

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

LINDOMAYARA FRANÇA FERREIRA

**ENSAIOS SOBRE CAPACIDADE PRODUTIVA, TECNOLÓGICA E
POLÍTICAS DE FINANCIAMENTO DA INDÚSTRIA EÓLICA**

Juiz de Fora
2025

LINDOMAYARA FRANÇA FERREIRA

**ENSAIOS SOBRE CAPACIDADE PRODUTIVA, TECNOLÓGICA E
POLÍTICAS DE FINANCIAMENTO DA INDÚSTRIA EÓLICA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Economia. Área de concentração: Economia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Gonçalves
Coorientador: Dr. André Suriane da Silva
Coorientador: Prof. Dr. Danilo Sartorello Spinola

Juiz de Fora
2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

França Ferreira, Lindomayara.

ENSAIOS SOBRE CAPACIDADE PRODUTIVA, TECNOLÓGICA E POLÍTICAS DE FINANCIAMENTO DA INDÚSTRIA EÓLICA /

Lindomayara França Ferreira. -- 2025.

246 p. : il.

Orientador: Eduardo Gonçalves

Coorientadores: Danilo Sartorello Spinola, André Suriane da Silva

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia. Programa de Pós-Graduação em Economia, 2025.

1. Geografia Econômica Evolucionária. 2. Política Industrial. 3. Financiamento. 4. Setor eólico. I. Gonçalves, Eduardo, orient. II. Sartorello Spinola, Danilo, coorient. III. Suriane da Silva, André, coorient. IV. Título.

Lindomayara França Ferreira

Ensaio sobre capacidade produtiva, tecnológica e políticas de financiamento da indústria eólica

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Economia. Área de concentração: Economia

Aprovada em 28 de abril de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Eduardo Gonçalves - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. André Suriane da Silva - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Danilo Sartorello Spinola - Coorientador
United Nations University

Dr^a. Flávia Lúcia Chein Feres
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Fernando Salgueiro Perobelli
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr^a. Fernanda Faria Silva

Universidade Federal de Ouro Preto

Dr. Renato de Castro Garcia

Universidade Estadual de Campinas

Juiz de Fora, 27/03/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Goncalves, Professor(a)**, em 29/04/2025, às 16:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flavia Lucia Chein Feres, Professor(a)**, em 06/05/2025, às 11:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANDRÉ SURIANE DA SILVA, Usuário Externo**, em 06/05/2025, às 11:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernanda Faria Silva, Usuário Externo**, em 06/05/2025, às 17:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Renato de Castro Garcia, Usuário Externo**, em 06/05/2025, às 19:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Salgueiro Perobelli, Professor(a)**, em 07/05/2025, às 07:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Danilo Spinola, Usuário Externo**, em 12/05/2025, às 10:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2318748** e o código CRC **DF2CB69E**.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus e a intercessão de Nossa Senhora da Graça, por me conceder força e perseverança para concluir este trabalho. Seguir o caminho acadêmico é um desafio árduo. Em diversas ocasiões, minhas escolhas e habilidades foram questionadas, por terceiros e por mim. De fato, não sou um ser pronto e acabado, mas creio que Deus tem me capacitado, dia após dia, para cumprir Sua promessa com excelência. A Ele, portanto, toda a honra por cada passo dado nesta jornada.

Meus agradecimentos se estendem a todos que contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal, pois sou melhor e mais forte pelos laços que me cercam. Em especial, agradeço ao meu pai, que não mediu esforços para tornar essa trajetória possível, sempre com compreensão e amor dotado de paciência. Minha mãe, Rozelma, que sempre esteve presente e acreditou na minha capacidade de conquistar grandes coisas. Minha avó, Josefa, por todos os ensinamentos que vão além das páginas dos livros, por ser inspiração de sensibilidade, empatia e desprendimento. Meus irmãos, Luiz Gabriel e Lindomarllus, por todo amor e cumplicidade. E minha afilhada e amiga, Deysiane, por todo apoio.

Agradeço ao Prof. Dr. Eduardo Gonçalves pelos ensinamentos e anuências para que eu participasse da Escola de Estudos Latino-Americanos do Desenvolvimento da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) e do intercâmbio acadêmico com a *Birmingham City University* (BCU), ambos imprescindíveis para meu crescimento. Ao André Suriane, pelo suporte na correção e nas sugestões para o modelo econométrico. Também expresso minha gratidão ao Prof. Dr. Danilo Spinola, cujos ensinamentos dotados de disponibilidade e paciência foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora (PPGE/UFJF) pelo ambiente enriquecedor de troca e aprendizado. Sou grata aos meus colegas e amigos pela convivência, pelos momentos de descontração e pelo apoio ao longo dessa jornada. Meu reconhecimento também ao corpo docente, cujo vasto conhecimento e dedicação, sem dúvida, serão fontes de inspiração para mim. Por fim, expresso minha gratidão aos funcionários da secretaria pela atenção e cordialidade em todos os momentos em que precisei.

Agradeço ainda a disponibilidade e as preciosas contribuições dos professores que compõem a banca examinadora deste trabalho: a Profa. Dra. Flávia Chein, a Profa. Dra.

Fernanda Faria, o Prof. Dr. Fernando Perobelli e o Prof. Dr. Renato Garcia. Não poderia desejar uma composição melhor – são profissionais pelos quais nutro profunda admiração e respeito.

Embora essas palavras sejam direcionadas para a conclusão do doutorado, eu não poderia deixar de agradecer aos ensinamentos e incentivos recebidos em cada etapa anterior, todos primordiais para o direcionamento do caminho que trilhei. Em especial, sou grata à Profa. Dra. Cynthia Xavier, minha orientadora da graduação na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), ao Prof. Dr. José Ricardo e à Profa. Dra. Márcia Rapini, meus orientadores do mestrado na Universidade Federal de Sergipe (UFS). Cada um, à sua maneira, com sua dedicação e seus valores, tornou-se uma inspiração para mim. Sou imensamente grata também a todos os amigos da UFPE e UFS que fizeram parte dessa jornada, pelo companheirismo, pelas palavras de incentivo e pelo acolhimento. Expresso, portanto, minha mais sincera gratidão e profunda admiração a todos os professores e pesquisadores que contribuíram para minha formação e que seguem sendo referência para mim até hoje. Aprendi com cada um e levarei essas lições comigo.

Por fim, agradeço ao Estado nacional brasileiro que, por meio de políticas públicas de redistribuição, me proporcionou acessos que, até então, estavam distantes da minha realidade. Em específico, agradeço à CAPES e ao apoio financeiro da UFJF pela oportunidade de me dedicar aos estudos e a esta pesquisa. Espero que este trabalho contribua para as discussões relevantes sobre a temática e incentive reflexões capazes de promover um desenvolvimento econômico mais sustentável e igualitário.

