fornece uma abordagem alternativa para o entendimento do *gap* tecnológico, enfatizando que a natureza e os princípios das tecnologias são similares aos preceitos que caracterizam a ciência, semelhantes aos observados na biologia evolutiva, oferecendo uma visão que contrasta com as abordagens mais neoclássicas e endógenas ao crescimento econômico.

Dosi (1982) também propõe uma abordagem de paradigmas e trajetórias tecnológicas para análise da dinâmica industrial, por meio da qual ressalta a presença de assimetrias tecnológicas e produtivas, bem como sua importante influência nos padrões da dinâmica industrial, geradas ou reforçadas pela criação e difusão de inovações tecnológicas. Logo, as diferenças nas trajetórias tecnológicas e especialização produtiva no tocante às atividades

inovativas levam a diferentes performances no mercado (Nelson, 1991) e são responsáveis por importantes assimetrias que também se encontram no cerne das diferenças no nível de capacidade tecnológica entre os países.

Nesse contexto, diante das assimetrias entre os níveis de desenvolvimento tecnológico e produtivo entre os países, foi elaborado na literatura o conceito de hiato tecnológico (*technology gap*). A teoria do *gap* tecnológico é uma abordagem usada para entender fatores que explicam as disparidades de desenvolvimento e as distintas taxas de crescimento entre os países e como isso se relaciona com as diferenças entre as capacidades tecnológicas. O hiato tecnológico pode ser causado por uma série de fatores, incluindo diferenças na capacidade de inovação, investimentos em P&D, acesso a recursos, educação, infraestrutura, políticas governamentais e até mesmo aspectos culturais.

De acordo com Dosi *et al.* (2014), economias capazes de produzir inovações de produto e processo estão mais aptas para ganhar ou manter posições competitivas no comércio internacional. Vale ressaltar que o aumento do hiato tecnológico pode levar às desigualdades econômicas e sociais, e pode ser um desafio para o desenvolvimento econômico e a redução da pobreza. Assim, verifica-se que as diferenças no ritmo de incorporação do progresso técnico entre países desenvolvidos e em desenvolvimento está na raiz da heterogeneidade estrutural das economias (Cimoli, 2005; CEPAL, 2007; Gusso; Nogueira; Vasconcelos, 2011).

Desse modo, a gestão do hiato tecnológico é crucial para o sucesso econômico. A cooperação internacional, investimentos em educação e infraestrutura, políticas públicas e estratégias empresariais podem desempenhar um papel importante na redução desse hiato tecnológico dos países em desenvolvimento frente aos países desenvolvidos, estimulando a inovação, investimentos em P&D, transferência de tecnologia e outras iniciativas que promovam o progresso tecnológico e a competitividade.

Os modelos de hiato tecnológico formalizam as contribuições seminais de Schumpeter, e Freeman, além dos trabalhos de Gerschenkron (1962), Rosenberg (1970) e Abramovitz (1986) para explicar os diferenciais nas taxas de crescimento (Fagerberg, 1987; 1988; 1994; Verspagen, 1993). A teoria do *gap* tecnológico do crescimento econômico surgiu principalmente devido ao fracasso das teorias formais de crescimento em reconhecer o papel da inovação e da difusão da tecnologia no crescimento econômico global (Fagerberg, 1994). Nestes modelos, diferentes estruturas econômicas e sociais têm diferentes capacidades para adquirir conhecimentos técnicos, para dominar novos processos de produção e para absorver repercussões tecnológicas do exterior. Os países em desenvolvimento podem avançar ou não,

dependendo das suas capacidades para colmatar o fosso tecnológico em relação aos países desenvolvidos.

Fagerberg (1987; 1988; 1994) foi um dos pioneiros a explorar o *gap* tecnológico como um fator determinante nas diferenças das taxas de crescimento econômico, com países na fronteira tecnológica crescendo mais rapidamente devido à sua capacidade de inovar. Para tanto, o autor utilizou variáveis de vinte e cinco países em um modelo *cross-section* com análise intertemporal entre o período de 1960 – 1983. Os resultados do estudo demonstram por meio de um modelo de *gap* tecnológico que existe uma estreita correlação entre o nível de desenvolvimento econômico, medido como PIB per capita, e o nível de desenvolvimento tecnológico, medido por meio de estatísticas de P&D ou de patentes. Além disso, o autor destaca a capacidade de aprendizado e a absorção de tecnologia como fundamentais para que os países seguidores possam diminuir o *gap* tecnológico.

Fagerberg (1994) continua a expandir as ideias sobre o papel central da tecnologia nas diferenças de crescimento econômico entre países como uma extensão de sua pesquisa anterior, onde investiga mais profundamente a relação entre tecnologia, inovação e desempenho econômico. O autor também acrescenta que a capacidade dos países de aprender e adaptar tecnologias estrangeiras é destacada como uma variável crucial. Países que efetivamente integram e adaptam novas tecnologias em suas economias tendem a experimentar taxas de crescimento mais rápidas.

Dosi, Pavitt e Soete (1990) exploram o conceito de *gap* tecnológico como um fator crucial que explica as diferenças de crescimento econômico e padrões de comércio entre países. Os autores examinam como as nações com capacidades tecnológicas mais avançadas possuem vantagens competitivas e tendem a dominar o comércio internacional, enquanto países com menor capacidade tecnológica lutam para competir. O livro destaca que essas disparidades tecnológicas não são apenas um reflexo da capacidade de inovação, mas também estão profundamente enraizadas em estruturas institucionais e padrões de acumulação de capital que diferem entre os países. Além disso, tais disparidades são reforçadas por instituições nacionais e políticas de inovação, de modo que a diminuição desse *gap* requer estratégias focadas em melhorias na capacidade de inovação e adaptação tecnológica.

Mais tarde, Fagerberg e Verspagen (2002) também discutem como a globalização afeta a dinâmica de crescimento. Por meio de uma abordagem quantitativa, os autores utilizam indicadores de desenvolvimento tecnológico como despesas em P&D e patentes, além de outros dados econômicos de *surveys* de países europeus e asiáticos no período 1970-1990. Os

resultados evidenciam o aumento da importância da inovação para o crescimento econômico ao mesmo tempo que a imitação e a difusão se tornaram mais exigentes. Por outro lado, ressalta-se que o setor da indústria transformadora, que costumava ser muito importante para o crescimento, perdeu muito do seu dinamismo. Além disso, os autores enfatizam que a tecnologia não se trata de um bem público global disponível para todos, haja vista que países em desenvolvimento enfrentam desafios adicionais para alcançar os líderes tecnológicos devido às barreiras estruturais e à competição intensificada. Acerca disso, as inovações radicais podem ser as que melhor explicam a redução do hiato tecnológico e abrem novas possibilidades de mudanças de longo prazo na taxa de tendência do crescimento econômico.

Vários outros trabalhos têm procurado discutir a relação entre capacidade tecnológica e crescimento econômico. Castellacci (2002); Oreiro, Lemos e Silva (2007); Botta (2009); Cimoli e Porcile (2014), Nassif, Feijó e Araújo (2013); Cimoli, Pereima e Porcile (2019); Dosi (2023) entre outros, são exemplos de trabalhos que abordam como a lacuna tecnológica determina o crescimento das exportações e a restrição do balanço de pagamentos. Estes estudos mostram que as características da estrutura de importações e exportações tendem não só a aumentar o *gap* tecnológico do país em relação à fronteira tecnológica internacional, mas também a colocar o país numa trajetória de desenvolvimento econômico insustentável, na medida em que enfrentará grandes restrições externas ao crescimento no longo prazo.

Além disso, alguns estudos destacam o papel crucial das políticas industriais e de inovação no processo de *catching-up* (Amsden, 1989; Chang, 2001; 2006), com destaque para o milagre do crescimento asiático, e o fracasso das políticas industriais como um dos principais determinantes para o processo de *falling behind*, tendo como exemplo a América Latina (Kahn; Blankenburg, 2009; Peres *et al.*, 2009; Bértola; Ocampo, 2012; Schneider, 2015). A esse respeito, o Brasil, desde o final da década de 1990, tem sistematicamente perdido posições nas exportações mundiais, sobretudo, nos produtos de maior intensidade tecnológica, e comparativamente com os países desenvolvidos ou mesmo outras economias emergentes, está em um processo de desindustrialização e *falling behind* (Arend; Fonseca, 2012; Nassif; Feijó; Araújo, 2013; Araújo; Diegues, 2019; Dosi; Riccio; Virgillito, 2021).

Ainda hoje, a relação entre a trajetória de *catching-up* e o hiato tecnológico continua sendo um importante objeto de pesquisa, haja vista que países com lacunas tecnológicas podem continuar a perder terreno em relação aos líderes tecnológicos, ampliando ainda mais a distância. Isso pode resultar em uma dependência prolongada de tecnologias importadas difícil de ser rompida, limitações na capacidade de inovação e impactos negativos no crescimento

econômico e na competitividade internacional. Simultaneamente, os países mais distantes da “fronteira tecnológica” tendem a se beneficiar em termos do crescimento das suas exportações por intermédio de uma desvalorização da taxa real de câmbio. Para esses países, observa-se uma clara relação positiva entre a elasticidade-renda das exportações e o nível da taxa real de câmbio, como observado em estudos como o de Oreiro, Lemos e Silva (2007).

Na mesma direção, Botta (2009) apresenta um modelo macroeconômico estruturalista que analisa a relação entre industrialização, crescimento econômico e *catching-up*, considerando as disparidades de desenvolvimento entre países do Norte e do Sul. O modelo proposto assume que a industrialização é essencial, mas não suficiente por si só para o processo de *catching-up*. Deste modo, o autor chama atenção para o fato de que o desenvolvimento da indústria de transformação é necessário para alimentar a convergência Norte-Sul, somado ainda à boa gestão do processo de industrialização e das instituições domésticas, sendo esta última condição *sine qua non*.

Igualmente importantes para discutir a temática de hiato tecnológico e *catching-up* são os estudos que se dedicaram a entender esse processo sob a perspectiva das economias da América Latina, sobretudo, os trabalhos da escola cepalina. Nesse sentido, alguns trabalhos se debruçaram em analisar comparativamente as trajetórias de crescimento das economias latino-americanas em relação às economias europeias e asiáticas, muitos deles, por sua vez, utilizam o Brasil como objeto de estudo comparativo.

Cimoli e Porcile (2014) abordam a dinâmica de crescimento de economias em desenvolvimento sob a ótica do estruturalismo latino-americano, focando nos desafios impostos pelo sistema centro-periferia. O modelo apresentado no artigo integra *insights* da escola estruturalista, como a persistência de assimetrias tecnológicas e heterogeneidade estrutural, com a macroeconomia pós-keynesiana, baseada na restrição do balanço de pagamentos, e a microeconomia evolucionária, que se preocupa com a dinâmica do aprendizado. Este estudo proporciona uma ferramenta analítica para investigar como choques e políticas afetam os parâmetros de oferta e demanda, e como eles podem influenciar o processo de mudança estrutural e *catching-up* tecnológico a longo prazo.

Em análise mais recente, Cimoli, Pereima e Porcile (2019), discutem um modelo Norte-Sul de *gap* tecnológico, combinando abordagens Schumpeterianas de mudança técnica e estrutural com perspectivas Keynesianas sobre demanda efetiva e restrições de balanço de pagamentos. O estudo explora dados do final dos anos 1970 para os países Brasil, Argentina e Coreia do Sul e analisa como diferentes políticas podem influenciar trajetórias de crescimento

e o hiato tecnológico, refletindo sobre a convergência observada na Ásia e a divergência na América Latina, destacando o papel crucial da política industrial.

A literatura estabelece claramente que a política industrial foi mais persistente e eficaz na Ásia do que na América Latina. Na Argentina e no Brasil, as políticas de incentivo à diversificação das exportações e ao desenvolvimento de trajetórias tecnológicas e capacidades inovadoras foram interrompidas. Em contraste, a Coreia do Sul manteve essas políticas, contribuindo para sua convergência com países de renda mais alta em termos de capacidades e níveis de renda. Durante as décadas de 1990 e 2000, o crescimento da renda e das capacidades inovadoras na América do Sul ficou relativamente estagnado. Os modelos de *gap* tecnológico sugerem que a taxa de aprendizagem na economia atrasada aumentará se a política industrial melhorar a capacidade de absorção do país. Quando isto acontece, e a aprendizagem reduz o fosso tecnológico, a economia diversifica-se e torna-se mais capaz de superar a restrição externa ao crescimento (Cimoli; Pereima; Porcile, 2019).

O trabalho de Nassif, Feijó e Araújo (2013), utiliza um quadro teórico e empírico baseado na abordagem de Kaldor-Thirlwall para analisar as principais forças que direcionam o comportamento da produtividade e o desenvolvimento econômico no Brasil a longo prazo. O estudo revela que o Brasil, desde os anos 1990 até 2010, entrou em um processo de desindustrialização precoce e enfrentou um aumento na elasticidade-renda da demanda por importações, o que sugere uma trajetória de *falling behind* em relação à economia mundial e às fronteiras tecnológicas internacionais. Além disso, há uma discussão sobre como a falta de políticas industriais adequadas pode levar a taxas de crescimento mais baixas no futuro, apontando a necessidade de medidas que revertam essa tendência para evitar restrições externas significativas ao crescimento a longo prazo.

Melo *et al.* (2017) realizam uma análise comparativa entre Brasil e países europeus selecionados e exploram as diferenças em comportamento inovativo com o intuito de verificar a existência de *gap* tecnológico entre o Brasil e países europeus considerados na fronteira tecnológica. Utilizando indicadores de inovação baseados na PINTEC e na CIS, o estudo emprega análises de correspondência para investigar a existência do *gap* tecnológico, observando as relações entre país e indicadores de inovação, e setor e indicador. Os autores concluem que existe um *gap* tecnológico significativo entre o Brasil e os países europeus localizados na fronteira tecnológica, com base na análise de indicadores de inovação. O estudo indica que a competitividade do Brasil está comprometida por essa defasagem, sugerindo a necessidade de políticas eficazes para impulsionar a capacidade inovativa do país e reduzir esse

gap tecnológico. Deste modo, os autores pontuam que somente o desenvolvimento de competências produtivas e tecnológicas na atividade industrial permite elevar a capacidade de um país para competir no mercado internacional.

Do mesmo modo, o trabalho de Caria Junior (2015) explora a existência de um hiato tecnológico entre o Brasil e países europeus em setores da indústria de transformação por meio de uma análise comparativa entre os dados de inovação da PINTEC e da CIS. O estudo avalia a relação entre os indicadores de inovação e o hiato tecnológico, oferecendo uma visão detalhada sobre as diferenças de capacidade inovativa entre o Brasil e os países situados na fronteira tecnológica, e discute implicações para políticas de desenvolvimento e inovação. Os resultados da pesquisa apontam que o Brasil possui elevado hiato tecnológico em relação aos países mais desenvolvidos da Europa. Ademais, as atividades inovativas brasileiras parecem estar mais estreitamente relacionadas à absorção de tecnologia externa, haja vista que o país apresenta um baixo nível de produção de inovações.

O trabalho de Carvalho *et al.* (2021) busca identificar as estratégias tecnológicas adotadas na indústria de transformação brasileira a partir da construção de indicadores de inovação e de imitação de produto e de processo, bem como de um indicador para inovações organizacionais e de marketing. Para tanto, os indicadores foram aplicados a 19 setores da indústria brasileira de transformação utilizando-se dos dados da PINTEC em comparação aos dados de um conjunto de países europeus selecionados a partir da CIS. Para efeitos de análise, os setores industriais foram agrupados segundo o critério de intensidade tecnológica proposto pela OCDE e os resultados confrontados com os padrões setoriais de inovação. Os resultados apontaram que as estratégias predominantes na indústria brasileira são tipicamente passivas, em claro contraste com as ativas prevalecentes nos países avançados.

No mesmo sentido, mais recentemente, o trabalho de Silva e Botelho (2023) também investiga a existência de hiato tecnológico entre o Brasil e países europeus selecionados por meio dados de inovação da PINTEC e da CIS, no entanto, com enfoque em pequenas empresas. Os resultados evidenciam que as pequenas empresas brasileiras não apenas têm elevado hiato tecnológico no índice de inovação, como também o tem no indicador de eficiência do esforço inovativo. Logo, os esforços realizados pelas pequenas empresas brasileiras não têm conseguido alcançar os resultados de outros países desenvolvidos, colocando o Brasil na posição mais distante da fronteira.

4.2.2 O Hiato tecnológico no setor de M&E e a dependência tecnológica

Uma análise recente conduzida para o Relatório de Desenvolvimento Industrial da UNIDO (2019a) indica que a criação de tecnologias avançadas de produção digital permanece extremamente concentrada em algumas economias. Combinando dados de patentes e comerciais, a análise identifica grupos de economias com diferentes níveis de envolvimento com essas tecnologias. A principal descoberta é que as 10 economias pioneiras no avanço dessas tecnologias explicam 91% de todos os pedidos de patentes globais neste campo tecnológico e quase 70% das exportações de bens de capital associadas à essas tecnologias.

O trabalho afirma que várias partes do mundo, sobretudo, no continente africano, ainda não entraram na nova era digital. Todavia, mesmo entre as economias com algum grau de atividade tecnológica, os níveis são bastante diversos. Embora muitas economias estejam se envolvendo gradativamente em novas atividades tecnológicas, ainda não está claro se conseguirão, de fato, implementá-las. Dentre esses países, grande parte entra em contato com as novas tecnologias por meio da importação de tecnologia incorporada em M&E (que está relacionado ao fluxo de mercadorias entre as firmas, pois toda a cadeia produtiva à jusante receberá parte da inovação do produto utilizado anteriormente como insumo), portanto, são poucas ou nenhuma atividade de inovação e exportação doméstica advinda dessas economias.

A literatura dedicada à análise do setor de bens de capital evidencia que são poucos os países que dominam as tecnologias de vanguarda demandadas por esse setor e se encontram na fronteira tecnológica, de modo que, a sua produção e exportação se concentram em um número reduzido de países, sendo eles, Alemanha, Estados Unidos, China e Japão. Diante disso, a grande maioria dos países, sobretudo os países em desenvolvimento, precisam recorrer às importações para acessar esses bens e suas tecnologias e, assim, expandir a sua estrutura produtiva (Herrerias; Orts, 2013).

O hiato tecnológico e a dependência de produtos de elevado conteúdo tecnológico dos países em desenvolvimento para com os países mais desenvolvidos se manifestam no setor de M&E por meio de várias formas, dentre as principais destacam-se:

- I. Obsolescência da estrutura produtiva: muitas firmas ainda utilizam M&E antigos que não incorporam as tecnologias mais recentes, resultando em menor eficiência e produtividade;

- II. Baixo investimento em P&D: os países em desenvolvimento investem relativamente pouco em P&D quando comparado a países desenvolvidos, limitando a criação de novos produtos;
- III. Dependência de importações: grande parte das M&E avançados são importados, o que aumenta os custos e cria uma dependência tecnológica;
- IV. Qualificação de mão de obra: escassez de trabalhadores qualificados para operar e manter tecnologias avançadas, dificultando a modernização do setor;
- V. Escassez de financiamento: o acesso a financiamento para investimentos em novas tecnologias e inovação é limitado, sobretudo para pequenas e médias empresas (PMEs).
- VI. Baixa integração academia-indústria: a colaboração entre universidades, centros de pesquisa e a indústria é baixa ou insuficiente, resultando em uma transferência de tecnologia limitada e pouco eficaz;
- VII. Políticas públicas insuficientes: as políticas governamentais não são suficientemente robustas para alavancar a inovação e o desenvolvimento tecnológico no setor, deixando as empresas sem o apoio necessário para competir globalmente;
- VIII. Falta de infraestrutura digital: a infraestrutura digital inadequada e obsoleta impede a implementação de tecnologias avançadas como as ferramentas da Indústria 4.0;
- IX. Baixa integração com Cadeias Globais de Valor: muitas vezes o setor de M&E dos países em desenvolvimento está desconectado das cadeias globais de fornecimento, o que limita o acesso a novas tecnologias e práticas de gestão eficientes.

No que tange à dependência de produtos com elevado conteúdo tecnológico, os bens de capital desempenham um papel fundamental no processo de importação de tecnologia. De modo geral, é por meio desse processo que as estruturas produtivas dos países menos desenvolvidos industrialmente incorporam novas tecnologias em M&E que possibilitam acompanhar o progresso técnico dos países centrais. Por meio do processo de transferência de tecnologia, ao adquirir M&E avançados, esses países têm a oportunidade de modernizar suas indústrias e assim, aproximar-se do progresso técnico observado em nações mais desenvolvidas. Esse processo é essencial para que possam competir mais efetivamente no

cenário global e promover o desenvolvimento econômico sustentado e reduzir o *gap* tecnológico.

Sob essa perspectiva, é importante ressaltar que há uma vertente da literatura que considera o comércio internacional como um portador de tecnologia estrangeira incorporada em M&E. Refere-se aos trabalhos que investigam a difusão de tecnologias por meio do comércio internacional ou à abordagem dos modelos das Novas Teorias do Crescimento Endógeno – por meio da qual alguns estudos relacionam os efeitos de *spillovers* de conhecimento à inovação e crescimento, bem como outros, mais específicos, os quais sugerem que os efeitos de *spillovers* tecnológicos ocorrem, principalmente, via fluxos internacionais de mercadorias, por meio dos quais a tecnologia estrangeira se difunde mediante comércio internacional de M&E²⁴.

Em contrapartida, embora a importação de M&E possibilite a rápida difusão de inovações e altas tecnologias, essa estratégia pode levar a um longo caminho de dependência tecnológica (Erber, 2010). Sem a devida articulação o setor de M&E dos países menos desenvolvidos pode se tornar cada vez mais atrofiado e o hiato tecnológico em relação à fronteira cada vez maior, tornando-os sempre dependentes de fontes externas para avanços tecnológicos.

Tal dependência gera várias consequências incluindo vulnerabilidades econômicas, como a exposição às flutuações cambiais que podem afetar os custos de importação, restrições impostas ao Balanço de Pagamentos, limitar o desenvolvimento de capacidades tecnológicas internas e a possibilidade de criação de empregos de alta qualificação no setor, bem como perpetuar a posição desses países nas CGV, mantendo-os na posição de consumidores de tecnologia em vez de produtores e inovadores, com poucas chances de inversão desses papéis. Além disso, em alguns casos, a tecnologia importada não se ajusta bem ao estágio de desenvolvimento industrial dos países menos desenvolvidos e são mal adaptadas às necessidades e condições locais (FMI, 1974).

Para quebrar esse ciclo, é primordial que os países em desenvolvimento não apenas importem tecnologia, mas também implementem políticas focadas em desenvolvimento tecnológico, como o aumento do investimento em educação, incentivos em P&D local, bem como a criação de parcerias estratégicas internacionais que possam facilitar a transferência de

²⁴ Ver Eaton e Kortum (2000) que desenvolvem um modelo de comércio de bens de capital para avaliar seu papel difusor dos benefícios dos avanços tecnológicos e Erk, Ateş e Tuncer (2000) que objetivam testar modelos de crescimento endógeno com base em efeitos de *spillovers* de tecnologia, sobretudo, de fluxos internacionais de bens de capital.

tecnologia de maneira que beneficie suas economias a longo prazo. Isto não só favoreceria a adaptação das tecnologias importadas às necessidades e contextos locais, mas também estimularia a criação de novas tecnologias, levando em conta que a inovação e a tecnologia podem influenciar positivamente o crescimento econômico das nações, porém ressalta-se a necessidade de políticas eficazes para gerenciar essas transformações (UNCTAD, 2020).

Embora os aspectos inerentes ao crescimento econômico e ao *gap* tecnológico sejam bastante abordados pela literatura, a análise das diferenças das capacidades inovativas e o *gap* tecnológico entre as empresas do setor de M&E é bastante escassa. Os poucos trabalhos que estudaram especificamente este setor, não se debruçaram em investigar o hiato tecnológico do setor de M&E brasileiro em relação aos países europeus líderes no segmento, o que será realizado nas sessões a seguir.

4.3 Notas metodológicas

Este ensaio tem como objetivo principal investigar a existência e o grau de hiato tecnológico do setor brasileiro de M&E, a partir dos anos 2000, *vis-à-vis* aos países europeus de maior expressividade no segmento. Para cumprir o objetivo proposto, realizar-se-á um estudo da evolução dos indicadores de inovação tecnológica, indicadores de esforço e resultado inovativo, a partir dos anos 2000, visando analisar a trajetória e dinâmica inovativa da indústria brasileira de M&E e compará-los com os indicadores do mesmo setor de países europeus líderes no segmento.

Mediante recurso de estatística descritiva pretende-se realizar uma comparação setorial, por meio dos dados obtidos pela sistematização de *surveys* sobre inovação no Brasil (Pesquisa de Inovação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – PINTEC/IBGE) e na União Europeia (*Community Innovation Survey* – CIS/EUROSTAT), a partir dos anos 2000. Para fins desta pesquisa, tanto na PINTEC quanto na CIS, a fabricação de M&E obedece a divisão 28 da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 28). Ambas as bases de dados têm como referência metodológica o Manual de Oslo²⁵, oferecendo a possibilidade de compatibilização e comparação. Além disso, também serão sistematizados dados de

²⁵ Documento elaborado pela Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) em conjunto com a Eurostat, com o intuito de orientar, padronizar e estabelecer conceitos e metodologias para a elaboração de estatísticas e indicadores de P,D&I que oferece diretrizes de maneira internacionalmente comparável (OCDE, 2005).

indicadores conjunturais e setoriais do segmento em análise disponibilizados publicamente em relatórios e documentos oficiais para cada um dos países em análise.

Serão consideradas nesta análise as edições de 2003; 2005; 2008; 2011; 2014 e 2017 da PINTEC. Entretanto, os dados da CIS não estão disponíveis na mesma periodicidade, portanto a comparação será realizada entre as edições das pesquisas de ano mais próximo, sendo eles 2004; 2006; 2008; 2010; 2014 e 2018; conforme apresentado no quadro a seguir:

Quadro 6 – Compatibilização entre as edições das bases de dados PINTEC E CIS

PINTEC / IBGE		CIS / EUROSTAT	
Edição	Referente ao período	Edição	Referente ao período
2003	2001 – 2003	2004	2002 – 2004
2005	2003 – 2005	2006	2004 – 2006
2008	2006 – 2008	2008	2006 – 2008
2011	2009 – 2011	2010	2008 – 2010
2014	2012 – 2014	2014	2012 – 2014
2017	2015 – 2017	2018	2016 – 2018

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Pesquisa de Inovação (PINTEC), Brasil (2020) e *Community Innovation Survey (CIS)*, European Commission (2024).

Dentro desse recorte temporal, com o intuito de garantir uma análise representativa das principais economias europeias que dominam o setor de M&E, os critérios utilizados para a seleção dos países desta pesquisa foram: I) maiores economias da União Europeia, a partir do *ranking* do Banco Mundial; II) maiores produtores europeus de M&E, a partir do ranking da UNIDO. Portanto, os países selecionados para esta análise são: Alemanha, Itália, Reino Unido, França e Espanha.

Não obstante, apesar da relevância econômica do Reino Unido no conjunto dos países europeus, bem como a expressividade de sua indústria de M&E, não será possível analisar seus dados referentes à última edição da CIS (2018), haja vista que, em 2017, iniciou-se o Brexit (processo de saída do Reino Unido da União Europeia). Desde então, as bases de dados da União Europeia passaram a não disponibilizar dados do país, que será, portanto, desconsiderado na última edição da CIS nesta pesquisa.

O cálculo do hiato tecnológico do setor de M&E entre os países analisados será feito por uma metodologia baseada no conceito de “Distância Euclidiana” (DE), por meio da qual foram desenvolvidos o Índice de Inovação e o Índice de Eficiência do Esforço Inovativo. Assim, inspirado no trabalho de Silva e Botelho (2023), esta pesquisa utiliza a metodologia

desenvolvida por Caria Junior (2015), onde o autor constrói indicadores capazes de apresentar o cálculo do hiato tecnológico para empresas em diferentes países e em um recorte setorial.

A distância euclidiana consiste na comparação de dois pontos relativos a observações de dois casos da amostra (i e j), dada pela raiz quadrada da somatória dos quadrados das diferenças entre os valores de i e j para todas as variáveis k (para $k = 1, 2, 3 \dots, n$). Em seu formato original, é bastante utilizada em análise de *clusters*, como expresso na equação (1) abaixo:

$$DE_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - X_{jk})^2} \quad (1)$$

onde X_{ik} representa a característica do indivíduo i do critério k , enquanto X_{jk} a característica do indivíduo j do critério k ; n é o número de variáveis na amostra. A adaptação para o modelo do hiato tecnológico está posta abaixo e considera o recorte setorial. Logo, para realizar a análise setorial, a evolução dos dados em um determinado período depende uma base fixa para que não haja distorções nas bases de comparação conforme os períodos mudam (Caria Junior, 2015; Silva; Botelho, 2023). Fixou-se na DE a base zero, representando o pior desempenho possível em qualquer indicador, resultando num método de raiz da soma das diferenças quadráticas entre cada um dos indicadores, como apresentado na equação (2):

$$DE \text{ Setorial}_{base \ zero} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (0 - X_{ij})^2} \quad (2)$$

Onde $X_{ij} = X$ valor do indicador i para o país j .

Deste modo, a base zero coloca todos os países sob a mesma métrica, e permite compará-los, em termos relativos, com valores que variam entre zero e um. Além disso, elimina-se o problema de haver países com desempenho absoluto zero (Caria Junior, 2015). Assim, a DE total será dada em função da somatória de todos os indicadores de esforço e resultado inovativo. A distância de cada país da base é relativa ao melhor desempenho possível, representada pelo denominador de (3). Como o melhor desempenho possível é 1 em cada indicador, o resultado máximo seria a soma do número de indicadores, resultando em uma ponderação pela raiz do número de indicadores.

$$DE \text{ Total} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (0 - X_{ij})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (0 - 1)^2}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij})^2}}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Uma vez estabelecida a DETotal, serão construídos indicadores (Quadro 7) de esforço inovativo e dinamismo e/ou resultado inovativo para serem aplicados na análise das distâncias tecnológicas calculados pelo método da DE.

Quadro 7 – Indicadores de esforço e resultado inovativo²⁶

Esforço inovativo	Resultado inovativo
$Ind\ 1 = \frac{\text{Empresas que realizam P\&D}}{\text{Total de empresas}}$	$Ind\ 6 = \frac{\text{Empresas inovadoras}}{\text{Total de empresas}}$
$Ind\ 2 = \frac{\text{Gastos em atividades inovativas}}{\text{Receita líquida de vendas}}$	
$Ind\ 3 = \frac{\text{Empresas que realizam P\&D contínuo}}{\text{Empresas inovadoras}}$	
$Ind\ 4 = \frac{\text{Gastos em P\&D}}{\text{Receita líquida de vendas}}$	
$Ind\ 5 = \frac{\text{Pessoas ocupadas em P\&D}}{\text{Pessoas ocupadas}}$	

Fonte: Elaborado a partir de Caria Junior, 2021.

A compreensão do esforço empreendido para inovar possibilita avaliar quais setores estão buscando de forma mais contundente a geração de inovações, bem como os tipos de gastos inovativos mais utilizados para esta finalidade. Deste modo, o Indicador de Esforço Inovativo (equação 4) contempla os seguintes elementos: participação de empresas que realizam P&D no total; gastos em atividades inovativas na receita líquida de vendas (RLV); empresas que realizam P&D contínuo sobre inovadoras; gastos em P&D sobre RLV; e pessoas ocupadas em P&D em relação ao total. Por outro lado, o Indicador de Resultado Inovativo (equação 5) capaz de apresentar o dinamismo do setor alcançado como produto ou efeito do esforço inovativo abrange: empresas inovadoras sobre total de empresas (Caria Junior, 2015).

$$DE\ Esforço = \frac{\sqrt{(0 - Ind1_j)^2 + (0 - Ind2_j)^2 + (0 - Ind3_j)^2 + (0 - Ind4_j)^2 + (0 - Ind5_j)^2}}{\sqrt{5}} \quad (4)$$

²⁶ A pesquisa utilizou como indicador de resultado apenas o Indicador 6 (Empresas inovadoras / Total de empresas). Não foram utilizados outros indicadores de resultado, como dados de empresas inovadoras em produto e empresas inovadoras em processo, devido ao fato de haver pequenas divergências metodológicas entre as bases de dados PINTEC e CIS, bem como mudanças metodológicas ocorridas entre as edições da CIS, que influenciaram os resultados desses dados em específico.

$$DE \text{ Resultado} = \frac{\sqrt{(0 - Ind6_j)^2}}{\sqrt{1}} \quad (5)$$

Em seguida, calcula-se o Índice Setorial de Inovação por meio de média geométrica dos índices de esforço e resultado inovativo. A média geométrica permite que ambos tenham o mesmo peso, conforme apresentado na equação (6) a seguir:

$$IST = \sqrt{I_{Esforço} \cdot I_{Resultado}} \quad (6)$$

O Hiato setorial, que representa a disparidade tecnológica de um mesmo setor entre diferentes países, portanto, será a distância da fronteira de cada setor, com base na DETotal (equação 3) aplicada ao resultado do IST:

$$Hiato \text{ setorial} = \left[\left(\frac{IST_{observado}}{IST_{maximo}} \right) - 1 \right] \cdot (-100) \quad (7)$$

A partir dos procedimentos utilizados para o cálculo do hiato tecnológico, será realizada uma medida complementar de Eficiência do Esforço Inovativo Setorial (EEI), avaliado pela razão entre a DE dos indicadores de dinamismo e a DE dos indicadores de esforço inovativo, conforme expresso abaixo:

$$EEI_{ij} = \frac{DE \text{ Resulto}}{DE \text{ Esforço}} \quad (8)$$

Segundo Caria Junior (2015), essa razão indicará o quão descolado do esforço inovativo está o desempenho de um país, i.e., a eficiência do esforço inovativo refere-se à capacidade de uma organização ou sistema de utilizar seus recursos de maneira eficaz para gerar inovação e converter seus investimentos em resultados inovativos. Uma vez apresentada a metodologia de pesquisa deste trabalho, a próxima seção apresentará os resultados da indústria de M&E do Brasil frente aos países europeus líderes no segmento.