“(...) Uma cidade construída sobre um monte não pode ficar escondida. Nem se acende uma lâmpada para ser colocada embaixo de um móvel, mas no candeeiro, e assim ela ilumina todos os que estão em casa” (Mateus 5:14).

RESUMO

Os sistemas energéticos, fortemente dependentes do carbono, estão profundamente enraizados na vida social, econômica e política. Com os desafios de mudança climática antropogênica e segurança energética, a fonte de energia eólica tem sido apontada como tecnologia-chave para promover benefícios climáticos, sociais e econômicos. Nos últimos anos, os avanços tecnológicos ampliaram a maturidade e a competitividade dessa tecnologia. Considerada uma indústria dinâmica, tecnológica e em crescimento exponencial, a capacidade de geração eólica global apresentou, em 2022, um aumento de 14%, sendo a segunda mais alta entre todas as tecnologias renováveis disponíveis. No entanto, com a transformação do sistema energético em curso, para atender à crescente demanda da atividade eólica e conseguir dar saltos tecnológicos, faz-se primordial o desenvolvimento de uma cadeia produtiva doméstica eficiente e de alto valor agregado. Construída sobre essas bases, esta tese busca discutir a capacidade produtiva e tecnológica no desenvolvimento da indústria de energia eólica, assim como o imprescindível papel das políticas de financiamento destinadas para essa tecnologia, a partir de três ensaios. Com base na revisão sistemática da literatura, o primeiro ensaio destaca os mecanismos associados à criação e ao desenvolvimento industrial eólico, em cenários com e sem precedentes imediatos. Os principais resultados apontam evidências multissetoriais e pré-existentes, ancoradas nas capacitações para o desenvolvimento eólico de diferentes países *players* do mercado, como as atividades dos setores de petróleo e gás, construção naval, aviação, metalmeccânica, entre outros, bem como a interação entre os agentes público, privado e cívico. O artigo conclui que, para o desenvolvimento de “um novo caminho” e o transbordamento das capacitações, é necessário o acesso de estruturas facilitadoras (instituições de pesquisas, instituições governamentais e universidades), a colaboração no fornecimento de novas tecnologias (dentro e entre os setores) e a capacidade de absorção local. O segundo ensaio identifica os fatores associados e os caminhos condicionantes para a especialização no setor eólico, à luz da perspectiva comparativa entre os países da América do Sul e os *players* do mercado *onshore*. A partir da construção de um indicador de especialização, combinado com técnicas de análise multivariada, para os períodos de 2010, 2015 e 2020. Além dos principais *players* (Alemanha, China, Estados Unidos e Índia), os resultados indicam especialização e indícios de especialização no Uruguai, no Brasil e no Chile. Com estímulos de natureza econômica, política e natural, foram identificados diferentes caminhos condicionantes para a especialização no setor eólico, com destaque para os componentes “*carbon lock-in*” e “dependência energética”. O artigo conclui que há um esforço para a transição do sistema energético vigente e que economias, com características intensivas em carbono e de alta dependência energética, podem promover a transformação do seu sistema por meio de políticas e instrumentos direcionados para essa nova atividade. Com foco no Brasil, o terceiro ensaio estima o efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica sobre o setor industrial, a partir do método econométrico de Diferença em Diferenças (DiD), para o período entre 2002 e 2021. Os resultados apontam um efeito positivo e estatisticamente significativo do financiamento sobre o Valor Adicionado (VA) industrial e total, assim como sobre o emprego total dos municípios, em especialmente nos períodos subsequentes ao recebimento do recurso. O artigo conclui que houve um efeito positivo local nos municípios que receberam o recurso, atribuído, em parte, às capacidades locais físicas e produtivas, que possibilitaram a absorção da demanda gerada pelas atividades fomentadas por instrumentos e políticas do setor. Isso sugere, portanto, a importância de políticas e instrumentos com ênfase no desenvolvimento local das atividades de geração e produção.

Palavras-chave: Geografia Econômica Evolucionária; Política Industrial; Financiamento; Setor eólico.

ABSTRACT

Energy systems, heavily dependent on carbon, are deeply embedded in social, economic, and political life. With the challenges of anthropogenic climate change and energy security, wind energy has been identified as a key technology to promote climate, social, and economic benefits. In recent years, technological advances have increased the maturity and competitiveness of this technology. Considered a dynamic, technological, and exponentially growing industry, global wind power generation capacity increased by 14% in 2022, making it the second highest among all available renewable technologies. However, with the ongoing transformation of the energy system, meeting the growing demand for wind energy and achieving technological leaps requires the development of an efficient, high-value-added domestic production chain. Built on these foundations, this thesis aims to discuss the productive and technological capacity in the development of the wind energy industry, as well as the essential role of financing policies aimed at this technology, through three essays. Based on a systematic literature review, the first essay highlights the mechanisms associated with the creation and development of the wind energy industry in scenarios with and without immediate precedents. The main results point to pre-existing, multisectoral evidence anchored in the capabilities for wind energy development of different countries that are players in the market, such as activities in oil and gas, shipbuilding, aviation, and metal-mechanical sectors, among others, as well as the interaction between public, private, and civic agents. The article concludes that, for the development of “a new path” and the spillover of capabilities, access to enabling structures (research institutions, government institutions, and universities), collaboration in the provision of new technologies (within and between sectors), and local absorption capacity are essential. The second essay identifies the associated factors and conditioning pathways for specialization in the wind energy sector, from a comparative perspective between South American countries and leading onshore market players. This is based on the construction of a specialization indicator, combined with multivariate analysis techniques, for the periods of 2010, 2015, and 2020. In addition to the main players (Germany, China, the United States, and India), the results indicate specialization and signs of specialization in Uruguay, Brazil, and Chile. With economic, political, and natural stimuli, different conditioning pathways for specialization in the wind energy sector were identified, highlighting the components of “carbon lock-in” and “energy dependence”. The article concludes that there is an effort to transition the current energy system and that economies characterized by carbon-intensive activities and high energy dependence can promote the transformation of their systems through policies and instruments aimed at this new activity. Focusing on Brazil, the third essay estimates the local effect of financing on wind energy activities in the industrial sector, using the Difference-in-Differences (DiD) econometric method, for the period between 2002 and 2021. The results indicate a positive and statistically significant effect of financing on industrial and total Added Value (VA), as well as on total municipal employment, particularly in the period following the receipt of funds. The article concludes that there was a positive local effect in the municipalities that received the resources, attributed in part to local physical and productive capacities, which enabled the absorption of demand generated by activities supported by sectoral instruments and policies. This, therefore, suggests the importance of policies and instruments emphasizing the local development of generation and production activities.