4.4 Análise dos resultados

A Tabela 3 apresenta a evolução dos indicadores de esforço e resultado inovativo do setor de M&E de todas as edições da PINTEC a partir dos anos 2000 confrontadas com as edições correspondentes da CIS para países selecionados, como apresentado no Quadro 6. Conforme

apresentado no Quadro 7, os indicadores compreendem a participação de empresas que realizam P&D no total; gastos em atividades inovativas na receita líquida de vendas (RLV); empresas que realizam P&D contínuo sobre inovadoras; gastos em P&D sobre RLV; pessoas ocupadas em P&D em relação ao total; e empresas inovadoras sobre total de empresas.

A princípio, observa-se que entre os países selecionados nesta pesquisa, em todos os indicadores de esforço inovativo, Alemanha e França se alternam na posição de “fronteira tecnológica” ao longo de todo o período em análise²⁷. De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, verifica-se que o indicador que mostra a participação de pessoas ocupadas em P&D (IND5) se destaca no período para todos os países europeus selecionados. Em relação a este indicador, Alemanha se encontra na fronteira tecnológica em todas as edições, seguida por França e Itália, que apresentam pequeno hiato em relação à liderança.

Em seguida, se destacam os indicadores que mostram a participação de empresas que realizam P&D (IND1) e que realizam P&D contínuo (IND3). O Indicador 1 apresenta comportamento similar ao indicador 5, no entanto, no Indicador 3 a França se encontra na fronteira tecnológica em todas as edições, com exceção da primeira, seguida por Alemanha e Itália. Por outro lado, os indicadores que mostram a participação das vendas destinadas a atividades inovativas (IND2) e em gastos em P&D (IND4) apresentam baixa relevância. Vale ressaltar que dentre os países selecionados, a Espanha se encontra sempre na quarta posição e apresenta o maior *gap* em relação à fronteira tecnológica.

Para efeitos de comparação, o Brasil apresenta um comportamento diferente dos demais países analisados. Os indicadores de esforço inovativo do Brasil demonstram um grande *gap* em relação aos demais países em todas as edições da PINTEC, apresentando resultados muito baixos, além disso, em todo o período o indicador de maior destaque para o país refere-se à parcela do total que realizam P&D contínuo (IND3).

A Tabela 3 também apresenta a evolução da taxa de inovação das empresas do setor de M&E, demonstrada por meio do indicador de resultado inovativo (IND6). Alemanha é o país com maior taxa de inovação em todas as edições da CIS em análise, portanto, situada na fronteira. Em seguida, encontram-se França e Itália, no entanto, todos os demais países apresentam elevada distância no indicador de resultado em relação à Alemanha, especialmente, a Espanha e o Brasil, último colocado. Este resultado fica mais claro quando se verifica que

²⁷ Devido à falta de informações disponíveis não foi possível avaliar os dados do Reino Unido nesta pesquisa. Além disso, de acordo com a equipe técnica da Eurostat, a falta de alguns dados da CIS para os demais países europeus analisados decorre do fato de que algumas coletas de dados eram opcionais, em especial, as questões relativas às despesas.

entre 80% e 94% do total das empresas alemãs do setor de M&E foram classificadas como inovadoras ao longo do período. Por outro lado, as empresas brasileiras do setor consideradas inovadoras representaram valores entre 40% e 50% do total.

Tabela 3 – Indicadores de Esforço e Resultado Inovativo do setor de M&E em países selecionados – CIS 2004, 2006, 2008, 2010, 2014, 2018 e PINTEC 2003, 2005, 2008, 2011, 2014, 2017

Indicadores de esforço e resultado inovativo PINTEC (2003) e CIS (2004)												
País	IND1	D IND1	IND2	D IND2	IND3	D IND3	IND4	D IND4	IND5	D IND5	IND6	D IND6
Alemanha	0,640	Fronteira	0,050	Fronteira	0,513	Fronteira	0,031	Fronteira	0,945	Fronteira	0,809	Fronteira
Itália	0,421	34,2	0,027	46	0,506	1,4	0,013	58,1	0,664	29,7	0,520	35,7
Reino Unido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,472	41,7
França	0,393	38,6	0,019	62	0,467	9,0	0,016	48,4	0,773	18,2	0,464	42,6
Espanha	0,286	55,3	0,016	68	0,422	17,7	0,011	64,5	0,639	32,4	0,470	41,9
Brasil	0,128	80	0,033	34,8	0,169	67,1	0,008	75,8	0,014	98,5	0,435	46,2
Indicadores de esforço e resultado inovativo PINTEC (2005) e CIS (2006)												
País	IND1	D IND1	IND2	D IND2	IND3	D IND3	IND4	D IND4	IND5	D IND5	IND6	D IND6
Alemanha	0,632	33,1	0,054	Fronteira	0,480	34,5	-	-	0,908	Fronteira	0,832	Fronteira
Itália	-	-	-	-	-	-	-	-	0,721	20,6	0,525	36,9
Reino Unido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,459	44,8
França	0,944	Fronteira	0,021	61,1	0,733	Fronteira	0,021	Fronteira	0,829	8,7	0,708	14,9
Espanha	0,173	81,7	0,017	68,5	0,377	48,6	0,010	52,4	0,662	27,1	0,456	45,2
Brasil	0,133	85,9	0,042	23,1	0,171	76,7	0,006	72,1	0,014	98,5	0,394	52,6
Indicadores de esforço e resultado inovativo PINTEC e CIS (2008)												
País	IND1	D IND1	IND2	D IND2	IND3	D IND3	IND4	D IND4	IND5	D IND5	IND6	D IND6
Alemanha	0,628	Fronteira	0,040	Fronteira	0,378	14,1	0,025	Fronteira	0,977	Fronteira	0,947	Fronteira
Itália	0,339	46	0,017	57,5	0,398	9,5	0,009	64	0,779	20,3	0,637	32,7
Reino Unido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,574	39,4
França	0,471	25	0,023	42,5	0,440	Fronteira	0,017	32	0,855	12,5	0,665	29,8
Espanha	0,267	57,5	0,012	70	0,335	23,9	0,009	64	0,709	27,4	0,539	43,1
Brasil	0,092	85,4	0,030	24,8	0,126	71,4	0,006	78	0,008	99,2	0,510	46,1
Indicadores de esforço e resultado inovativo PINTEC (2011) e CIS (2010)												
País	IND1	D IND1	IND2	D IND2	IND3	D IND3	IND4	D IND4	IND5	D IND5	IND6	D IND6
Alemanha	0,609	Fronteira	0,047	Fronteira	0,463	5,3	-	-	0,973	Fronteira	0,884	Fronteira
Itália	0,471	22,7	0,027	42,6	0,426	12,9	0,017	5,6	0,849	12,7	0,728	17,6
Reino Unido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,572	35,3
França	0,542	11	0,024	48,9	0,489	Fronteira	0,018	Fronteira	0,873	10,3	0,737	16,6
Espanha	0,242	60,3	0,015	68,1	0,306	37,4	0,011	38,9	0,758	22,1	0,545	38,3
Brasil	0,197	67,7	0,021	55,3	0,290	40,8	0,008	55,6	0,019	98	0,413	53,3
Indicadores de esforço e resultado inovativo PINTEC e CIS (2014)												
País	IND1	D IND1	IND2	D IND2	IND3	D IND3	IND4	D IND4	IND5	D IND5	IND6	D IND6
Alemanha	0,539	13,5	0,056	Fronteira	0,441	16	0,034	Fronteira	0,958	Fronteira	0,879	Fronteira
Itália	0,269	56,8	0,021	62,5	0,371	29,3	0,013	61,8	0,783	18,3	0,579	34,1
Reino Unido	-	-	0,022	60,7	-	-	0,010	70,6	0,838	12,5	0,677	23
França	0,623	Fronteira	0,038	32,1	0,525	Fronteira	0,024	29,4	0,869	9,3	0,756	14
Espanha	0,242	61,2	0,018	67,9	0,347	33,9	0,011	67,6	0,721	24,7	0,523	40,5
Brasil	0,119	80,9	0,022	61,3	0,179	65,9	0,008	76,5	0,015	98,4	0,403	54,2
Indicadores de esforço e resultado inovativo PINTEC (2017) e CIS (2018)												
País	IND1	D IND1	IND2	D IND2	IND3	D IND3	IND4	D IND4	IND5	D IND5	IND6	D IND6
Alemanha	0,636	Fronteira	-	-	0,544	5,9	-	-	0,951	Fronteira	0,845	Fronteira
Itália	0,480	24,5	0,027	25	0,311	46,2	-	-	0,885	6,9	0,769	9
Reino Unido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
França	0,635	0,2	0,036	Fronteira	0,578	Fronteira	-	-	0,899	5,5	0,757	10,4
Espanha	0,273	57,1	0,026	27,8	0,450	22,1	-	-	0,668	29,8	0,455	46,2
Brasil	0,101	84,1	0,017	53,9	0,221	61,8	0,007	-	0,017	98,2	0,392	53,6

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da *Community Innovation Survey (CIS)*, European Commission (2024) e Brasil (2020).

A Tabela 4 apresenta o cálculo da Distância Euclidiana dos indicadores de esforço e resultado inovativo. Por meio dele, é possível sintetizar os resultados de todos os indicadores anteriormente apresentados em dois únicos indicadores de esforço e resultados inovativos das empresas do setor de M&E visando comparar os resultados entre os países. Verifica-se que do mesmo modo, ao longo do período Alemanha e França se alternam na posição de fronteira para

o indicador de esforço inovativo, seguidos por Itália, Espanha e Brasil. Uma vez calculada a Distância Euclidiana, é possível mensurar o hiato tecnológico de cada um dos países em estudo em relação à fronteira.

Tabela 4 – Distância Euclidiana para esforço e o resultado inovativo em países selecionados – CIS 2004, 2006, 2008, 2010, 2014, 2018 e PINTEC 2003, 2005, 2008, 2011, 2014, 2017

Distância Euclidiana para esforço e resultado inovativo PINTEC (2003) e CIS (2004)						
País	DE Esforço Inovativo	Hiato Esforço	Hiato	DE Resultado Inovativo	Hiato Resultado	Hiato
Alemanha	0,560	Fronteira		0,809	Fronteira	
Itália	0,418	25,4	Médio	0,520	35,7	Alto
França	0,441	21,3	Médio	0,464	42,6	Alto
Espanha	0,366	34,6	Alto	0,470	41,9	Alto
Brasil	0,215	61,6	Alto	0,435	46,2	Alto
Distância Euclidiana para esforço e resultado inovativo PINTEC (2005) e CIS (2006)						
País	DE Esforço Inovativo	Hiato Esforço	Hiato	DE Resultado Inovativo	Hiato Resultado	Hiato
Alemanha	0,604	7,2	Baixo	0,832	Fronteira	
Itália	0,721	-	-	0,525	36,9	Alto
França	0,651	Fronteira		0,708	14,9	Médio
Espanha	0,349	46,4	Alto	0,456	45,2	Alto
Brasil	0,099	84,8	Alto	0,394	52,6	Alto
Distância Euclidiana para esforço e resultado inovativo PINTEC e CIS (2008)						
País	DE Esforço Inovativo	Hiato Esforço	Hiato	DE Resultado Inovativo	Hiato Resultado	Hiato
Alemanha	0,547	Fronteira		0,947	Fronteira	
Itália	0,420	23,2	Médio	0,637	32,7	Alto
França	0,479	12,4	Baixo	0,665	29,8	Alto
Espanha	0,371	32,2	Alto	0,539	43,1	Alto
Brasil	0,071	87	Alto	0,510	46,1	Alto
Distância Euclidiana para esforço e resultado inovativo PINTEC (2011) e CIS (2010)						
País	DE Esforço Inovativo	Hiato Esforço	Hiato	DE Resultado Inovativo	Hiato Resultado	Hiato
Alemanha	0,619	Fronteira		0,884	Fronteira	
Itália	0,474	23,4	Médio	0,728	17,6	Médio
França	0,509	17,8	Médio	0,737	16,6	Médio
Espanha	0,381	38,4	Alto	0,545	38,3	Alto
Brasil	0,157	74,6	Alto	0,413	53,3	Alto
Distância Euclidiana para esforço e resultado inovativo PINTEC e CIS (2014)						
País	DE Esforço Inovativo	Hiato Esforço	Hiato	DE Resultado Inovativo	Hiato Resultado	Hiato
Alemanha	0,530	0,6	Baixo	0,879	Fronteira	
Itália	0,406	23,8	Médio	0,579	34,1	Alto
França	0,533	Fronteira		0,756	14	Médio
Espanha	0,374	29,8	Médio	0,523	40,5	Alto
Brasil	0,097	81,8	Alto	0,403	54,2	Alto
Distância Euclidiana para esforço e resultado inovativo PINTEC (2017) e CIS (2018)						
País	DE Esforço Inovativo	Hiato Esforço	Hiato	DE Resultado Inovativo	Hiato Resultado	Hiato
Alemanha	0,731	Fronteira		0,845	Fronteira	
Itália	0,525	28,2	Médio	0,769	9	Baixo
França	0,622	14,9	Baixo	0,757	10,4	Baixo
Espanha	0,425	41,9	Alto	0,455	46,2	Alto
Brasil	0,122	83,3	Alto	0,392	53,6	Alto

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da *Community Innovation Survey (CIS)*, European Commission (2024) e Brasil (2020).

Em todo o período, as empresas do setor de M&E alemãs e francesas quando não estão localizadas na fronteira tecnológica, apresentaram hiato significativamente inferior aos demais países. A Itália manteve o hiato “médio”, enquanto Espanha e Brasil apresentaram hiato “alto” e piora no quadro com aumento da distância, haja vista que o hiato da DE do esforço inovativo do setor brasileiro aumentou de 61,6 pontos em 2003, para 83,3, em 2017. Todavia, embora

estejam na mesma classificação, o hiato do Brasil em relação à fronteira é muito maior que o da Espanha, em alguns casos mais que o dobro da distância. Apesar do aumento dos esforços para a implementação de atividades de P&D contínuo nas empresas brasileiras do setor de M&E, como apresentado na Tabela 3 por meio do IND3, os dados evidenciam que esse indicador de forma isolada não é capaz de reduzir o nível do hiato tecnológico em relação ao país que se situa na fronteira.

A partir de então, indaga-se sobre a efetividade do esforço inovativo em converter-se em resultados inovativos, i.e., apresentar maior número de empresas inovadoras e aumento na taxa de inovação. O cálculo da Distância Euclidiana para o resultado inovativo do setor de M&E destaca a Alemanha na fronteira tecnológica em todas as edições analisadas, até mesmo nos anos em que a França apresentou maior esforço inovativo, como 2006 e 2014, indicando maior capacidade de converter os esforços e atingir resultados inovativos. Vale ressaltar que ao longo dos anos, somente França e Itália conseguiram reduzir significativamente o hiato de “alto” para “baixo”, por outro lado, Espanha e Brasil que já possuíam hiato “alto” em relação à fronteira, se distanciaram ainda mais. Neste caso, o hiato da DE de resultado inovativo do Brasil aumentou de 46,2 pontos, em 2003, para 53,6, em 2017.

A esse respeito, a literatura sobre *gaps* tecnológicos enfatiza que as disparidades tecnológicas são persistentes e, muitas vezes, se ampliam devido a vários fatores estruturais que podem ser potencializados em países menos desenvolvidos (Cimoli; Pereima; Porcile, 2019). Os estudos sugerem que países mais desenvolvidos tendem a inovar continuamente, mantendo e até expandindo sua liderança tecnológica. Enquanto isso, países em desenvolvimento enfrentam desafios significativos para alcançar esse nível devido a limitações em capacidade de P&D, restrições financeiras, infraestrutura, educação, falta de pessoal qualificado e políticas de apoio à inovação. A dinâmica de *catch-up* é possível, mas requer intervenções políticas substanciais e estratégias de desenvolvimento focadas na absorção e na criação de tecnologia.

A Tabela 5 apresenta o cálculo do Índice Setorial de Inovação e o hiato inovativo setorial das empresas do setor de M&E para os países selecionados. Conforme descrito anteriormente pela Equação 6, este índice é calculado por meio de média geométrica dos índices de Distância Euclidiana de esforço e resultado inovativo, que permite que ambos tenham o mesmo peso e mostre qual dos países apresenta melhor desempenho em termos de esforço e resultado das atividades inovativas.

Tabela 5 – Índice Setorial de Inovação e Hiato Inovativo em países selecionados – CIS 2004, 2006, 2008, 2010, 2014, 2018 e PINTEC 2003, 2005, 2008, 2011, 2014, 2017

Índice Setorial de Inovação PINTEC (2003) e CIS (2004)			
País	ISI	Hiato Setorial	Hiato
Alemanha	0,673	Fronteira	
Itália	0,466	30,7	Alto
França	0,452	32,8	Alto
Espanha	0,415	38,4	Alto
Brasil	0,306	54,6	Alto
Índice Setorial de Inovação PINTEC (2005) e CIS (2006)			
País	ISI	Hiato Setorial	Hiato
Alemanha	0,709	Fronteira	
Itália	0,615	13,2	Médio
França	0,679	4,2	Baixo
Espanha	0,399	43,7	Alto
Brasil	0,197	72,1	Alto
Índice Setorial de Inovação PINTEC e CIS (2008)			
País	ISI	Hiato Setorial	Hiato
Alemanha	0,720	Fronteira	
Itália	0,517	28,1	Médio
França	0,564	21,6	Médio
Espanha	0,447	37,9	Alto
Brasil	0,190	73,6	Alto
Índice Setorial de Inovação PINTEC (2011) e CIS (2010)			
País	ISI	Hiato Setorial	Hiato
Alemanha	0,740	Fronteira	
Itália	0,587	20,6	Médio
França	0,612	17,2	Médio
Espanha	0,456	38,4	Alto
Brasil	0,255	65,6	Alto
Índice Setorial de Inovação PINTEC e CIS (2014)			
País	ISI	Hiato Setorial	Hiato
Alemanha	0,683	Fronteira	
Itália	0,485	29	Alto
França	0,635	7	Baixo
Espanha	0,442	35,2	Alto
Brasil	0,198	71	Alto
Índice Setorial de Inovação PINTEC (2017) e CIS (2018)			
País	ISI	Hiato Setorial	Hiato
Alemanha	0,786	Fronteira	
Itália	0,635	19,2	Médio
França	0,686	12,7	Médio
Espanha	0,440	44	Alto
Brasil	0,219	72,2	Alto

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da *Community Innovation Survey (CIS)*, European Commission (2024) e Brasil (2020).

Como esperado, a Alemanha apresenta maior índice setorial de inovação em todas as edições em análise. É interessante observar que os países de maior renda possuem maior Índice de Inovação, i.e., a classificação dos países em termos de índice de inovação segue quase a mesma ordem de seus níveis de renda, indicando uma correlação direta entre maior riqueza e

maior capacidade de inovação. Embora a França tenha apresentado hiato “médio” do índice de inovação, de acordo com os dados da última edição da CIS, foi o único país que conseguiu em alguns momentos reduzir o hiato tecnológico, classificado como “baixo” nos anos de 2006 e 2014. A Itália conseguiu reduzir o hiato “alto” para a classificação “média” e o manteve assim quase todo o período, exceto em 2014. Por outro lado, Espanha e Brasil aumentaram ainda mais o hiato tecnológico já considerado “alto”. A Espanha aumentou o hiato em 15%, já o Brasil aumentou o hiato em cerca de 32% ao longo do período, sendo o único país com hiato superior a 50 pontos em relação à fronteira em todos as edições analisadas.

O hiato do Índice Setorial de Inovação da indústria brasileira de M&E passou de 54,6 pontos em 2003, menor hiato registrado, para 72,2 em 2017, maior hiato já registrado (Tabela 5). Acredita-se que o período de melhor desempenho do indicador pode ser identificado como uma resposta ao cenário favorável vivido pela economia brasileira a partir de 2003, uma vez que esta entrou em uma nova fase de crescimento, com mudanças na estrutura e na dinâmica econômica. Entre 2003 e 2010, o Brasil experimentou o maior ciclo de crescimento desde os anos 1980, haja vista que o PIB cresceu, em média, 4,1% ao ano, mesmo tendo atravessado a pior fase da crise internacional de 2008.

Neste período, a economia brasileira foi fortemente influenciada pelo cenário externo devido à situação de liquidez dos mercados financeiros, ao aumento dos preços internacionais das *commodities*, ao ritmo de crescimento do comércio mundial e à abundância de fluxos de capitais, especialmente para as economias emergentes. Entretanto, não é razoável presumir que apenas o cenário externo favorável por si só determinava a dinâmica econômica e/ou setorial, uma vez que foram criadas condições para que o Estado desempenhasse um papel decisivo na mudança da economia brasileira, sobretudo, possibilitando o aumento dos investimentos como motor do crescimento econômico.

Após esse período, o comércio global passou a crescer em um ritmo bastante inferior ao registrado no período que antecedeu à crise, a entrada de fluxos de capitais perdeu fôlego, a partir de 2011, e a nova fase de alta dos preços das *commodities* se reverteu em uma retração do comércio internacional, a partir de 2012. A austeridade fiscal tornou a situação dos investimentos vulnerável e, por conseguinte, o acesso ao crédito mais custoso no pós-crise, sobretudo, para a inovação, uma vez que, como afirmam Lee et al. (2015), empresas inovadoras têm mais dificuldade em acessar financiamento do que outras empresas, e isso piorou significativamente na crise, criando um cenário ainda mais desafiador para a competitividade internacional do setor.

O aumento do hiato tecnológico no setor de M&E brasileiro em relação aos países europeus de maior expressividade no segmento sugere que o Brasil está enfrentando dificuldades em acompanhar os avanços tecnológicos globais nesta área específica. Isso representa uma preocupação em relação à perda de competitividade internacional. Este cenário pode impactar negativamente o crescimento econômico, haja vista que o setor de M&E possui efeitos de *spillovers* ao longo da cadeia produtiva, a criação de empregos de maior qualificação no setor, dificuldades em atender às demandas de mercados mais avançados, e desafios na atração de investimentos estrangeiros diretos, essenciais para a modernização da infraestrutura nacional e para o desenvolvimento tecnológico e de novas capacidades.

A partir de então, faz-se necessário calcular a medida complementar de Eficiência do Esforço Inovativo Setorial. Como apresentado na Equação 8, este indicador é avaliado pela razão entre a Distância Euclidiana dos indicadores de esforço inovativo e dinamismo, que, por sua vez, indica o quão descolado do esforço inovativo está o desempenho de um país. Logo, a eficiência do esforço inovativo refere-se à capacidade de utilização dos recursos de maneira eficaz para gerar inovação e convertê-los em resultados inovativos.

Deste modo, a Tabela 6 apresenta a eficiência do esforço inovativo das empresas do setor de M&E e o hiato do esforço em relação ao país fronteira. Diferente dos demais indicadores, este apresenta um comportamento diverso. Na edição PINTEC (2003) e CIS (2004), a França foi o país de fronteira, onde as empresas do setor de M&E tiveram melhor desempenho nos resultados alcançados em relação aos esforços inovativos empreendidos, i.e., país onde houve maior produtividade dos esforços em atividades inovativas. Naquele ano, Itália e Espanha apresentaram hiato “médio” e Alemanha e Brasil apresentaram hiato “alto”.

Nas edições PINTEC (2005) e CIS (2006), a Itália foi o país de fronteira, todos os demais países apresentaram hiato da eficiência do esforço considerado “alto”. No entanto, chama-se atenção para o grande hiato do setor brasileiro em relação à fronteira, que aumentou em 384%, saltando de 92,3 pontos, em 2003, para 446,6, em 2006, 357,4 pontos a mais que a Alemanha, segundo país mais distante da fronteira, com *gap* de 89,2 pontos. Na edição de 2008, a França novamente se apresentou como país fronteira. Alemanha reduziu o hiato “alto” para “médio” e Itália e Espanha para “baixo”. O Brasil, embora tenha reduzido ligeiramente o hiato, continuou com distância muito elevada, registrando 417,4 pontos.

Tabela 6 – Eficiência do Esforço Inovativo e seu Hiato entre países selecionados

Eficiência do Esforço Inovativo e Hiato Inovativo PINTEC (2003) e CIS (2004)			
País	E EI	Hiato Setorial	Hiato
Alemanha	1,445	37,3	Alto
Itália	1,244	18,2	Médio
França	1,052	Fronteira	
Espanha	1,284	22	Médio
Brasil	2,023	92,3	Alto
Índice de Inovação PINTEC (2005) e CIS (2006)			
País	E EI	Hiato Setorial	Hiato
Alemanha	1,377	89,2	Alto
Itália	0,728	Fronteira	
França	1,088	49,4	Alto
Espanha	1,307	79,4	Alto
Brasil	3,980	446,6	Alto
Índice de Inovação PINTEC e CIS (2008)			
País	E EI	Hiato Setorial	Hiato
Alemanha	1,731	24,7	Médio
Itália	1,517	9,2	Baixo
França	1,388	Fronteira	
Espanha	1,453	4,6	Baixo
Brasil	7,183	417,4	Alto
Índice de Inovação PINTEC (2011) e CIS (2010)			
País	E EI	Hiato Setorial	Hiato
Alemanha	1,428	Fronteira	
Itália	1,536	7,5	Baixo
França	1,448	1,4	Baixo
Espanha	1,430	0,2	Baixo
Brasil	2,631	84,2	Alto
Índice de Inovação PINTEC e CIS (2014)			
País	E EI	Hiato Setorial	Hiato
Alemanha	1,658	18,6	Médio
Itália	1,426	2	Baixo
França	1,418	1,4	Baixo
Espanha	1,398	Fronteira	
Brasil	4,155	197,1	Alto
Índice de Inovação PINTEC (2017) e CIS (2018)			
País	E EI	Hiato Setorial	Hiato
Alemanha	1,156	8	Baixo
Itália	1,465	36,8	Alto
França	1,217	13,7	Médio
Espanha	1,071	Fronteira	
Brasil	3,213	200	Alto

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da *Community Innovation Survey (CIS)*, European Commission (2024) e Brasil (2020).

Nas edições PINTEC (2011) e CIS (2010), a Alemanha foi o país localizado na fronteira da eficiência do esforço inovativo. Naquele ano, é possível observar drástica redução no hiato dos demais países. Espanha, França e Itália registraram baixíssimo hiato, já o Brasil, apesar de ter reduzido consideravelmente o *gap*, apresentou distância de 84,2 pontos, ainda classificado como “alto”. Acredita-se que a diminuição do hiato tecnológico entre os países em análise

naquele período pode ser atribuída a vários fatores. Todavia, em um cenário pós crise internacional de 2008, sugere-se que os impactos da crise econômica global possam ter levado países desenvolvidos a reduzir drasticamente seus investimentos em P&D e atividades inovativas de forma temporária, de modo que os países em desenvolvimento foram capazes de reduzir o *gap* tecnológico. Este fato pode ser considerado, haja vista que países em desenvolvimento muitas vezes se beneficiam da colaboração internacional e da transferência de tecnologia de países desenvolvidos. Portanto, essa transferência de conhecimento pode impulsionar a inovação e os resultados inovativos em países em desenvolvimento.

Na edição de 2014, a Espanha foi o país de fronteira e, portanto, país com melhor produtividade dos esforços inovativos empreendidos. França e Itália mantiveram o hiato “baixo”, Alemanha apresentou hiato “médio” e o Brasil registrou novamente grande aumento no hiato, saltando de 84,2 pontos, em 2011, para 197,1, em 2014. Acredita-se que este resultado é decorrente da crise econômica enfrentada pelo Brasil que afetou severamente o setor de M&E. Cabe destacar que a retração do crédito imposta pelo cenário geral de restrições macroeconômicas, gerou maior dificuldade de acesso ao financiamento, em especial, às empresas inovadoras, além de influenciarem sobre as decisões de inovar. Além disso, nesse período houve queda na receita líquida de vendas da indústria de M&E no mercado interno, que representa também um reflexo da crise internacional de 2008, uma vez que houve queda da demanda interna por conta da retração dos investimentos.

Por fim, PINTEC (2017) e CIS (2018) a Espanha se manteve enquanto país de fronteira da eficiência do esforço inovativo. A Alemanha conseguiu reduzir a distância e registrou hiato “baixo”, enquanto França e Itália aumentou a distância. A primeira para a classificação de hiato “médio” e a segunda para “alto”. O Brasil, por sua vez, aumentou ligeiramente a distância e continuou com elevadíssimo hiato, registrando 200 pontos em relação à fronteira. Vale ressaltar que a indústria de M&E brasileira apresentou queda consecutiva por cinco anos na receita líquida de vendas, entre os anos de 2012 e 2017, somente a partir de 2018 começou a apresentar sinais de recuperação da recessão, fato este que reflete no aumento do *gap* tecnológico em relação aos países europeus líderes no segmento.

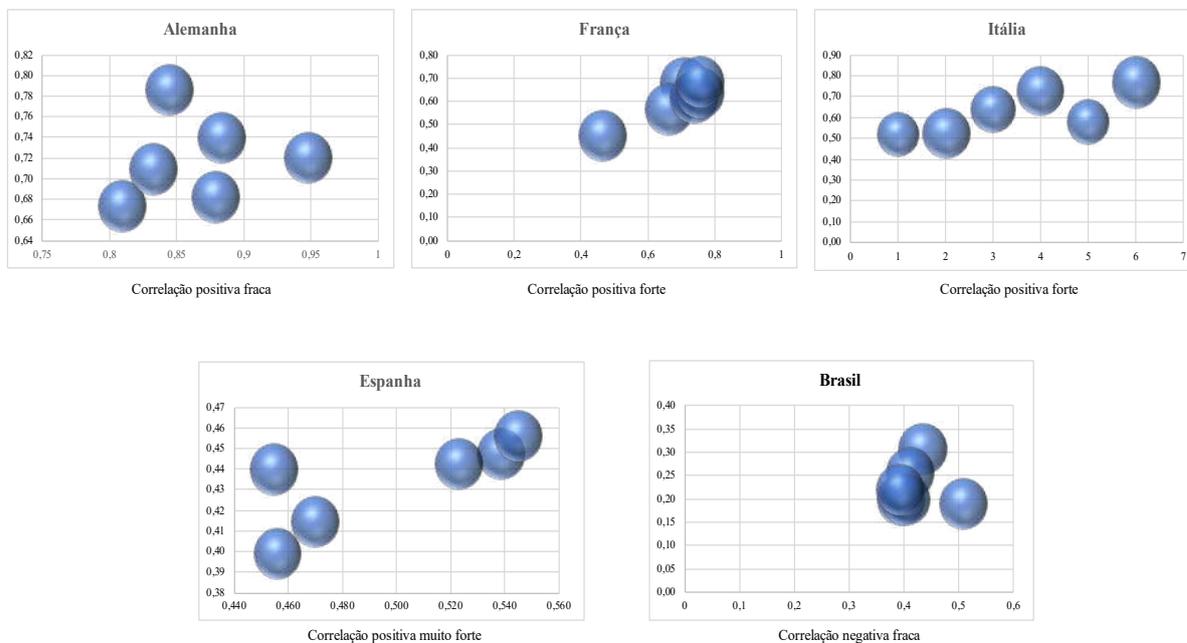
A Figura 2 apresenta a correlação entre a Taxa de Inovação do setor de M&E e o Índice Setorial de Inovação, ao longo do período analisado, para os países selecionados, como forma de complementar a análise e verificar o grau de correlação entre as duas variáveis²⁸. A

²⁸ A fim de possibilitar um maior entendimento sobre os dados, disponibilizou-se o cálculo da correlação dos indicadores analisados no diagrama de dispersão nos anexos.

correlação de Pearson é uma medida estatística que quantifica a relação linear entre duas variáveis contínuas. Este coeficiente é amplamente utilizado para avaliar a força e a direção das relações lineares em análises de dados. O coeficiente de correlação de Pearson varia entre -1 e +1, onde +1 indica uma correlação positiva perfeita, -1 indica uma correlação negativa perfeita, e 0 indica que não há correlação linear. Um valor positivo sugere que à medida que uma variável aumenta, a outra também aumenta, enquanto um valor negativo indica que à medida que uma variável aumenta, a outra diminui.

De acordo com o diagrama de dispersão apresentado pela Figura 2, as empresas do setor de M&E de todos os países europeus apresentam correlação positiva. Uma correlação positiva entre a taxa de inovação e o índice setorial de inovação indica que, à medida que a taxa de inovação do setor aumenta o índice de inovação – que pode medir o desempenho ou a qualidade dessas inovações – também tende a aumentar. Isso sugere que um maior volume de atividades inovadoras está associado a inovações de maior qualidade ou mais impactantes, corroborando a ideia de que os esforços para aumentar a quantidade de inovação também estão melhorando sua eficácia.