Keywords: Evolutionary Economic Geography; Industrial Policy; Financing; Wind Sector.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

INTRODUÇÃO

Gráfico 1 –	Capacidade de energia e custo médio global, <i>onshore</i> e <i>offshore</i> (2010-2023)	24
Gráfico 2 –	Investimento público em energias renováveis - Global (US\$ bilhões)	26

CAPÍTULO 1

AMBIENTES CAPACITADOS E A CRIAÇÃO DE CAMINHOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA GLOBAL DO DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA EÓLICA

Figura 1 –	Nuvem de palavras-chave primária	40
Figura 2 –	Mapeamento do processo de revisão sistemática	41
Figura 3 –	Nuvem de palavras-chave e <i>ranking</i> dos países investigados (2006-2023)	44
Figura 4 –	Mecanismos para a construção do desenvolvimento industrial eólico	58
Gráfico 1 –	Análise descritiva dos artigos selecionados (2006-2023)	43
Quadro 1 –	Principais vertentes de investigação para o desenvolvimento industrial verde	33

CAPÍTULO 2

POLÍTICA INDUSTRIAL E OS ESTÍMULOS PARA O SETOR EÓLICO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAÍSES DA AMÉRICA DO SUL E OS *PLAYERS* DO MERCADO

Figura 1 –	Associação entre “condições” e o “resultado” (especialização eólica)	93
Figura 2 –	Trajetória da indústria eólica no contexto global	94
Gráfico 1 –	Capacidade eólica instalada (<i>onshore</i> e <i>offshore</i>) e tendências - Global (GW)	95
Gráfico 2 –	Capacidade instalada de energia eólica, 2000-2023 (GW)	98
Gráfico 3 –	Investimento público em energia eólica – América do Sul e <i>players</i> do mercado (US\$ milhões)	105
Gráfico 4 –	Desenvolvimento de patentes eólica – América do Sul e <i>players</i> do mercado	106
Mapa 1 –	Velocidade média do vento de 30 metros, 2020 (m/s)	101
Mapa 2 –	Especialização em energia eólica, 2020 (GW)	101
Quadro 1 –	Descrição do banco de dados	89
Quadro 2 –	Principais políticas e/ou instrumentos para o setor eólico	103
Tabela 1 –	Componentes Principais (PCA) – América do Sul e <i>players</i> do mercado	108
Tabela 2 –	Melhores indicadores dos Componentes Principais (PCA)	109
Tabela 3 –	Matrizes e estatísticas descritivas	110
Tabela 4 –	Frequência das configurações Qualitativa Comparativa (QCA)	111
Tabela 5 –	Grau de especialização eólica por países e suas configurações resultantes do QCA	112

CAPÍTULO 3

O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL LOCAL DO SETOR EÓLICO: UMA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO FINANCIAMENTO NO BRASIL

Figura 1 –	Localização espacial das empresas montadoras e fabricantes do setor eólico	140
Figura 2 –	Quociente Locacional do Valor Adicionado Industrial (2021) e Coeficiente de Reestruturação para as atividades do setor eólico (2002-2021)	141
Figura 3 –	Capacidade eólica, potencial do vento e distribuição espacial do financiamento	142
Figura 4 –	Unidades de tratamento e controle	148
Gráfico 1 –	Trajectoria regional do Produto Interno Bruto <i>per capita</i> , Brasil (2001-2021)	146
Gráfico 2 –	Trajectoria regional do Valor Adicionado Industrial e da oferta de emprego eólica, Brasil (2002-2021)	146
Gráfico 3 –	Trajectoria regional do desembolso financeiro do BNDES, Brasil (2002-2021)	147
Gráfico 4 –	Trajectoria do número de municípios tratados, Brasil (2002-2021)	149
Gráfico 5 –	Efeito Médio do Tratamento para o Valor Adicionado, Amostra 1 (2002-2021)	162
Gráfico 6 –	Efeito Médio do Tratamento para o Emprego, Amostra 1 (2002-2021)	163
Gráfico 7 –	Efeito Médio do Tratamento para o Valor Adicionado e Emprego da Industrial, Amostra 2 (2002-2021)	171
Gráfico 8 –	Efeito Médio do Tratamento para o Valor Adicionado e Emprego da Industrial, Amostra 3 (2002-2021)	172
Quadro 1 –	Estudos empíricos recentes com modelos de avaliação de impacto energia eólica	132
Tabela 1 –	Descrição das variáveis do modelo	145
Tabela 2 –	Diferença de médias entre grupos e significância do teste T (Amostra 1)	157
Tabela 3 –	Efeito do financiamento e estudos de evento, Amostra 1 (2002-2021)	159
Tabela 4 –	Diferença de médias entre grupos e significância do Teste T (Amostra 2 e 3)	165
Tabela 5 –	Efeito do financiamento e estudos de evento, Amostra 2 (2002-2021)	167
Tabela 6 –	Efeito do financiamento e estudos de evento, Amostra 3 (2002-2021)	169
 APÊNDICE A		
Figura A1 –	Nuvem de palavras-chave primárias e volume de publicações de cada filtro	194
Tabela A1 –	Os 10 principais artigos de cada filtro por número de citações	195
Tabela A2 –	Artigos selecionados para a revisão crítica e sistemática da literatura	196

APÊNDICE B

Figura B1 –	Variância explicada por cada componente, distribuição e dispersão – Modelo 1	208
Figura B2 –	Variância explicada por cada componente, distribuição e dispersão – Modelo 2	210
Figura B3 –	Variância explicada por cada componente, distribuição e dispersão – Modelo 3	213
Gráfico B1 –	Capacidade instalada por fonte e países, 2000-2023 (MW)	202
Mapa B1 –	Velocidade média do vento de 30 metros, por país (2020)	204
Mapa B2 –	Especialização em energia eólica, 2010 e 2015 (GW)	205
Quadro B1 –	Matriz de correlação – América do Sul e <i>players</i> do mercado (Modelo 1)	207
Quadro B2 –	Matriz de correlação – América do Sul e <i>players</i> do mercado (Modelo 2)	209
Quadro B3 –	Matriz de correlação – América do Sul e <i>players</i> do mercado (Modelo 3)	212
Tabela B1 –	Melhores indicadores do PCA, de acordo com o Modelo 1	206
Tabela B2 –	Componentes Principais (PCA) – América do Sul e <i>players</i> do mercado (Modelo 2)	205
Tabela B3 –	Componentes Principais (PCA) – América do Sul e <i>players</i> do mercado (Modelo 3)	211
Tabela B4 –	Configurações lógicas e suficientes da análise QCA	214

APÊNDICE C

Tabela C1 –	Estatísticas descritivas das variáveis	216
Tabela C2 –	Matriz de correlação das variáveis do modelo	217
Gráfico C1 –	Participação das atividades eólica no total das atividades industriais, Regional (2002-2021)	218
Gráfico C2 –	Participação das atividades industriais no total das atividades, Regional (2002-2021)	218
Gráfico C3 –	Diferença de médias entre grupos (2002-2021) – Amostra 1	219
Gráfico C4 –	Efeito Médio do Tratamento – evento por grupo e ano, Amostra 1 (2007-2021)	221
Gráfico C5 –	Efeito Médio do Tratamento – estatísticas do evento por grupo, Valor Adicionado Industrial, Amostra 1 (2007-2021)	225
Gráfico C6 –	Efeito Médio do Tratamento – estatísticas do evento por grupo, Emprego Industrial, Amostra 1 (2007-2021)	227
Gráfico C7 –	Efeito Médio do Tratamento, Participação do Emprego setorial em relação ao total, Amostra 1 (2007-2021)	229
Gráfico C8 –	Diferença de médias entre grupos (2002-2021) – Amostra 2	231
Gráfico C9 –	Efeito Médio do Tratamento, por grupos e ano, Amostra 2 (2007-2021)	233
Gráfico C10 –	Diferença de médias entre grupos (2002-2021) – Amostra 3	239
Gráfico C11 –	Efeito Médio do Tratamento, por grupos e períodos, Amostra 3 (2007-2021)	241

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ABEEÓLICA	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ATT	<i>Average Treatment Effect of the Treated</i>
ATE	<i>Average Treatment Effect</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBI	<i>Climate Bond Initiative</i>
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CO ₂	Dióxido de Carbono
COP	Conferências das Partes
CTA	Centro Tecnológico Aeroespacial
C&T	Ciência e Tecnologia
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
DiD	<i>Diference in Differences</i>
EA	Emprego Agropecuária
EADM	Emprego Administração, Saúde e outros
EC	Emprego Construção
ECS	Emprego Comércio e Serviços
EEG	<i>Evolutionary Economic Geography</i>
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronaves
EIB	<i>European Investment Bank</i>
EI	Emprego Industrial
ET	Emprego Total
ER	Energia renovável
FITs	Tarifas <i>feed-in</i>
FIPs	Prmios de pagamento
GEE	Gases de Efeito Estufa
GVC	<i>Global Value Chain</i>
GPN	<i>Global Production Networks</i>
GIS	<i>Global Innovation Systems</i>
GWh	<i>Gigawatt-hora</i>
GW	<i>Gigawatt</i>

IBM	<i>International Business Machines Corporation</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IED	Investimento Estrangeiro Direto
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IFD	Instituições Financeiras de Desenvolvimento
INUS	<i>Insufficient but Non-redundant part of an Unnecessary but Sufficient condition</i>
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IV	<i>Instrumental Variables</i>
I-WEC	<i>Isivunguvungu Wind Energy Converter</i>
MLP	<i>Multi-level perspective</i>
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
MW	Megawatt
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
MRET	<i>Mandatory renewable energy targets</i>
NSI	<i>Nacional Systems of Innovation</i>
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Developmen</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PCA	<i>Principal Component Analysis</i>
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PROEÓLICA	Programa Emergencial de Energia Eólica
PROINFA	Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PSM	<i>Propensity Score Match</i>
QCA	<i>Qualitative Comparative Analysis</i>
QL	Quociente Locacional
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
REN21	<i>Renewables Global Status Report</i>
RPS	<i>Renewable Portfolio Standard</i>
RIS	<i>Regional Innovation Systems</i>

SNM	<i>Strategic Niche Management</i>
TIS	<i>Technological Innovation Systems</i>
TM	<i>Transition Management</i>
TWFE	<i>Twoway Fixed Effects Model</i>
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
VA	Valor Adicionado
VAA	Valor Adicionado Agropecuária
VADM	Valor Adicionado Administração, Saúde e outros
VAI	Valor Adicionado Industrial
VAS	Valor Adicionado Serviços
VAT	Valor Adicionado Total

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	19
1.1. Contexto da pesquisa	19
1.2. Justificativa	23
1.3. Estrutura da tese	26
CAPÍTULO 1	
AMBIENTES CAPACITADOS E A CRIAÇÃO DE CAMINHOS: O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA EÓLICA EM PERSPECTIVA GLOBAL	
2.1. Introdução	29
2.2. Estrutura analítica: inovação, aprendizagem e capacidades locais para o desenvolvimento industrial eólico	32
2.3. Metodologia	38
<i>3.1. Procedimentos e base de dados</i>	39
2.4. Revisão crítica e sistemática	42
<i>2.4.1. Análise descritiva dos dados</i>	43
<i>2.4.2. Qual o papel das colaborações multissetoriais e pré-existentes para as capacidades locais no desenvolvimento industrial eólico?</i>	44
2.4.2.1. Ramificações intersectoriais: o desenvolvimento das capacidades internas da indústria eólica	47
2.4.2.2. Criação de novos caminhos: o desenvolvimento das capacidades internas da indústria eólica	54
2.5. Considerações finais	61
Referências	64
CAPÍTULO 2	
POLÍTICA INDUSTRIAL E OS ESTÍMULOS PARA O SETOR EÓLICO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAÍSES DA AMÉRICA DO SUL E OS PLAYERS DO MERCADO	
3.1. Introdução	76
3.2. Arcabouço teórico da política industrial e os seus princípios para o desenvolvimento do setor eólico	78
<i>3.2.1. Política Industrial</i>	79
<i>3.2.2. Panorama da política industrial verde e o setor eólico</i>	82
<i>3.2.3. Fatores e estímulos associados para o desenvolvimento do setor eólico</i>	84
3.3. Dados e procedimentos de análises	88
<i>3.3.1. Descrição dos dados</i>	88
<i>3.3.2. Estratégia empírica</i>	89
3.3.2.1. Indicador de especialização: Quociente Locacional (QL)	89
3.3.2.2. Técnicas de Análise Multivariada: Análise Principal de Componentes (PCA)	90
3.3.2.3. Técnicas de Análise Multivariada: Análise Comparativa Qualitativa (QCA)	91
3.4. O desenvolvimento do setor eólico: políticas e instrumentos	94
<i>3.4.1. Panorama global do mercado eólico</i>	94

3.4.2. Política industrial para o setor eólico: Os principais players e América do Sul	97
4.4.2.1. Matriz energética, condições naturais e especialização eólica	97
4.4.2.2. Políticas e os instrumentos diretos e indiretos	102
3.4.3. Fatores e as combinações de estímulos para o desenvolvimento do setor eólico: a experiência dos players e os países da América do Sul	107
3.5. Considerações finais	113
Referências	115

CAPÍTULO 3

O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL LOCAL DO SETOR EÓLICO: UMA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO FINANCIAMENTO NO BRASIL