Figura 2 – Diagrama de dispersão da correlação entre Taxa de Inovação e Índice Setorial de Inovação em países selecionados



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da *Community Innovation Survey (CIS)*, European Commission (2024) e Brasil (2020).

Por outro lado, dentre os países em estudo, o Brasil foi o único a apresenta correlação negativa entre as duas variáveis ao longo do período (Figura 2). Uma correlação negativa entre o índice de inovação e a eficiência do esforço inovativo, por sua vez, sugere que, apesar de um aumento nos investimentos ou atividades relacionadas à inovação, a eficiência ou impacto significativo dessas inovações pode ser baixo. Isso pode indicar que muitas das iniciativas de inovação não estão alcançando resultados efetivos ou transformadores e os recursos para inovação estão sendo utilizados de maneira pouco eficaz, apontando para a necessidade de avaliar a eficácia e o direcionamento das estratégias de inovação implementadas, bem como da alocação de recursos.

4.5 Considerações finais

Esta pesquisa buscou contribuir para a literatura de inovação na indústria de máquinas e equipamentos, por meio da investigação da existência de hiato tecnológico entre o setor de M&E brasileiro *vis-à-vis* aos países europeus líderes no segmento, a partir dos anos 2000. Para tanto, utilizou-se os dados das últimas seis edições da PINTEC comparando-os com os dados das edições correspondentes da CIS, aplicados à metodologia baseada no conceito de Distância Euclidiana, com o intuito de calcular o hiato tecnológico a partir da construção de indicadores de resultado e esforço inovativo.

Entender e mensurar o hiato tecnológico existente entre países desenvolvidos e em desenvolvimento é fundamental, pois determina em grande parte a capacidade de um país de inovar, produzir eficientemente e competir globalmente. Desse modo, mensurar essa distância com precisão pode auxiliar na elaboração de políticas públicas de apoio à inovação, bem como promover desenvolvimento econômico e tecnológico de forma mais eficiente.

A análise dos dados corrobora a segunda hipótese de que o setor de M&E brasileiro apresenta elevado hiato tecnológico, que por sua vez, foi ampliado nos anos 2000, em relação aos países europeus líderes do segmento. Este hiato se apresenta tanto no Índice Setorial de Inovação, como no indicador de Eficiência do Esforço Inovativo, ao longo de todo o período analisado, especialmente em relação às economias mais avançadas como Alemanha, seguida pela França. Os indicadores de esforço inovativo e resultado do setor de M&E brasileiro demonstraram um grande *gap* em relação aos demais países em todas as edições da PINTEC, apresentando resultados muito baixos, até mesmo o indicador de P&D contínuo, que apresentou

melhor desempenho, porém de forma isolada não é capaz de reduzir o nível do hiato tecnológico em relação ao país que se situa na fronteira.

O hiato do Índice Setorial de Inovação, que indica quais países tiveram melhor desempenho em termos de esforço e resultado das atividades inovativas, aponta que o Brasil está muito distante da fronteira tecnológica, representada pela Alemanha, que figura entre os três líderes mundiais do setor de M&E, juntamente com EUA e China. Além disso, o setor brasileiro apresentou desempenho bastante inferior e grande hiato tecnológico inclusive em relação à Espanha, que também possui elevado hiato tecnológico em relação à fronteira. Somado a isso, os resultados mostram um cenário ainda mais preocupante, pois, ao longo do período em estudo, o Brasil caminhou na direção contrária e, ao invés de conseguir colmatar o fosso tecnológico em relação aos países desenvolvidos, aumentou significativamente o *gap* tecnológico, distanciando-se ainda mais da fronteira tecnológica ao apresentar o maior hiato do Índice de Inovação já registrado na última edição da PINTEC.

Já nos resultados do hiato de Eficiência do Esforço Inovativo, ao longo dos anos, observa-se mudanças quanto ao país localizado na fronteira tecnológica. De qualquer modo, o setor brasileiro apresentou hiato tecnológico ainda maior. Esse resultado evidencia que os esforços inovativos realizados pelas empresas brasileiras do setor de M&E não têm conseguido alcançar os resultados inovativos similares aos dos países europeus mais avançados no segmento e nem mesmo têm conseguido reduzir o hiato, agravando a situação e distanciando ainda mais o país da fronteira tecnológica.

Os resultados encontrados nesta pesquisa vão ao encontro da literatura de referência e apresenta resultados semelhantes aos de outros trabalhos na mesma direção que identificaram grande hiato tecnológico do Brasil em relação a países desenvolvidos e uma trajetória de *falling behind*²⁹. Nesse contexto, destaca-se que países com tecnologia avançada, apoiados por políticas de investimento em P&D e infraestrutura qualificada, conseguem não apenas manter uma vantagem competitiva, mas também liderar em inovação e desenvolvimento de novos produtos em setores-chave, como o de M&E. Isso os coloca em uma posição de liderança no mercado global, permitindo-lhes expandir sua participação de mercado e alcançar maior crescimento econômico.

Por outro lado, países com um hiato tecnológico significativo em relação à fronteira tecnológica e, como já descrito por Malerba (2004), que não possuem sistemas setoriais de

²⁹ Ver Arend e Fonseca (2012); Nassif; Feijó e Araújo (2013); Caria Junior (2017); Dosi; Riccio e Virgillito (2021); Silva e Botelho (2023).

inovação maduros e consolidados possuem maior dificuldade de se inserirem nos mercados internacionais, lutam para se manterem competitivos e, em alguns casos, sobreviver no mercado global. Esses países também enfrentam desafios como a obsolescência rápida de tecnologias e métodos de produção, obstáculos para incorporar tecnologias externas, bem como atrair investimentos, além das dificuldades intrínsecas em adotar novas tecnologias.

A capacidade de reduzir esse *gap* tecnológico é primordial para garantir que o setor de M&E desses países não apenas sobreviva, mas prosperem em uma economia globalizada e consigam desempenhar seu papel de difusor de inovações na economia. Vale ressaltar que a dependência de tecnologia incorporada em M&E importadas, enquanto solução temporária, pode não ser suficiente a longo prazo, pois, os países que possuem elevado hiato tecnológico em relação à fronteira precisam de políticas industriais e de inovação eficazes que promovam o desenvolvimento tecnológico interno e a criação de um sistema que possa sustentar o crescimento econômico e a competitividade.

Em suma, é importante ressaltar as limitações da presente pesquisa para que tais gargalos possam ser superados em trabalhos futuros. Embora seja importante calcular o hiato tecnológico do setor de M&E brasileiro em relação aos líderes europeus desse segmento, acredita-se que uma análise mais completa englobaria os líderes mundiais do setor. Portanto, seria necessário acrescentar à análise uma comparação que contemple os três gigantes mundiais do setor, além da Alemanha pertencente ao estudo, agregar-se-ia EUA e China. Entretanto, esse tipo de análise foi dificultada devido à falta de dados compatíveis disponíveis para comparação, logo, foi possível realizar a comparação apenas entre a PINTEC e a CIS, que são compatíveis do ponto de vista metodológico.

Outra limitação a ser considerada é que, embora PINTEC e CIS sejam passíveis de comparação, não são capazes de capturar o impacto de determinadas especificidades intangíveis e inerentes ao setor de cada país que influenciam os resultados inovativos, como o conjunto de mudanças do aparato político-institucional e o direcionamento do apoio do governo ao estímulo à inovação. Por fim, a última limitação importante, também apontada por Silva e Botelho (2023) em sua análise comparativa, consiste no fato de que tais bases de dados não conseguem identificar a heterogeneidade, seja ela entre países, firmas ou setores. Esse tipo de limitação já havia sido discutido também em trabalhos como Dosi, Lechevalier e Secchi (2010), Fagerberg, Fosaas e Sapprasert (2012) e Imbriani *et al.* (2014). Ademais, além da heterogeneidade dos agentes, a própria estrutura do setor de M&E é bastante heterogênea, pois, a capacidade tecnológica se distribui de forma desigual no setor.

Apesar das limitações apresentadas, diante dos dados disponíveis para comparação o trabalho conseguiu atender aos objetivos propostos. Por fim, ressalta-se a importância de, em posse dos dados das futuras edições das pesquisas de inovação, continuar investigando a trajetória do hiato tecnológico deste setor de tamanha importância para o dinamismo da economia. Além do mais, tal estudo se faz necessário para a orientação e formulação de políticas de inovação e estratégias que visem aumentar o ritmo de incorporação do progresso técnico e reduzir o hiato tecnológico frente aos países desenvolvidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta Tese de Doutorado buscou avançar sobre a discussão do comportamento inovativo do setor de M&E a nível mundial, por meio da análise dos Sistemas Setoriais de Inovação (SSI) dos países líderes no segmento, bem como analisar de que modo a indústria M&E de brasileira se insere na dinâmica inovativa do setor e qual o hiato tecnológico existente em relação à fronteira tecnológica.

Para atender a esse propósito, a Tese foi estruturada em quatro capítulos. O primeiro deles apresentou uma abordagem teórica que, devido à amplitude do tema, serviu como arcabouço teórico aos capítulos seguintes que também podem ser tratados como ensaios independentes acerca da mesma temática. O segundo ensaio focou em realizar uma análise comparativa dos SSI do setor de M&E dos países líderes mundiais desse segmento, 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. Para tanto, realizou-se uma análise eminentemente documental, por meio de relatórios, dados estatísticos e documentos oficiais de ministérios, órgãos governamentais e associações do setor, além de utilizar as bases de dados do World Bank, United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN COMTRADE), Eurostat, Lens e Statista para identificar as diferenças e comparar os elementos dos SSI em análise.

A análise da evolução desses SSI indica 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. Destarte, 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, de diferentes formas apontam para um protagonismo da atuação do Estado na conformação e modernização do SSI.

Os resultados também chamam a atenção para o desempenho do SSI chinês, que se destaca por sua trajetória de *catching-up* industrial e tecnológico em um curto período de tempo, bem como pela estratégia de conquistar a liderança no novo paradigma tecnológico global. A China assumiu a liderança no volume de produção e exportações globais do setor de M&E e tem lutado para ascender nas posições mais nobre das cadeias globais de valor e alcançar também a liderança tecnológica do setor. Assim, os chineses têm conquistado importante fatia

de mercado das firmas alemãs e norte-americanas, travando um acirramento concorrencial no setor.

O terceiro ensaio se pautou na necessidade de analisar o SSI do setor de M&E brasileiro, com o intuito de identificar as características intrínsecas a esse sistema e traçar uma análise comparativa entre os SSI dos líderes do setor, analisados no primeiro ensaio. Para atender a esse propósito, utilizou-se um conjunto de dados para caracterizar o panorama geral do sistema de inovação. Os dados foram obtidos a partir da Pesquisa Industrial Anual (PIA), Pesquisa de Inovação (PINTEC), Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) e Sistema de Contas Nacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Banco Central do Brasil (BCB), Secretaria de Comércio Exterior (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços - SECEX/MDIC), Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ) e do United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN COMTRADE).

Os resultados indicam que o SSI do setor de M&E brasileiro apresenta determinadas características intrínsecas que não correspondem ao padrão de desenvolvimento dos líderes do setor no âmbito internacional. De modo geral, nos países líderes, o Estado esteve no centro do desenvolvimento do setor de M&E. Estes possuem políticas industriais bem definidas que incentivam a inovação e a competitividade, além de forte apoio governamental, por meio de financiamentos de projetos de P&D e investimentos massivos em inovação tecnológica. Em contrapartida, no Brasil, verifica-se que a dinâmica inovativa do setor de M&E esteve alicerçada no apoio à compra de M&E com tecnologias incorporadas, bem como produção e comercialização dos bens de capital de menor conteúdo tecnológico em relação aos países mais desenvolvidos. Além disso, as políticas industriais são consideradas esparsas e descontinuadas e, portanto, insuficientes para engendrar um desenvolvimento alavancado para o setor.

A análise dos dados corrobora a primeira hipótese de que as firmas do setor de M&E brasileiro possuem significativo e crescente atraso tecnológico em relação aos líderes mundiais do setor e está em evidente declínio. Deste modo, é necessário que o Estado assuma um papel de protagonista e busque 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.

O quarto ensaio buscou investigar a existência e o grau de hiato tecnológico do setor brasileiro de M&E, *vis-à-vis* aos países europeus de maior expressividade no segmento, sendo eles: Alemanha, Itália, Reino Unido, França e Espanha. Para tanto, analisou-se um conjunto de

indicadores formulados por meio de dados dos *surveys* de inovação no Brasil (PINTEC/IBGE) e União Europeia (CIS/EUROSTAT), a partir dos anos 2000. Isto posto, a partir de dados de esforço e resultado inovativo foram desenvolvidos índices para investigar a existência de hiato tecnológico entre Brasil e países europeus selecionados por meio de uma metodologia baseada no conceito de “Distância Euclidiana”.

Os resultados mostram que o setor de M&E brasileiro apresenta hiato tecnológico significativamente alto em relação aos países europeus líderes do setor tanto no Índice Setorial de Inovação, como no indicador de Eficiência do Esforço Inovativo, ao longo de todo o período analisado, especialmente em relação às economias mais avançadas como Alemanha, seguida pela França. Deste modo, a análise dos dados corrobora a segunda hipótese e mostram um cenário ainda mais preocupante, pois, evidenciam que o Brasil caminhou na direção contrária e, ao invés de conseguir colmatar o fosso tecnológico em relação aos países desenvolvidos, aumentou significativamente o *gap* tecnológico nos anos 2000, distanciando-se ainda mais da fronteira tecnológica do setor.

A análise aqui apresentada contribui à literatura evolucionária do progresso técnico e à literatura do setor em estudo. Somado a isso, a pesquisa fornece uma compreensão mais aprofundada aos formuladores de políticas públicas, gestores de firmas e pesquisadores dessa temática acerca das diferentes estratégias de inovação utilizadas nas economias que se encontram na fronteira tecnológica do setor de M&E, que podem ser adaptadas e/ou aplicadas em países menos desenvolvidos, bem como em outros setores da economia. Portanto, os resultados aqui alcançados poderão ser utilizados como ferramenta para auxiliar na conformação de políticas industriais e de inovação e estratégias de apoio ao direcionamento do SSI do setor de M&E brasileiro que visem aumentar o ritmo de incorporação do progresso técnico e reduzir o hiato tecnológico em relação aos países líderes do setor, de modo a fortalecer o aumento da competitividade e a capacidade inovadora da indústria brasileira. Por fim, os resultados e considerações obtidos não se limitam às proposições aqui pretendidas. Ainda há um amplo espaço de contribuição à literatura a partir da continuidade dos estudos nessa temática, bem como por meio de novas pesquisas que se desdobrem a partir desse estudo.

ANEXOS

Anexo 1 – Correlação entre Taxa de Inovação e Índice Setorial de Inovação

Alemanha		Itália		França		Espanha		Brasil	
Taxa de Inovação	ISI	Taxa de Inovação	ISI	Taxa de Inovação	ISI	Taxa de Inovação	ISI	Taxa de Inovação	ISI
0,809	0,673	0,520	0,466	0,464	0,452	0,470	0,415	0,435	0,306
0,832	0,709	0,525	0,615	0,708	0,679	0,456	0,399	0,394	0,197
0,947	0,720	0,637	0,517	0,665	0,564	0,539	0,447	0,510	0,190
0,884	0,740	0,728	0,587	0,737	0,612	0,545	0,456	0,413	0,255
0,879	0,683	0,579	0,485	0,756	0,635	0,523	0,442	0,403	0,198
0,845	0,786	0,769	0,635	0,757	0,686	0,455	0,440	0,392	0,219
Correlação	0,15	0,57		0,91		0,77		-0,08	

Fonte: Elaboração própria.

REFERÊNCIAS

ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Dez anos de Política Industrial: Balanço e perspectivas.** (Org.) Jackson De Toni - Brasília: ABDI. 2015.

ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. BRASIL. **Plano Brasil Maior: Inovar para competir. Competir para Crescer.** Plano 2011/2014. 2016. Disponível em: <https://old.abdi.com.br/Estudo/Plano%20Brasil%20Maior%20-%20FINAL.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2019.

ABIMAQ - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **A ABIMAQ e a PDP.** 2008. Acesso em: 12 abr. 2019. Disponível em: <http://www.abimaq.org.br/Arquivos/Html/IPDMAQ/10%20A%20ABIMAQ%20e%20a%20PDP%20-%20há%20impresso.pdf>.

ABIMAQ - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **ABIMAQ avalia Plano Brasil Maior e medidas anunciadas.** São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.abimaq.org.br/site.aspx/Abimaq-Informativo-Mensal-Infomaq?DetalheClipping=12&CodigoClipping=200>. Acesso em: 13 abr. 2019.

ABIMAQ – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **Proposta de políticas de competitividade para a indústria brasileira de bens de capital mecânicos.** 2014. Disponível em: <http://www.abimaq.org.br/comunicacoes/propostas/%0bpropostas-politicascompetitividade%20%20.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2018.

ABIMAQ – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **O caminho para o desenvolvimento: uma proposta para a indústria brasileira de máquinas e equipamentos.** 2018. Disponível em: http://www.abimaq.org.br/comunicacoes/2018/projetos/cartilhapresidenciais/cartilha_presidenciais_A4.pdf. Acesso em: 28 nov. 2018.

ABIMAQ – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **Indicadores Conjunturais.** Indústria brasileira de máquinas e equipamentos. Boletim DCEE de conjuntura. São Paulo, 2024.

ABRAMOVITZ, Moses. (1986). **Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind.** Journal of Economic History, 46(2), 385-406. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022050700046209>

AEM – ASSOCIATION OF EQUIPMENT MANUFACTURES. **Policy priorities.** 2022. Disponível em: <https://www.aem.org/advocacy/policy-priorities> Acesso em: 28 nov. 2022.

ALÉM, Ana Cláudia; PESSOA, Ronaldo Martins. O setor de bens de capital e o desenvolvimento econômico: quais são os desafios? **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 22, pp. 71-88, set. 2005.

AMSDEN, Alice. **Asia's Next Giant: South Korea and Late Industrialization.** Oxford University Press, New York, 1989.

ALLIANZ-TRADE. **Machinery & equipment sector risk report**. Economic Research. 2022. Disponível em: https://www.allianz-trade.com/em_global/economic-research/sector-reports/machinery-and-equipment.html#linkinternal2. Acesso em: 05 ago. 2022.

ALMEIDA, Karina Palmieri. **Caracterização e evolução da inovação tecnológica e do apoio das políticas públicas na indústria brasileira de máquinas e equipamentos: uma análise a partir da Pesquisa de Inovação (PINTEC)**. 2020. 132 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.154>

ALMEIDA, Karina Palmieri; BOTELHO, Marisa dos Reis Azevedo. **Inovação tecnológica e políticas públicas na indústria brasileira de máquinas e equipamentos: uma análise a partir da Pesquisa de Inovação (PINTEC)**. In: 48º Encontro Nacional de Economia, 2020, Brasília. Anais do 48º Encontro Nacional de Economia, pp. 1-20, 2020.

ARAÚJO, Bruno César. Indústria de bens de capital. In: DE NEGRI, João Alberto; LEMOS, Mauro Borges (Orgs). **O núcleo tecnológico da indústria brasileira**. Brasília: Ipea/Finep/ABDI, v.1, pp. 409-514, 2011.

ARAÚJO, Bruno César. A Petrobras e o setor de bens de capital no Brasil: uma análise microeconômica das oportunidades e desafios à inovação. In: DE NEGRI, João Alberto; DE NEGRI, Fernanda; TURCHI, Lenita; WOHLERS, Marcio; MORAIS, José Mauro; CAVALCANTE, Luiz Ricardo (Orgs). **Poder de Compra da PETROBRAS: Impactos Econômicos nos seus Fornecedores**. Brasília: Ipea e Petrobras, Vol. 2, Cap. 11, pp. 221-274, 2011.

ARAÚJO, Caroline Giusti; DIEGUES, Antônio Carlos. Uma análise dos processos de catching-up chinês e falling behind brasileiro na perspectiva da integração às cadeias globais de valor. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 5, n. 1, pp. 814-847, 2019. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n1-1001>

ARBIX, Glauco; MIRANDA, Zil; TOLEDO, Demétrio Cirne; ZANCUL, Eduardo de Senzi. **Made in China 2025 e Industrie 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>

AREND, Marcelo; FONSECA, Pedro Cezar Dutra Fonseca. Brasil (1955-2005): 25 anos de *catching up*, 25 anos de *falling behind*. **Revista de Economia Política**, vol. 32, nº 1, (126), pp. 33-54, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31572012000100003>

ASME – THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Disponível em: <https://www.asme.org/about-asme> Acesso em: 03 nov. 2022.

BAIN, Joe S. A importância da condição de entrada (tradução do capítulo 1 do livro **Barriers to New Competition**, Mass Haward U.P. (1956). Campinas, IE/UNICAMP, mimeo.

BAPTISTA, Margarida Afonso Costa. **Política Industrial: uma interpretação heterodoxa**. Coleção Teses. Campinas, SP: IE/UNICAMP, 2000.

BARBOSA FILHO, Nelson. Growth Exchange Rates and Trade in Brazil: A Structuralist Post-Keynesian Approach. **Nova Economia** 14 (2), 59–86, 2004.

BCB – BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Evolução recente da Formação Bruta de Capital Fixo**. Relatório de Inflação. 2022. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/content/ri/relatorioinflacao/202203/ri202203b1p.pdf> Acesso em: 10 nov. 2022.

BEGNINI; Sérgio; CARVALHO, Carlos Eduardo. Identificação de *clusters* industriais: um estudo quantitativo no estado de Santa Catarina. *Interações*, Campo Grande, MS, v. 22, n. 2, pp. 489-512, abr./jun, 2021. DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v22i2.3206>

BERTELSMANN STIFTUNG. **Was Chinas Industriepolitik für die deutsche Wirtschaft bedeutet: Szenarien für „Made in China 2025“ am Beispiel des deutschen Maschinenbaus**. 2020. Disponível em: https://www.vdma.org/documents/34570/4698508/Bertelsmann-Studie_Auswirkungen+Chinas+Industriepolitik_Maschinenbau_2020.pdf/b6db7a64-001e-c8cc-09ed-d20716a24bd5?t=1613553709508 Acesso em: 02 set. 2022.

BÉRTOLA, Luis; OCAMPO, José Antônio. **The Economic Development of Latin America Since Independence**. Oxford University Press, Initiative for Policy Dialogue, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199662135.001.0001>

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.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa de Inovação – PINTEC**. (Edições 2003, 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017), 2020. Disponível em: <https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=ibge+pintec&ie=UTF-8&oe=UTF-8>. Acesso em: 24 jan. 2023.

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.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS (MDIC). **Brasil Mais Produtivo**. 2024b.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Plano Brasil Maior**. Brasília: MDIC, [s.d.]. Disponível em: <http://www.investimentos.mdic.gov.br/public/arquivo/arq1332874273.pdf>. Acesso em: 20 out. 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Relação Anual de Informações Sociais (RAIS)**. 2024c. Disponível em: <http://www.rais.gov.br/sitio/index.jsf>. Acesso em: 25 abr. 2024.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Contas Nacionais**. 2024d. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais.html>. Acesso em: 25 jul. 2024.

BOGLIACINO, Francesco; PERANI, Giulio; PIANTA, Mario; SUPINO, Stefano. Innovation and Development: The Evidence From Innovation Surveys. **Latin American Business Review**, 13(3), pp. 219-261. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/10978526.2012.730023>.

BOGLIACINO, Francesco; PIANTA, Mario. Innovation and Development: The Pavitt Taxonomy, revisited: patterns of innovation in manufacturing and services. **Economia Política: journal of analytical and institutional economics**. V. 33, pp.153-180, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40888-016-0035-1>

BOTELHO, Marisa dos Reis Azevedo; MAIA, Adriano Filipe da Silva; PIRES, Luciano Augusto Vega. Inovação e porte das empresas: evidências sobre a experiência internacional e brasileira. **Revista de Economia**, 38(1). 2012. DOI: <https://doi.org/10.5380/re.v38i1.28755>

BOTTA, Alberto. A structuralist north-south model on structural change, economic growth and catching up. **Struct. Chang. Econ. Dyn.** 20, 61–73, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2008.12.001>

BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos; MARCONI, Nelson. Existe doença holandesa no Brasil? In: **Fórum de Economia da Fundação Getúlio Vargas**, 4, 2008, São Paulo. *Anais...* São Paulo, SP, 2008.

CANO, Wilson; SILVA, Ana Lucia Gonçalves. **Política industrial do governo Lula**. Texto para Discussão IE/UNICAMP, n. 181, 2010.

CANO, Wilson. A desindustrialização no Brasil. **Economia e Sociedade**, v. 21, n. Número Especial, pp. 831-851, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-06182012000400006>

CARDOSO DE MELLO, João Manuel. **O capitalismo tardio**. São Paulo: Brasiliense, 1982, 2^a edição.

CARIA JUNIOR, Sidnei de. **Hiato tecnológico e catching-up: uma abordagem a partir da inovação**. 2015. 220 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências e Letras (Campus de Araraquara), 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/132557>. Acesso em: 28 fev. 2022.

CARNEIRO, Ricardo. **Desenvolvimento em Crise: A economia brasileira no último quarto do século XX**. Campinas, Editoras UNESP e UNICAMP, 2002.

CARRERA-FERNANDEZ, José. Curso Básico de Microeconomia. 3a Ed. Salvador: EDUFBA, 2009.

CARVALHO, Enéas Gonçalves de; MELO, Tatiana Massaroli; GOMES, Rogério; GUEDES, Sebastião Neto Ribeiro. Estratégias tecnológicas na indústria de transformação do Brasil: um estudo a partir das atividades inovativas. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, SP, v. 20, n. 00, p. e021007, 2021. Disponível em:

<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8659257>. Acesso em: 16 jul. 2024. DOI: 10.20396/rbi.v20i00.8659257.

CASSIOLATO, José Eduardo; LASTRES, Helena Maria Martins. Sistemas de inovação e desenvolvimento: as implicações de política. **São Paulo em Perspectiva**, v. 19, n. 1, pp. 34-45, jan./mar., 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/spp/a/9V95npxkxV66Yg8vPJTpHfYh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-88392005000100003>

CASTELLACCI, Fulvio. **Technology-gap and cumulative growth**: models, results and performances. DRUID Winter Conference, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1080/02692170210136154>

CASTELLACCI, Fulvio. Technological paradigms, regimes and trajectories: Manufacturing and service industries in a new taxonomy of sectoral patterns of innovation. **Research Policy**, v. 39, pp. 1139-1158, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.03.011>.

CEPAL – COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. **Progreso técnico y cambio estructural en América Latina**. Santiago de Chile: CEPAL, 2007.

CEPAL – COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE; IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Avaliação de desempenho do Brasil Mais Produtivo**. CEPAL, IPEA. Brasília: Cepal, Ipea, 2018.

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.

CHANG, Ha-Joon. **Infant industry promotion in historical perspective** – A rope to hang oneself or a ladder to climb with? Document Prepared for the Conference Development Theory at the Threshold of the Twenty-First Century, 2001.

CHANG, Ha-Joon. “**Understanding the Relationship Between Institutions and Economic Development Some Key Theoretical Issues**”, Discussion Paper No. 2006/05. UNU- Wider July, 2006.

CHANG, Jae-Hee; HUYNH, Phu. **Asean in transformation**: the future of jobs at risk of automation. International Labour Office, Working Paper, n° 9, Geneva, 2016. Disponível em: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_dialogue/@act_emp/documents/publication/wcms_579554.pdf. Acesso em: 02 dez. 2021.

CHINA. 中國人民共和國中央人民政府 (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.

CIE – CHINA INDUSTRIAL EXPOSITION. **A Bellwether of China’s Equipment Manufacturing, A Barometer of China’s Domestic Economic Circulation**. 2022. Disponível em: <https://www.ciecn.com.cn/node/exhibitionIntroductionEn> Acesso em: 03 set. 2022.

CIMOLI, Mario. **Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina**. Santiago: CEPAL, 2005. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2799/1/S2005051_es.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2022.

CIMOLI, Mario, PORCILE, Gabriel. Technology, structural change and BOP constrained growth: a structuralist toolbox. **Cambridge J. Econ.** 38 (1), 215–237, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1093/cje/bet020>

CIMOLI, Mario; PEREIRA, João Basílio; PORCILE, Gabriel. A technology gap interpretation of growth paths in Asia and Latin America. **Research Policy**, Amsterdã, v. 48, n. 1, pp. 125-136, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.08.002>

CINN – CHINA INDUSTRY NEWS. 展稳中有升 “十三五”机械工业年均增速4.7% (**The average annual growth rate of the machinery industry's total profit in the “13th Five Year Plan” is 4.7%**). China Federation of Industry. 2021. Disponível em: http://www.cinn.cn/gongjing/202102/t20210226_238995.shtml Acesso em: 02 set. 2022.

CLA – CONSTRUÇÃO LATINO-AMERICANA. **Este é o Top10 dos fabricantes de máquinas de construção**. 2021. Disponível em: <https://www.construcaolatinoamericana.com/news/este-e-o-top10-dos-fabricantes-de-maquinas-de-construcao/8012322.article>. Acesso em 09 set. 2022.

CLUSTER PORTAL BW. **Clusterportal Baden-Württemberg**. Disponível em: <https://www.clusterportal-bw.de/en/>. Acesso em: 10 out. 2022.

CNDI – CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Plano Brasil Maior: Agendas estratégicas setoriais**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://bibspi.planejamento.gov.br/handle/iditem/243>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

COHEN, Wesley M., LEVINTHAL, Daniel A. Innovation and Learning: The Two Faces of R & D. **The Economic Journal**. Vol. 99, issue 397, pp. 569-596, 1989. DOI: <https://doi.org/10.2307/2233763>.

COHEN, Wesley. M.; KLEPPER, Steven. “The anatomy of industry R&D intensity distributions”. **The American Economic Review**, vol. 82, 1992.

COMANOR, W. S. “Market structure, product differentiation, and industrial research”. *Quarterly Journal of Economics*, vol. 81, pp. 639–657, 1967. DOI: <https://doi.org/10.2307/1885583>

C2ER – COUNCIL FOR COMMUNITY AND ECONOMIC RESEARCH. **Incentive Programs Currently Offered in Each State, by Number of Programs**. State Business Incentives Database. 2022. Disponível em: <https://selectusa.stateincentives.org/?referrer=selectusa> Acesso em: 22 nov. 2022.

DEUTSCHLAND. **Os campeões de inovação**. 2019. Disponível em: <https://www.deutschland.de/pt-br/topic/economia/as-mais-inovadoras-empresas-e-universidades-da-alemanha> Acesso em: 22 ago. 2022.

DIEGUES, Antônio Carlos; CRUZ JÚNIOR, José César; ROSELINO, José Eduardo; MILARÉ, Luís Felipe Lopes; BRANDÃO, Caroline Miranda. Brazilian and Chinese Industrial Development: A tale of two diferente paths. **Revista Espacios**, vol. 37, nº 05, 2016.

DIEGUES, Antônio Carlos; PELLEGRINI, Mateus Guerreiro; NORONHA, Thiago. Política industrial e *catching-up* da estrutura produtiva chinesa entre 2007 e 2014. **Cadernos do CEAS: Revista crítica de humanidades**, vol. 47(255), 19–55, 2022. DOI: <https://doi.org/10.25247/2447-861X.2022.n255.p19-55>.

DOSI, Giovanni. Technological Paradigms and Technological Trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, Amsterdã, v. 11, pp. 147- 162, 1982. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(82\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0048-7333(82)90016-6).

DOSI, Giovanni; SOETE, Luc. Technology gaps and cost-based adjustment: some explorations on the determinants of international competitiveness. **Metroeconomica**, v. 35, n. 3, pp. 197-222, oct. 1983. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-999X.1983.tb00781.x>

DOSI, Giovanni. **Technical change and industrial transformation: the theory and an application to the semiconductor industry**. London: The Macmillan Press Ltd., 1984. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-349-17521-5>

DOSI, Giovanni; FREEMAN, Christopher; NELSON, Richard; SILVERBERG, Gerald; SOETE, Luc. (Ed.). **Technical change and economic theory**. London: Pinter Publishers, 1988.

DOSI, Giovanni, PAVITT, Keith, SOETE, Luc. **The Economics of Technical Change and International Trade**. Wheatsheaf, Brighton, 1990.
DOSI, Giovanni. **Mudança técnica e Transformação Industrial**. Campinas: Ed. Unicamp, 2006.

DOSI, Giovanni; LECHEVALIER, Sebastien; SECCHI, Angelo. Introduction: interfirm heterogeneity – nature, sources and consequences for industrial dynamics. **Industrial and Corporate Change**, Oxford, v. 19, pp. 1667-1690, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dtq062>

DOSI, Giovanni; FAGIOLO, Giorgio; NAPOLETANO, Mauro; ROVENTINI, Andrea; TREIBICH, Tania. “Fiscal and Monetary Policies in Complex Evolving Economies”, **Journal of Economic Dynamics & Control**, forthcoming, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2400648>

DOSI, Giovanni; RICCIO, Federico; VIRGILLITO, Maria Enrica. Varieties of deindustrialization and patterns of diversification: why microchips are not potato chips. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 57, pp. 182-202, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2021.01.009>

DOSI, Giovanni. **The Foundations of Complex Envolving Economies**: Part one: Innovation, Organization and Industrial Dynamics. Oxford University Press, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780192865922.001.0001>

DUTT, Amitava Krishna. Income elasticities of imports, North–South trade and uneven development. In: DUTT, Amitava Krishna; ROS, Jaime. (Eds.), **Developments Economics and Structuralist Macroeconomics**: Essays in Honour of Lance Taylor. Edward Elgar, Cheltenham, UK, pp. 307–335, 2003. DOI: <https://doi.org/10.4337/9781781950081.00029>

EDQUIST, Charles. Systems of Innovation: Perspectives and Challenges. In: **The Oxford Handbook of Innovation**. FAGERBERG, Jan; MOWERY, David C.; NELSON, Richard R. (Eds.) Oxford, New York: Oxford University Press, 2005.