4.1. Introdução	124
4.2. Background do financiamento para energia renovável	127
4.2.1. Revisão da literatura empírica	129
4.3. O setor eólico no Brasil: financiamento e políticas de incentivos	135
4.3.1. Detalhes sobre os programas e instrumentos	136
4.3.2. O desenvolvimento espacial da geração eólica e produção industrial	138
4.4. Dados e método	144
4.4.1. Descrição e estatísticas dos dados	144
4.4.2. Abordagem do método de Diferença em Diferenças (DiD)	149
4.4.3. Estratégia empírica	153
4.5. Resultados e discussões	156
4.5.1. O efeito do financiamento com modelos de Diferença em Diferenças (DiD)	156
4.5.2. Análises de Robustez	164
4.6. Considerações finais	169
Referências	176
CONCLUSÃO	182
REFERÊNCIAS	189
APÊNDICE A	193
APÊNDICE B	201
APÊNDICE C	215

INTRODUÇÃO GERAL

1.1. Contexto da Pesquisa

Diante dos desafios globais das mudanças climáticas antropogênicas e da segurança energética, o desenvolvimento de tecnologias ambientalmente sustentáveis no setor energético tem sido cada vez mais viabilizado (IRENA, 2023a). Contudo, para alcançar a meta climática de 1,5 °C até 2050 (IPCC, 2022), faz-se necessária uma transformação sistêmica, a partir do desenvolvimento de políticas mais incisivas, na mudança de mercados e nas práticas dos usuários, incluindo sinergias e benefícios entre os atores e os setores da economia (UNEP, 2022). Em outras palavras, uma revolução tecnológica verde, capaz de transformar sistemas até então intensivos em combustíveis fósseis para sistemas fundamentados em tecnologias renováveis (FAGERBERG, 2018; MAZZUCATO, 2014).

Considerado um setor estratégico para a atividade econômica, o setor de energia está no centro do desenvolvimento e é parte integrante das relações socioespaciais (CALVERT, 2016). Nas duas últimas décadas (2000-2020), significativos avanços tecnológicos foram capazes de ampliar a maturidade e a competitividade das tecnologias renováveis. Além disso, em 2022, com a pandemia do COVID-19 e a guerra da Ucrânia contra a Rússia, os elevados preços dos combustíveis fósseis evidenciaram as fragilidades do mercado global de energia, resultando no aumento da pobreza energética e na perda de competitividade industrial, sobretudo nos países intensivos em combustíveis fósseis e afetados pelo “aprisionamento” de carbono (*carbon lock-in*) (WBG, 2023). Assim, além do vetor preponderante de mitigação das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), a ampliação do uso de renováveis na matriz energética global pode, em parte, ser atribuída à atual crise energética.

O cenário de transição do setor possibilita flexibilidade ao sistema, promove o crescimento econômico, gera benefícios na geração de empregos e reduz as desigualdades regionais (SUITNER *et al.*, 2023). Estima-se que, até 2027, a geração global de eletricidade por fontes renováveis será de 38,1%, seguida pelo carvão (29,7%), gás natural (21,3%), nuclear (9,4%) e óleo (1,5%). Dentre as tecnologias renováveis, destacam-se a capacidade energética de fonte solar (fotovoltaico) e das fontes eólicas (*onshore* e *offshore*), impulsionadas, sobretudo, pelo apoio político na União Europeia, nos Estados Unidos e na China (IEA, 2024). No que se refere à geração de novos empregos, as projeções sinalizam que, até 2050, cerca de 42 milhões de pessoas trabalharão na fabricação, instalação, operação e manutenção de sistemas de energia renovável, especialmente com o desenvolvimento das tecnologias de energia eólica, solar e

bioenergia. Esse resultado mais que compensaria as perdas geradas pela redução de empregos nas indústrias de combustíveis fósseis e nuclear (IRENA, 2020a).

A transição energética tem sido apontada como uma “janela de oportunidade”, que possibilita uma nova “onda” de investimento e prosperidade econômica, em que a ciência, tecnologia e inovação (CT&I) estão em posição de destaque (BOSCHMA *et al.*, 2017; FAGERBERG, 2018). Isso porque há um interesse cada vez mais amplo em políticas industriais e de inovações direcionadas para os grandes desafios sociais, isto é, políticas orientadas para grandes missões (MAZZUCATO, 2018; UYARRA *et al.*, 2019).

A inovação é tida como um processo sistêmico, interativo e cumulativo, em que as capacidades tecnológicas e o estoque de aprendizado se tornam os recursos mais importantes para promover mudanças estruturais (LUNDVALL, 2007; BALLAND; RIGBY, 2017). Para a estrutura analítica, o surgimento de inovações radicais é promovido a partir de interações entre processos de aprendizagem, redes sociais e visões de expectativas, nas quais se combinam ideias da sociologia da inovação e da economia evolutiva. No entanto, devido à natureza altamente complexa e incerta do conhecimento tecnológico, a intervenção do Estado tem sido apontada como primordial, principalmente para a criação e o desenvolvimento de novos caminhos pioneiros (UYARRA *et al.*, 2019).

Em relação ao papel do Estado, há dois aspectos que precisam ser destacados: a importância dos bancos públicos de desenvolvimento para o fomento de tecnologias alinhadas à descarbonização e à segurança energética, sobretudo no fomento de inovações mais disruptivas ou em estágios iniciais, como as tecnologias eólica *offshore*, hidrogênio verde e bioenergia (MAZZUCATO; PENNA, 2015); e as intervenções que vão além de “falhas de mercado”, estabelecendo uma lente normativa capaz de investigar e orientar a política industrial e de inovação. Em outras palavras, desenvolver prioridades políticas e conduzir estímulos ao setor privado, sinalizando que as “regras do jogo” não serão alteradas (UYARRA *et al.*, 2019).

Esses aspectos são críticos ao considerar que países e regiões podem apresentar agendas diferentes, pois, embora a transição energética seja uma pauta global é no contexto local que ela ocorre (COENEN *et al.*, 2021). Além disso, alguns países e/ou regiões podem liderar a transição, enquanto outros apenas usufruem dos benefícios associados ao efeito “carona” dos esforços dos demais (GRAFSTRÖM, 2018). Portanto, além do aspecto estrutural das políticas, para compreender a transformação (em curso) do atual sistema energético, também se faz imprescindível reconhecer a coevolução do conhecimento e da maturidade tecnológica das novas fontes energéticas no contexto local. Em outras palavras, investigar a distribuição espacial de habilidades, capacidades tecnológicas e institucionais que influenciam o processo

de inovação e os *drivers* de transformação estrutural (PORCILE *et al.*, 2004; STEEN, 2016; BALLAND *et al.*, 2019).