ERBER, Fábio Stefano. **Inovação tecnológica na indústria brasileira no passado recente: uma resenha da literatura econômica**. Brasília, DF: CEPAL-Ipea, 2010 (Textos para Discussão CEPAL-IPEA,17). Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/3152/1/TD%201524.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

EUROPEAN COMISSION. EUROSTAT. **Community Innovation Survey**. (Edições 2004, 2006, 2008, 2010, 2014 e 2018), 2024. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/microdata/community-innovation-survey>. Acesso em: 20 fev. 2024.

EU SME CENTRE. **China’s Machinery Sector: Entry Strategy, Localization Trend and Talent Recruitment**. 2022. Disponível em: <https://www.eusmecentre.org.cn/event/2022-05-31/china-machinery-sector-entry-strategy-localisation-trend-and-talent-recruitment>. Acesso: 27 set. 2022.

FAGERBERG, Jan. A technology gap approach to why growth rates differ. **Research Policy**, Amsterdã, v. 16, n. 2-4, pp. 87-99, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(87\)90025-4](https://doi.org/10.1016/0048-7333(87)90025-4)

FAGERBERG, Jan. International competitiveness. **Econ. J. R. Econ. Soc.** 98 (June (391)), 355–374, 1988. DOI: <https://doi.org/10.2307/2233372>

FAGERBERG, Jan. Technology and international differences in growth rates. **Journal of Economic Literature**, Nashville, v. 32, n. 3, pp. 1147-1175, 1994.

FAGERBERG, Jan; VERSPAGEN, Bart. Technology-gaps, innovation-diffusion and transformation: an evolutionary interpretation. **Research Policy**, Amsterdã, v. 31, n. 8-9, pp. 1291-1304, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00064-1](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00064-1)

FAGERBERG, Jan; MOWERY, David C.; NELSON, Richard R. (Eds.) **The Oxford Handbook of Innovation**. Oxford, New York: Oxford University Press, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.001.0001>

FAGERBERG, Jan; FOSAAS, Morten; SAPPRASERT, Koson. Innovation: exploring the knowledge base. **Research Policy**, Amsterdã, v. 41, n. 7, pp. 1132-1153, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.03.008>

FERRAMENTAL. **China se isola como o maior exportador mundial de máquinas e equipamentos.** 2022. Disponível em: <https://www.revistaferamental.com.br/noticia/china-se-isola-como-o-maior-exportador-mundial-de-maquinas-e-equipamentos/>. Acesso em: 22 jul. 2022.

FREEMAN, Christopher. **Technological infrastructure and international competitiveness.** Paris: OECD, Mimeo, August 1982.

FREEMAN, Christopher. **El reto de la innovación: la experiencia de Japón.** Caracas, Ven: Galac, 1987a.

FREEMAN, Christopher. **Technology and Economic Performance: Lessons from Japan,** Pinter, London, 1987b.

FREEMAN, Christopher. The national system of innovation in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, v. 19, n. 1, pp. 5-24, 1995.

FREEMAN, Christopher; LOUÇÃ, Francisco. **As Time Goes By: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution.** Oxford University Press, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1093/0199251053.001.0001>

GALVÃO, Olímpio J. de Arroxelas. ‘Clusters’ e distritos industriais: estudos de casos em países selecionados e implicações de política. **Planejamento e Políticas Públicas** No 21 – jun. 2000.

GERSCHENKRON, Alexander. **Economic Backwardness in Historical Perspective.** Belknap Press, Cambridge, USA, 1962.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5ª Ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GIOVANINI, Adilson; PEREIRA, Wallace Marcelino; SCHINDLER, Camila. **Integração entre o setor de máquinas e equipamentos e kibs: uma aplicação da abordagem de subsistemas.** VIII Encontro Nacional de Economia Industrial – ENEI, 2024. DOI: <https://doi.org/10.29327/viii-enei.923534>

GOMES, Rogério; STRACHMAN, Eduardo. O papel das multinacionais no desenvolvimento tecnológico do Brasil: políticas industriais como indutoras de catch up tecnológico. **São Paulo em Perspectiva.** Vol. 19 (2), 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-88392005000200004>

GOMES, Rogério; CONSONI; Flávia Luciane; GALINA, Simone Vasconcelos Ribeiro. P&D em filiais de empresas multinacionais instaladas no Brasil. **Revista Pretexto.** Vol. 11, Nº 1, 2010. DOI: <https://doi.org/10.21714/pretexto.v11i1.501>

GRANT THORNTON. **Mechanical and Plant Engineering.** 2022 Disponível em: <https://www.grantthornton.de/branchen/maschinen-anlagenbau/2022>. Acesso em: 12 set. 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.

GUDYNAS, Eduardo. Diez tesis urgentes sobre el nuevo extractivismo. In: **Extractivismo, política y sociedad**. Centro Andino de Acción Popular (CAAP) and Centro Latino Americano de Ecología Social (CLAES) (Eds.). Quito: CAAP – CLAES, 187-225, 2009.

GUERRERO, Glaison Augusto; FONSECA, Pedro César Dutra; AREND, Marcelo. The heterogeneity of the machine tool industry in Brazil. **Economia**, Amsterdam, Elsevier, Vol. 18, pp. 260-274, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.econ.2017.01.003>.

GUERRERO, Glaison Augusto; FONSECA, Pedro César Dutra. Trajetória e dinâmica tecnológica da indústria de máquinas-ferramenta no Brasil. **Econ. Soc.**, Campinas, v. 27, n. 1, pp. 287-319, abr. 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-06182018000100287&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 11 jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-3533.2017v27n1art10>.

GUSSO, Divonzir Arthur; NOGUEIRA, Mauro Oddo; VASCONCELOS, Lucas Ferraz. Heterogeneidade Estrutural: uma retomada conceitual. **Boletim Radar – Tecnologia, Produção e Comércio Exterior**, n. 14, Brasília: Ipea, 2011. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/radar/110727_radar14_cap1.pdf. Acesso em: 06 mar. 2022.

HALLWARD-DRIEMEIER, Mary; NAYYAR, Gaurav. **Trouble in the making?** The Future of Manufacturing-Led Development. Washington, DC: World Bank Group. 2017. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/27946>. Acesso em: 02 dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1174-6>

HERRERIAS, Maria Jesus; ORTS, Vicente. Capital goods imports and long-run growth: Is the Chinese experience relevant to developing countries? **Journal of Policy Modeling**, v. 35, n. 5, pp. 781-797, 2013. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/jpolmo/v35y2013i5p781-797.html> Acesso em: 20 fev. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2013.02.006>

HIRATUKA, Célio; SARTI, Fernando. Transformações na estrutura produtiva global, desindustrialização e desenvolvimento industrial no Brasil. **Brazilian Journal of Political Economy**. São Paulo, SP: Editora 34, 2017, Vol. 37, no.1, pp. 189-207, (jan./mar., 2017). DOI: <https://doi.org/10.1590/0101-31572016v37n01a10>

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.translate.google/detail/730751.html?_x_tr_sl=zhCN&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc Acesso em: 24 set. 2022.

IACONO, Antonio. **Análise dos elementos determinantes internos e externos para o acúmulo da capacidade tecnológica em empresas de bens de capital no Brasil**. 2015. 220 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE: versão 2.0**. 2007. Disponível em: https://cnae.ibge.gov.br/?option=com_cnae&view=estrutura&Itemid=6160&chave=&tipo=cnae&versao_classe=7.0.0&versao_subclasse=9.1.0. Acesso em: 20 fev. 2019.

IEDI - INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Indústria e política industrial no Brasil e em outros países**. mai. 2011. Disponível em: https://iedi.org.br/anexos_legado/4e29efc37b032090.pdf. Acesso em: 20 set. 2018.

IEDI – INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Indústria 4.0: A Política Industrial da Alemanha para o Futuro**. Carta IEDI, edição 807. 2017a. Disponível em: https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_807.html Acesso em: 20 fev. 2020.

IEDI - INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Indústria 4.0: O Plano de Estratégico de Manufatura Avançada nos EUA**. Carta IEDI. Edição 820. dez. 2017b. Disponível em: https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_820.html. Acesso em: 28 out. 2019.

IEDI - INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Indústria 4.0 em perspectiva comparada**. Análise IEDI. mai. 2018. Disponível em: https://iedi.org.br/artigos/top/analise/analise_iedi_20180705_inovacao.html. Acesso em: 14 out. 2018.

IMBRIANI, Cesare; PITTIGLIO, Rosanna; REGANATI, Filippo; SICA, Edgardo. How much do technological gap, firm size, and regional characteristics matter for the absorptive capacity of Italian enterprises? *International Advances in Economic Research*, Berlim, v. 20, n. 1, pp. 57-72, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11294-013-9439-7>

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.

KAHN, Mushtaq H.; BLANKENBURG, Stephanie. The political economy of industrial policy in Asia and Latin America. In: CIMOLI, Mario; DOSI, Giovanni; STIGLITZ, Joseph E. (Eds.), **The Political Economy of Capabilities Accumulation: the Past and Future of Policies for Industrial Development**. Oxford University Press, 2009.

KIM, Yoon-Zi; LEE, Keun. Making a technological catch-up in the capital goods industry: barriers and opportunities in the Korean case. In: MALERBA, Franco; MANI, Sunil (Eds.), **Sectoral Systems of Innovation and Production in Developing Countries**, Edward Elgar, Cheltenham, UK, chapter 9, pp. 259-286, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4337/9781849802185.00016>

KUPFER, David. Uma abordagem neo-schumpeteriana da competitividade industrial. **Ensaio FEE**, v. 17, n. 1, pp. 355-372, Porto Alegre, 1996.

LABRUNIE, Mateus. **Barreiras à digitalização industrial e como enfrentá-las: evidências do setor de máquinas e equipamentos brasileiro**. VIII Encontro Nacional de Economia Industrial – ENEI, 2024. DOI: <https://doi.org/10.29327/viii-enei.923550>

LALL, Sanjaya. The technological structure and performance of developing country manufactured exports, 1985-1998. **QEH Working Paper Series**, n. 44, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1080/713688318>.

LEE, Keun; LIM, Chaisung. “Technological regimes, catching-up and leapfrogging: findings from the Korean industries”, **Research Policy**, Vol. 30-3, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00088-3](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00088-3).

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>

LEE, Keun; MALERBA, Franco. Economic Catch-up by Latecomers as an Evolutionary Process. In: NELSON, Richard R.; DOSI, Giovanni; HELFAT, Constance; PYKA, Andreas; SAVIOTTI, Pier Polo; LEE, Keun; DOPFER, Kurt; MALERBA, Franco; WINTER, Sidney. **Modern Evolutionary Economics: an overview**. Cambridge, United Kingdom; New York, NY: Cambridge, University Press, 2018.

LENS.ORG – **Patents**. Disponível em: <https://www.lens.org> Acesso em: 10 jul. 2024.

LESSA, Carlos. A estratégia de desenvolvimento, 1974/76; sonho e fracasso. Campinas, São Paulo: UNICAMP-IE, (30 Anos de Economia – UNICAMP, 5), 1998.

LIM, Chaisung. “Sectoral Systems of Innovation in the Period of Cluster Forming-the Case of the Korean Machine Tool Industry”, **Science Policy Research Unit**, University of Sussex, Brighton, 1997.

LIST, Friedrich. **The National System of Political Economy**, English Edition (1904) London, Longman, 1841.

LÓPEZ-GÓMEZ, Carlos, LEAL-AYALA, David; PALLADINO, Michele; O’SULLIVAN, Eoin. “**Emerging Trends in Global Advanced Manufacturing: Challenges, Opportunities and Policy Responses.**” United Nations Industrial Development Organization and University of Cambridge’s Institute for Manufacturing, 2017.

LUCAS, Robert. On the mechanics of economic development. **Journal of Monetary Economics**, v. 22, nº1, pp. 3–42, 1988. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(88\)90168-7](https://doi.org/10.1016/0304-3932(88)90168-7)

LUNDVALL, Bengt-Åke. National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. Edited by Lundvall, B.-Å. London: Pinter Publishers. 1992.

LUNDVALL, Bengt-Åke. The Social Dimension of the Learning Economy. **Working Paper**, nº 96-1, Aalborg University, 2001.

LUNDVALL, Bengt-Åke. (2004). The economics of knowledge and learning. In: CHRISTENSEN, Jersén Lindgaard; LUNDVALL, Bengt-Åke (Eds.). **Product innovation, interactive learning and economic performance: research on technological innovation, and management policy**. vol. 8, pp. 21-42). London: Elsevier. Innovation, Management and

Policy, v. 8, Emerald Group Publishing Limited, Bingley, pp. 21-42.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0737-1071\(04\)08002-3](https://doi.org/10.1016/S0737-1071(04)08002-3).

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>.

LUNDVALL, Bengt-Åke. **The learning economy and the economics of hope**. London; New York, NY: Anthem Press, 2016. DOI: https://doi.org/10.26530/OAPEN_626406

MALERBA, Franco. Learning by firms and incremental technical change. **The Economic Journal**, v. 102, n. 413, pp. 845-859, 1992. DOI: <https://doi.org/10.2307/2234581>

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 and Innovation and Technology Policy. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 2, n. 2, pp. 329-375, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.20396/rbi.v2i2.8648876>.

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. Schumpeterian patterns of innovation and technological regimes. In: HANUSCH, Horst; PYKA, Andreas (Eds). **Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics**. Edward Elgar. Cheltenham, UK, pp. 344–359, 2007. DOI: <https://doi.org/10.4337/9781847207012>.

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>.

MARQUES, Mabel Diz; ROSELINO, José Eduardo; MASCARINI, Suelene. Taxonomias tecnológicas e setoriais da indústria de transformação brasileira. **Rev. Bras. Inov.**, Campinas

(SP), v. 18 n° 2, pp. 417-448, julho/dezembro 2019. DOI: <https://doi.org/10.20396/rbi.v18i2.8653882>

MARSON, Michel Deliberali. **Origens e evolução da indústria de máquinas e equipamentos em São Paulo, 1870-1960**. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade de São Paulo, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-63512012000300003>.

MAYER, Joerg. **Robots and industrialization: what policies for inclusive growth?** G24 Working Paper, Washington DC. 2018. Disponível em: <https://www.g24.org/wp-content/uploads/2018/08/Mayer_-_Robots_and_industrialization.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2021.

MCCOMBIE, John S. L., THIRLWALL, Anthony Philip. **Economic Growth and Balance of Payments Constraint**. Macmillan, Houndmills, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-349-23121-8>

MCKINSEY & COMPANY. **Semiconductor shortage**: How the automotive industry can succeed. 10 jun. 2022. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/semiconductor-shortage-how-the-automotive-industry-can-succeed>. Acesso em: 25 mai. 2022.

MELO, Tatiana Massaroli; CORREA, André Luiz; CARVALHO, Enéas Gonçalves; POSSAS, Mario Luiz. Competitividade e gap tecnológico: uma análise comparativa entre Brasil e países europeus selecionados. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, SP, v. 16 n. 1, pp. 129-156 2017. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8649142>. Acesso em: 30 jul. 2024. Acesso em: 24 fev. 2024. DOI: <https://doi.org/10.20396/rbi.v16i1.8649142>

METCALFE, Stan. **Evolutionary Economics and Creative Destruction**. Routledge: London, UK, 1998. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203275146>

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.

MIGUEZ, Thiago. **Visão 2035**: Brasil, país desenvolvido - Agendas setoriais para o desenvolvimento. Brasília: BNDES, 2018.

MORCEIRO, Paulo César; GUILHOTO, Joaquim José Martins. **Desindustrialização setorial e estagnação de longo prazo da manufatura brasileira**. Department of Economics, FEA-USP, Working paper N° 2019-01. DOI: <https://doi.org/10.5151/iv-enei-2019-1.3-022>

MORCEIRO, Paulo César. **Nova Classificação de Intensidade Tecnológica da OCDE e a Posição do Brasil**. Informações FINE, Edição 461 (fevereiro), pp. 8-13, 2019. Disponível em: <<https://downloads.fipe.org.br/publicacoes/bif/bif461-8-13.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2021.

NASSIF, André. The structure and competitiveness of the Brazilian capital goods industry. **CEPAL Review**, v. 96. pp. 421-264, 2008. DOI: <https://doi.org/10.18356/d53735e6-en>

NASSIF, André; FEIJÓ, Carmem; ARAÚJO, Eliane. **Structural Change and Economic Development: is Brazil catching up or falling behind?** United Nations Conference on Trade and Development. *Discussion papers*, No 211, 2013.