Em linhas gerais, essa discussão apresenta importantes *insights* dos estudos sobre transições sociotécnicas e da Geografia Econômica Evolucionária (EEG¹) (COENEN *et al.*, 2021), pois tanto os problemas quanto as capacidades inovadoras tendem a ser influenciados por fatores contextuais locais (JANSSEN; ABBASIHAROFTEH, 2022). Calvert (2016) destaca que quando se trata de energia, a geografia sempre importa. Além disso, uma das premissas fundamentais da EEG é a proximidade cognitiva dos *players* tecnológicos (BOSCHMA *et al.*, 2017).

Estudos apontam que novas especializações têm maior probabilidade de se desenvolver em regiões que apresentam capacidades em atividades relacionadas do que em regiões sem nenhuma capacitação pré-existente (BALLAND *et al.*, 2019). No entanto, se, por um lado, o conhecimento acumulado das indústrias existentes exercem um papel importante para as novas especializações, por outro, essa relação pode ser menos relevante em regiões com maior disponibilidade de conhecimento e capacidade de inovação (ambientes capacitados) (XIAO *et al.*, 2018). Portanto, com um risco e uma incerteza superior aos das atividades relacionadas, do ponto de vista evolutivo, a diversificação não relacionada também pode promover o surgimento de novas indústrias (BOSCHMA *et al.*, 2017).

Não obstante, o declínio e a eliminação dos sistemas *carbon lock-in* existentes, em detrimento de um novo modelo fundamentado no desenvolvimento sustentável, podem criar as condições para a difusão acelerada de novas especializações (KÖHLER *et al.*, 2019). No entanto, por muitos anos, os estudos das transições – apresentadas em um campo mais amplo de mudanças radicais e sistêmicas com múltiplas dimensões, como a tecnológica, a social, a institucional e a econômica – ignoraram amplamente o contexto espacial das transições energéticas, sendo este um debate em expansão apenas na última década (2010-2020) (COENEN *et al.*, 2021).

Do ponto de vista das oportunidades de investimentos nas novas tecnologias do setor energético, as decisões são formadas por expectativas coletivas sobre o futuro, que podem se beneficiar da proximidade geográfica, especialmente por facilitarem a interação e os processos de aprendizagem (JANSSEN; ABBASIHAROFTEH, 2022). Em outras palavras, os *players* tecnológicos antecipam os cenários e tentam ativamente moldá-los em favor do surgimento de novos mercados (COENEN *et al.*, 2010). Portanto, as expectativas são fatores relevantes para

¹ *Evolutionary economic geography*.

as transições e contribuem para atrair novos investimentos, orientar o desenvolvimento tecnológico, estimular o alinhamento de atores industriais e construir redes de inovações para atender as novas demandas (STEEN, 2016).

Cabe ressaltar que é a complexidade do conhecimento produzido que promove a vantagem competitiva de longo prazo (BALLAND; RIGBY, 2017), o que possibilita um maior aproveitamento dos benefícios das transições energéticas em países e/ou regiões pioneiras. Para Balland *et al.* (2019), há um “dilema de diversificação”: por um lado, as regiões se beneficiam da construção de vantagens comparativas em tecnologias complexas; por outro, as tecnologias complexas permanecem fora do alcance das demais, devido à escassez da capacidade tecnológica de maior complexidade (ambientes não capacitados). Neste contexto, regiões cujos atores estão fortemente conectados a uma rede de pesquisa e inovação podem se beneficiar dos resultados dessas colaborações no processo de transição.

Para Coenen *et al.* (2010), a proximidade geográfica e as economias de aglomeração são definidas como propícias para o desenvolvimento da inovação. No entanto, o conhecimento desenvolvido localmente pode apresentar limitações no processo de transferência, pois nem todo o conhecimento pode ser codificado devido à sua dimensão tácita (BALLAND; RIGBY, 2017). Além disso, tecnologias mais complexas e difíceis de imitar tendem a ser mais aderentes no espaço (BALLAND *et al.*, 2019). Conseqüentemente, tanto a distância geográfica quanto a distância cognitiva podem ser um desafio para promover a transmissão desse conhecimento, sobretudo em um contexto periférico que apresenta competências de baixa complexidade, rotinas e arranjos institucionais mais frágeis.

No caso das transições energéticas, as mudanças no âmbito local podem provocar ambições de transformações de alcance global, destacando a importância dos sistemas territoriais como um todo e das conexões de “redes globais” e “nós locais”. Isto é, das relações observadas do global ao local (perspectiva *top-down*) e do local ao global (perspectiva *bottom-up*), a fim de reconhecer e incluir a pluralidade de atores, instituições e governos (SPÄTH; ROHRACHER, 2012; KÖHLER *et al.*, 2019).

Por fim, as escolhas tecnológicas do processo de transição energética podem ser contextualizadas dentro de um debate mais amplo dos estudos das transições sociotécnicas e da EEG, sob a perspectiva do desenvolvimento da política industrial e energética, com a finalidade de compreender as diferentes interações sociais e institucionais entre os caminhos estabelecidos e emergentes.

A partir desse debate, a presente tese tem como objetivo geral discutir a capacidade produtiva e tecnológica no desenvolvimento da indústria de energia eólica, assim como o

imprescindível papel das políticas de financiamento destinadas para essa tecnologia, especialmente nos países em desenvolvimento.

O primeiro ensaio terá o objetivo de discutir os mecanismos associados à criação e ao desenvolvimento industrial eólico, em cenários com e sem precedentes imediatos, com ênfase nas evidências sobre as colaborações multissetoriais e pré-existentes, ancoradas nas capacidades produtivas e tecnológicas de diferentes economias, a partir de uma revisão crítica e sistemática da literatura. O segundo ensaio pretende identificar os fatores associados e os caminhos condicionantes para a especialização no setor eólico, à luz da perspectiva comparativa entre os países da América do Sul e os *players* do mercado *onshore*, a partir da construção de indicadores combinando o método de Quociente Locacional (QL) com técnicas de análise multivariada. Por fim, o último ensaio propõe avaliar o efeito local das políticas de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) nas atividades de energia eólica sobre o setor industrial (valor adicionado e oferta de emprego), em nível municipal, a partir do método de Diferença em Diferenças (DiD).

1.2. Justificativa

Considerada uma indústria dinâmica e inovadora no processo de transição energética, as atividades de energia eólica (*onshore* e *offshore*) têm ganhado impulso nas decisões políticas de diferentes economias, o que justifica a escolha de investigação do presente trabalho.