NAUGHTON, Barry. **The rise of China's industrial policy, 1978-2020**. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía. Capítulo 4, "The Innovation-Driven Development Strategy, 2015-Present", 2021.

NELSON, Richard R. Why do firms differ, and how does it matter? **Strategic Management Journal**, Chicago, v. 12, n. S2, pp. 61-74, 1991. DOI <https://doi.org/10.1002/smj.4250121006>

NELSON, Richard R. **National Innovation Systems: A Comparative Study**. Oxford University Press: Oxford, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780195076165.001.0001>

NELSON, Richard R. The coevolution of technology, industrial structure and supporting institutions. **Industrial and Corporate Change**, Vol. 3(1), pp. 47-64, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/3.1.47>

NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press, 1982.

NONAKA, Ikujiro; TAKEUCHI, Hirotaka. **Criação do conhecimento na empresa: como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação**. Tradução de Ana Beatriz Rodrigues e Priscila Martins Celeste. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Technical Change and Economic Policy: Science and Technology in the New Economic and Social Context**. FREEMAN, Chris; COLOMBO, U; NELSON, Richard; PAVITT, Keith; ROSENBERG, Nathan. Paris:1980.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Proposed guidelines for collecting and interpreting innovation data (Oslo Manual)**. Paris: 1992.

OCDE – ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Manual de Oslo: diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação**. 3a ed. Trad.: FINEP. Rio de Janeiro, 2005.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business**. Paris: OECD Publishing, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264271036-en>

OREIRO, José Luis da Costa; LEMOS, Breno Pascualote; SILVA, Guilherme Jonas Costa. A relação entre a elasticidade-renda das exportações, a taxa de câmbio real e o hiato tecnológico: teoria e evidência. **Economia & Tecnologia**, Curitiba, v. 8, n. 3, pp. 97-108, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5380/ret.v3i1.29503>

OREIRO, José Luis da Costa; FEIJÓ, Carmem A. Desindustrialização: conceituação, causas, efeitos e o caso brasileiro. **Revista de Economia Política**, v. 30, n. 2, abr./jun, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31572010000200003>

PAVITT, Keith. Padrões setoriais de mudança tecnológica: rumo a uma taxonomia e a uma teoria. [Tradução de: “Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory”. **Research Policy**, v. 13, n. 6, pp. 343-373, 1984].

PAVITT, Keith.; ROBSON, Michael; TOWNSEND, Joe. Technological accumulation, diversification and organization in the U.K. Companies, 1945-1983. **Management Science**, v. 35, n. 1, pp. 81-99, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.35.1.81>.

PENROSE, Edith T. **Teoria do Crescimento da Firma**. Editora Unicamp, 1959.

PERES, Wilson. The (slow) return of industrial policies in Latin America and the Caribbean. In: CIMOLI, Mario; DOSI, Giovanni; STIGLITZ, Joseph E. (Eds.), **The Political Economy of Capabilities Accumulation: the Past and Future of Policies for Industrial Development**. Oxford University Press, 2009.

PORTAL MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **Descarbonização das fontes de energia já é uma realidade**. São Paulo, fev. 2022. Disponível em: <https://maquinasequipamentos.com.br/descarbonizacao-das-fontes-de-energia-ja-e-realidade/>. Acesso em: 28 mai. 2022.

PORTER, Michael E. **The Competitive Advantage of Nations**. London: Macmillan. 1990. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-349-11336-1>

POSSAS, Mario Luiz. Em direção a um paradigma microdinâmico: a abordagem neoschumpeteriana. In: AMADEO, E. (Org). **Ensaio sobre economia política moderna: teoria e história do pensamento econômico**. São Paulo: Marco Zero, pp. 157-177, 1989.

PREBISCH, Raúl. El desarrollo económico de la América Latina y algunos de sus principales problemas. **Desarrollo Económico**, v. 26, n. 103, pp. 479-502, 1949. DOI: <https://doi.org/10.2307/3466824>

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.

RFA. 中国机械设备出口超过德国 距“既大且强”仍有距离 (**Exportações de máquinas e equipamentos da China supera “grande e forte” da Alemanha e ainda há distância**). 2021. Disponível em: <https://www.rfa.org/mandarin/yataibaodao/jingmao/hcm-07092021080705.html> Acesso em: 11 out. 2022.

RFI. 中國超越德國 成為機械設備世界出口冠軍. **Relações sino-alemãs**. 2021. Disponível em: <https://www.rfi.fr/tw/中國/20210708-中國超越德國-成為機械設備世界出口冠軍>. Acesso em: 10 out. 2022.

RODRIG, Dani. Understanding Economic Policy Reform. **Journal of Economic Literature**, Vol. 34, Nº 1, pp. 9-41, 1996.

RODRIG, Dani. Premature deindustrialization. **Journal of Economic Growth**, 21(1): 1–33. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10887-015-9122-3>

ROMER, Paul M. Increasing returns and long-run growth. **Journal of Political Economy**, Chicago, v. 94, pp. 1002-1037, 1986. DOI: <https://doi.org/10.1086/261420>

ROSENBERG, Nathan. **Technological Change and the British Iron Industry, 1700-1870**. Princeton: Princeton University Press, 1970.

ROSENBERG, Nathan. **Perspectives on technology**. New York; London; Melbourne: Cambridge University Press, 1976.

ROSENBERG, Nathan. Endogeneity in twentieth-century science and technology. In: ROSENBERG, Nathan. (orgs.). **Schumpeter and the endogeneity of technology**. New York: Routledge, 2000. Cap. 2, pp. 18-35. ROSENBERG, Nathan. **Por dentro da caixa preta**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2006 [1982]. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203465356>

SABBATINI, Rodrigo; BERTASSO, Beatriz; VIAN, Carlos Eduardo de Freitas; CARVALHO, Enéas Gonçalves de; LEMOS, Fernando Henrique; RUAS, José Augusto; PINHO, Marcelo. **PROJETO PIB: Perspectivas do investimento em mecânica**. (Relatório de Pesquisa). Rio de Janeiro: IE-UFRJ, 2009.

SACOMANO, José Benedito; GONÇALVES, Rodrigo Franco; SILVA, Márcia Terra; BONILLA, Silvia Helena; SÁTYRO, Walter Cardoso. **Indústria 4.0: Conceitos e Fundamentos**. Ed. Blucher. São Paulo, 2018.

SALERNO, Mario; DAHER, Talita. **Política industrial, tecnológica e de comércio exterior: balanços e perspectivas**. Brasília. Setembro, 2006.

SANTIAGO, Fernando. You say you want a revolution: strategic approaches to Industry 4.0 in middle-income countries. Inclusive and Sustainable Industrial Development Working Paper Series Working paper 19, **Department of policy, research and statistics**. UNIDO, 2018.

SANTOS, Marcos dos; PICCININI, Maurício Serrão. Indústria brasileira de bens de capital mecânicos – comércio internacional. **Revista do BNDES**. Rio de Janeiro, v.14, n. 29, pp. 177-234, jun. 2008. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/11036>. Acesso em: 29 jan. 2019.

SARI, J. F. **The MPS and the Bill of Material go hand-in-hand**. Richard C. Ling Inc., 1981.

SCHAPIRO, Mario G. Ativismo estatal e industrialismo defensivo: instrumentos e capacidades na política industrial brasileira. In: GOMIDE, Alexandre de Ávila; PIRES, Roberto Rocha Coelho (Eds.). **Capacidades estatais e democracia: arranjos institucionais de políticas públicas**. Brasília: Ipea, 2014. pp. 239-265.

SCHERER, Frederic M.; HARHOFF, Dietmar. “Technology policy for a world of skew-distribution outcomes”. **Research Policy**, vol. 29, pp. 559-566, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00089-X)

SCHERER, Frederic M.; HARHOFF, Dietmar; KUKIES, Jörg. “Uncertainty and the size distribution of rewards from innovation”. **Journal of Evolutionary Economics**, vol. 10, pp. 175-200, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001910050011>

SCHNEIDER, Ben Ross. **Designing Industrial Policy in Latin America: Business-State Relations and the New Developmentalism**. Palgrave, London, 2015.

SCHORR, Bettina. Extractivism in Latin America: The Global-National-Local Link. **Latin American Research Review** 54(2), pp. 509–516, 2019. DOI: <https://doi.org/10.25222/larr.392>

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Business Cycles**. New York: McGraw-Hill Book, 1939.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Capitalism, Socialism and Democracy**, 1942.

SEBRAE – SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Sobrevivência das empresas no Brasil**. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/sobrevivencia-das-empresas-no-brasil-102016.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2021.

SILVA, Marcelo Duarte; BOTELHO, Marisa dos Reis Azevedo. Hiato Tecnológico entre pequenas empresas do Brasil e de países europeus. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, 22, 1-31, 2023. <https://doi.org/10.20396/rbi.v22i00.8668037>

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.

STEIN, Guilherme de Queiroz; HERRLEIN JÚNIOR, Ronaldo. **Política Industrial no Brasil: uma análise das estratégias propostas na experiência recente (2003-2014)**. Planejamento e Políticas Públicas, no. 47, pp. 251-287, 2016.

STRACHMAN, Eduardo; AVELLAR, Ana Paula Macedo. Estratégias, desenvolvimento tecnológico e inovação no setor de bens de capital, no Brasil. **Ensaios FEE**, Porto Alegre, v.29, n.1, pp. 237 266, jun. 2008. Disponível em: http://cdn.fee.tche.br/ensaios/ensaios_fee_29_1.pdf. Acesso em: 10 abr. 2019.

STURGEON, Timothy J. The "New" Digital Economy and Development. **UNCTAD Technical Notes on ICT for Development No. 8**, UNCTAD, Geneva. 2017. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/tn_unctad_ict4d08_en.pdf. Acesso em: 28 nov. 2021.

SU, Yifei. **Foreign research and development in China: a sectoral approach**. Int. J. Technology Management, v. 51, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJTM.2010.033809>

SUZIGAN, Wilson. Estado e industrialização no Brasil. **Revista de Economia Política**, v. 8, n. 4, pp. 5–16, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1590/0101-31571988-4005>

SUZIGAN, Wilson. Experiência histórica de política industrial no Brasil. **Revista de Economia Política**, vol. 26, nº 1 (61), pp.5-20 janeiro-março,1996. DOI: <https://doi.org/10.1590/0101-31571996-0914>

SUZIGAN, Wilson; VILLELA, Annibal V. **Industrial Policy in Brazil**. Campinas, IE/UNICAMP, 1997.

SUZIGAN, Wilson; FURTADO, João. Política Industrial e Desenvolvimento. **Revista de Economia Política**, vol. 26, nº 2 (102), pp. 163-185 abril-junho/2006. <https://doi.org/10.1590/S0101-31572006000200001>

SUZIGAN, Wilson; FURTADO, João. Instituições e Políticas Industriais e Tecnológicas: Reflexões a partir da Experiência Brasileira. **Revista Estudos Econômicos**, Vol. 40, no. 1, pp. 7-41, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-41612010000100001>

TECNOLOGIA GUOHUI SHUO. **Entre as seis maiores potências mecânicas do mundo, quem está no topo?** 2022. Disponível em: https://www-163-com.translate.google.com/dy/article/H5L3R0GA055321XY.html?_x_tr_sl=zh-CN&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc. Acesso em: 22 set. 2022.

TEECE, David; PISANO, Gary. The dynamic capabilities of firms: an introduction. **Industrial and Corporate Change**, v. 1, n. 3, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/3.3.537-a>

THE WHITE HOUSE. **The American Jobs Act**. 12 set. 2011. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/ostp/nstc/> Acesso em: 12 mar. 2022.

THIRLWALL, Anthony Philip. The balance of payments constraint as an explanation of international growth differences. *Banca Nazionale del Lavoro Quarterly Review* 128 (1), 45–53, 1979.

TIRONI, Luis Fernando. **Política econômica e desenvolvimento tecnológico – diversificação ou especialização no setor de bens de capital sob encomenda**. 1979. 109 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Departamento de Economia e Planejamento Econômico do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1979.

TREGENNA, Fiona. Characterizing deindustrialization: an analysis of changes in manufacturing employment and output internationally. **Cambridge Journal of Economics**, v. 33, n. 3, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1093/cje/ben032>

TRIVIÑOS, Augusto N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

TUNCEL, Cem Okan; POLAT, Ayda. Sectoral system of innovation and sources of technological change in machinery industry: an investigation on Turkish machinery industry. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**. 5th International Conference on Leadership, Technology, Innovation and Business Management 2015, ICLTIBM 2015, 10-12 December 2015, Istanbul, Turkey, 2016. Istanbul, Elsevier, Vol. 229, pp. 214-225, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.07.131>.

ULHÔA, Wander Marcondes Moreira; BOTELHO, Marisa dos Reis Azevedo; AVELLAR, Ana Paula Macedo. Política industrial no Brasil nos anos 2000: uma análise sob a perspectiva da execução orçamentária da União. **Planejamento e Políticas Públicas**, no 53 (no prelo), 2019.

UN COMTRADE. **United Nations Commodity Trade Statistics Database**. Disponível em: <https://comtradeplus.un.org>. Acesso em: 20 ago. 2024.

UNCTAD – UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. **Trade and development report**. Geneva: United Nations, 2002, pp. 87-92. Disponível em: <https://unctad.org/system/files/official-document/tdr2002_en.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2021.

UNIDO – UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. **Introduction to UNIDO: inclusive and sustainable industrial development**. 2015. Disponível em: <https://www.unido.org/inclusive-and-sustainable-industrial-development>. Acesso em: 30 nov. 2021.

UNIDO – UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. **Bracing for the New Industrial Revolution: Elements of a Strategic Response**. Discussion paper. Vienna, 2019a. Disponível em: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-06/UNIDO_4IR_Strategy_Discussion_Paper.pdf. Acesso em: 30 nov. 2021.

UNIDO – UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. **The challenge of digitalization for firms in developing countries**. Inclusive and Sustainable Industrial Development Working Paper Series. WP 18, Vienna, 2019b. Disponível em: <https://www.unido.org/api/opentext/documents/download/16411932/unido-file-16411932>. Acesso em: 30 nov. 2021.

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.

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. **Made In America: Machinery**. Economics and Statistics Administration. 2014. <https://www.commerce.gov> Acesso em: 10 ago. 2022.

USITC – UNITED STATES INTERNATIONAL TRADE COMMISSION. Machinery. Disponível em: <https://www.usitc.gov>. Acesso em: 18 mai. 2023.

VAN GEERENSTEIN, Daniel. Mechanical Engineering and Industry 4.0. In: Frenz, Walter (eds). **Handbook Industry 4.0**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-64448-5_28

VDMA – VERBAND DEUTSCHER MASCHINEN- UND ANLAGENBAU E.V. **Maschinenbau in Zahl und Bild 2021**. Mechanical engineering – figures and charts 2021. Volkswirtschaft und Statistik Economics and Statistics. 2021. Disponível em: <https://www.vdma.org/association>. Acesso em: 08 jul. 2022.

VDMA – VERBAND DEUTSCHER MASCHINEN- UND ANLAGENBAU E.V. **Maschinenbau in Zahl und Bild 2022**. Mechanical engineering – figures and charts 2022. Volkswirtschaft und Statistik Economics and Statistics. 2022. Disponível em: <https://www.vdma.org/association>. Acesso em: 08 jul. 2022.

VERMULM, Roberto; ERBER, Fábio. **Estudo da Competitividade de Cadeias Integradas no Brasil: Impactos das Zonas de Livre Comércio**. Cadeia: Bens de Capital. UNICAMP, Campinas, 2002.

VERMULM, Roberto. **A indústria de bens de capital seriados**. CEPAL, 2003.

VERSPAGEN, Bart. **Uneven Growth Between Interdependent Economies: An Evolutionary View of Technology Gaps, Trade and Growth**. Ashgate Publisher, Avebury, 1993.

VERSPAGEN, Bart; LOO, Ivo. **Technology Spillovers between Sectors and over Time**. Maastricht University. 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(98\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(98)00046-8)

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.

XPERT.DIGITAL. **Top Ten Maschinenbau: Größte deutsche Maschinenbauunternehmen und Anlagenbauunternehmen**. 2021. Disponível em: <https://xpert.digital/top-ten-maschinenbau-groesste-deutsche-maschinenbauunternehmen-und-anlagenbauunternehmen/> Acesso em: 13 out. 2022.

YICAI GLOBAL. **China Becomes World’s Largest Machinery Equipment Exporter**. 2021. Disponível em: <https://www.yicai.com/news/china-becomes-world-largest-machinery-equipment-exporter>. Acesso em: 11 ago. 2022

ZANELLO, Giacomo; FU, Xiaolan; MOHNEN, Pierre; VENTRESCA, Marc. The creation and diffusion of innovation in developing countries: a systematic literature review. **Journal of Economic Surveys**, 30(5): 884–912, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/joes.12126>.