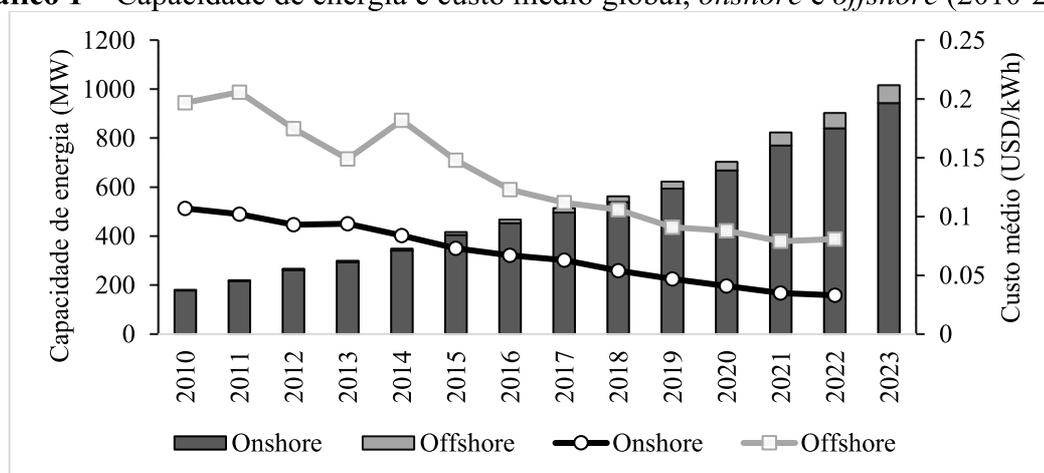
Após os anos 2010, o ritmo do desenvolvimento tecnológico em energia eólica acelerou rapidamente. De acordo com os dados do IEA (2023), a capacidade eólica global instalada, em 2022, registrou um aumento de 14% e foi a segunda mais alta entre todas as tecnologias de geração de energia, com um total de 900 GW, com uma participação de 93% da capacidade proveniente do sistema *onshore* e 7% do sistema *offshore*. No entanto, quando comparado ao crescimento de 2020, é possível identificar uma redução nas adições globais da tecnologia eólica, em parte atribuída à crise do COVID-19, à inflação, à eliminação de incentivos fiscais, aos desafios da cadeia de suprimentos, aos licenciamentos e aos regulamentos obrigatórios dessas tecnologias.

Ainda em estágio inicial, apenas 20 países incorporam a tecnologia eólica *offshore* em sua matriz energética, enquanto a eólica *onshore* está presente em 115 países ao redor do mundo (IEA, 2024). De modo geral, a elevada incerteza econômica impacta ainda mais o mercado *offshore*, por este se encontrar em seus estágios iniciais, demandando um maior volume de investimento e um prazo de entrega mais longo. No entanto, com o avanço tecnológico e a

difusão das tecnologias renováveis, espera-se que o alcance *offshore* aumente nos próximos anos, com uma contribuição estimada de 350 GW adicionais de capacidade de geração renovável até 2050. Adicionalmente, espera-se que esse tipo de atividade viabilize o desenvolvimento de novas tecnologias acopladas, como a de hidrogênio verde ou solar flutuante (IRENA, 2019b; 2021a).

De modo geral, parte do crescimento do setor eólico pode ser atribuída a dois principais fatores: i) a redução dos custos e o aumento da competitividade das tecnologias eólica *onshore* e *offshore*, impulsionadas pelo avanço tecnológico; e ii) a atuação incisiva do Estado, com o desenvolvimento de políticas direcionadas para o avanço da transição energética. Conforme ilustra o Gráfico 1, a última década registrou uma redução acentuada dos custos de geração eólica, concomitantemente a um aumento na capacidade energética global (IRENA, 2024). Com uma redução de 48%, entre 2010 e 2020, o custo nivelado médio ponderado global de *offshore* foi de 0,162/kWh em 2010 para USD 0,084/kWh em 2020, com uma maior redução na China, seguido pela Alemanha e Reino Unido (IRENA, 2021b).

Gráfico 1 – Capacidade de energia e custo médio global, *onshore* e *offshore* (2010-2023)



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do IRENA (2024).

De acordo com o IEA (2023), as economias que mais contribuíram para o aumento na capacidade de geração eólica *onshore* foi a China, responsável por quase 70%, seguida pelos Estados Unidos com 14%, e pelo Brasil com 7%. O apoio político do país ainda se destaca como um dos principais impulsionadores no desenvolvimento tecnológico energético. Na China, o 14º Plano de Desenvolvimento Quinquenal definiu como meta a expansão da geração de eletricidade por fontes renováveis até 2050, incluindo uma meta de participação de 18% para tecnologias eólicas e solares (GONÇALVES, 2021; IEA, 2023). Nos Estados Unidos (EUA), em 2021 foi firmado o compromisso para o avanço da transição, com o financiamento em torno

de US\$ 2 trilhões para as tecnologias renováveis (MATHIAS *et al.*, 2021). Contudo, com a recente saída² dos EUA do Acordo de Paris e às divergências políticas ambientais, o cenário de transição energética tem apresentado fragilidades e pode ser retardado. No Brasil, com uma participação majoritária de fontes renováveis na matriz energética, uma das metas estabelecidas, na COP21 em cooperação com a Organização das Nações Unidas (ONU), foi a participação de 33% de fontes renováveis na matriz até 2030, excluindo a fonte hídrica (LEÃO, 2019; IPEA, 2023). Recentemente, em 2024, com a criação da política Nova Indústria Brasil (NIB)³, o país manteve seu compromisso e estabeleceu metas e ações para o desenvolvimento até 2033. Dentre suas missões, destaca-se o esforço direcionado para a bioeconomia, a descarbonização, a transição e segurança energética (MDIC, 2024).

De fato, o desenvolvimento das atividades do setor tem sido viabilizado por diferentes economias, com uma elevada participação do Estado, especialmente nos estágios iniciais. Embora, em 2015, mais de 80% dos investimentos⁴ em energia renovável, em nível global, tenham sido promovidos pelo setor privado (predominantemente de empresas ou instituições financeiras comerciais), a atuação do Estado como formulador de políticas e desenvolvedor do mercado doméstico ainda desempenha um papel relevante para promover um ambiente capaz de encorajar investidores e financiadores do setor privado (IRENA, 2023).

Não obstante, os bancos de investimento estatais têm assumido um papel de liderança no desenvolvimento de algumas economias emergente (MAZZUCATO, 2014). Ao longo das duas últimas décadas (2000-2020), as três principais instituições financeiras estatais para as energias renováveis foram, respectivamente: i) *Ex-Im* Bank da China com uma participação de 17% de valor acumulado em mais de US\$ 44 milhões em 2021; ii) Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) com uma participação de 16% de valor acumulado em mais de US\$ 43 milhões em 2021; e iii) *European Investment Bank* (EIB) com uma participação de 9% do financiamento total e valor acumulado de mais de US\$ 24 milhões em 2021 (IRENA, 2023).

Desde 2016, houve um aumento no volume total do dispêndio global anual em tecnologias de fonte eólica e solar (IRENA, 2023b), conforme ilustra o Gráfico 2. Em 2020, parte desses recursos públicos (80%) foi investida internamente por instituições financeiras

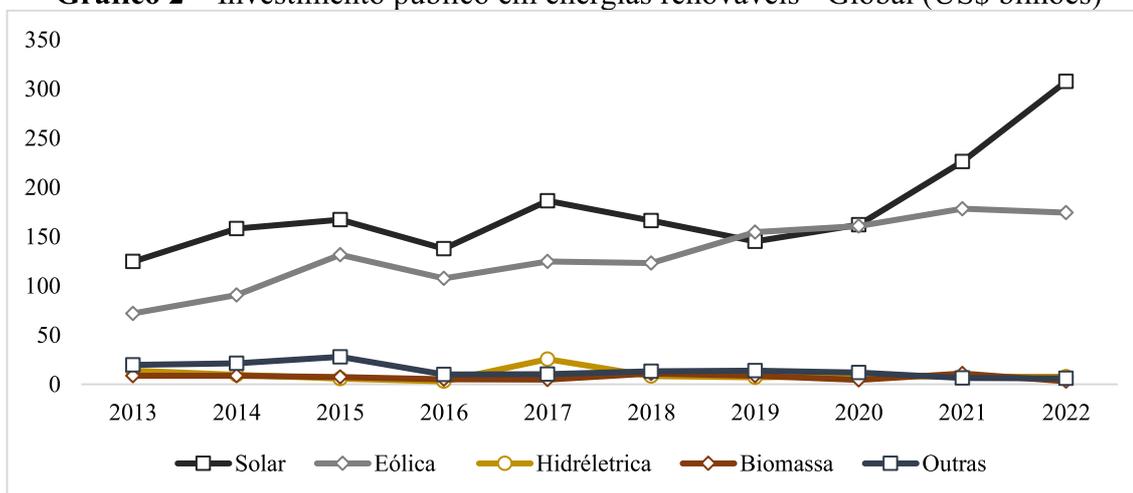
² Decreto assinado em 2025. Disponível em: <https://br.usembassy.gov/pt/sobre-a-saida-dos-estados-unidos-do-acordo-de-paris/>.

³ Instituída em 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2024/01/brasil-ganha-nova-politica-industrial-com-metas-e-aco-es-para-o-desenvolvimento-ate-2033>.

⁴ O que corresponde à 276,31 US\$ bilhões do total (IRENA, 2023).

estatais, instituições financeiras de desenvolvimento (IFD) nacionais e empresas estatais, devido ao baixo fluxo de investimento internacional no período. Os demais 20% correspondem às IFD bilaterais e multilaterais, bem como às subvenções e aos empréstimos (IRENA, 2023).

Gráfico 2 – Investimento público em energias renováveis - Global (US\$ bilhões)



Fonte: Elaboração própria, com dados da IRENA (2023b).

Portanto, diante dos desafios contemporâneos associados às mudanças climáticas, à escassez de recursos naturais e à baixa disponibilidade de financiamento em economias menos desenvolvidas, esse tópico pode trazer importantes repercussões políticas, tanto nos aspectos sociais, quanto nos aspectos ambientais e de gestão de recursos naturais das economias atuais. Assim, visando aumentar a resiliência, a expansão do mercado e a diversidade da cadeia de abastecimento com itens de maior complexidade tecnológica e valor agregado, faz-se necessária não só a ampliação dos estímulos aos investimentos no setor, mas também o alinhamento entre as políticas de natureza industrial, energética e regional para o aproveitamento da “janela de oportunidade” do processo de transição energética, sendo este o pano de fundo do presente trabalho.

1.3. Estrutura da tese

Além desta parte introdutória e das conclusões apresentadas ao final do trabalho, a presente tese está estruturada em três ensaios, nos quais se busca atender a cada um dos objetivos específicos propostos.

O primeiro ensaio, descrito no primeiro capítulo da tese, reunirá estudos que discutem sobre os mecanismos associados à criação e ao desenvolvimento industrial eólico, em cenários

com e sem precedentes imediatos. Em específico, apontará as evidências sobre as colaborações multissetoriais e pré-existentes ancoradas no desenvolvimento industrial eólico de diferentes economias, a partir do método de revisão crítica e sistemática da literatura. Sob a perspectiva de elementos da EEG, com ênfase aos conceitos da teoria da dependência e criação de caminho, da diversificação (não)relacionada e transferência tecnológica. Até o momento, poucos estudos sobre o setor industrial de energia têm enfatizado como os caminhos adotados anteriormente podem influenciar as possibilidades atuais, o que representa a principal contribuição do primeiro ensaio. Cabe ressaltar que a articulação desses *insights* pode ser particularmente relevante para compreender o desenvolvimento industrial do setor entre cenários regionais estabelecidos e emergentes.

O capítulo dois da tese, constituído pelo segundo ensaio, discutirá os fatores associados e os caminhos condicionantes para a especialização no setor eólico, à luz da perspectiva comparativa entre os países da América do Sul e os *players* do mercado *onshore*. Inicialmente, abordará os elementos fundamentais da política industrial, com ênfase no desenvolvimento industrial verde e, especificamente, nas atividades eólicas. Posteriormente, após um mapeamento do setor eólico global, serão discutidos, com base na construção de um indicador de especialização combinado com técnicas de análise multivariada, os componentes e as condições associadas à especialização em energia eólica nos países da amostra para três períodos (2010, 2015 e 2020). O segundo ensaio apresenta algumas contribuições para o presente debate, especialmente por investigar as combinações de incentivos para o setor eólico considerando suas particularidades; por discutir os estímulos associados aos instrumentos de políticas industriais; e por analisar economias com transições em estágios iniciais, como no contexto dos países da América do Sul.

O capítulo três da tese, composto pelo terceiro ensaio, estimará o efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica sobre o setor industrial, utilizando o método econométrico de Diferença em Diferenças (DiD), para o período de 2002 a 2021. Inicialmente, apresentará o *background* do financiamento para energia renovável e uma linha do tempo sobre financiamento e políticas de incentivos para o setor eólico no Brasil. O debate enfatiza a importância do recurso e o potencial da indústria eólica para promover o desenvolvimento socioeconômico em regiões historicamente mais desiguais, como a região Nordeste do país. O terceiro ensaio apresenta algumas contribuições para a literatura, especialmente por adotar uma estratégia metodológica que aborda as especificidades do financiamento (seleção não aleatória, efeitos heterogêneos e tempo escalonado); por investigar o efeito sobre a dinâmica industrial

dos municípios; e por destacar como características locais influenciam a capacidade de absorver os benefícios da expansão do setor eólico.

Para essas discussões, os dados advêm de diferentes fontes, a saber: i) Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); ii) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); iii) Registro Anual de Informações Sociais (RAIS); iv) Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDES); v) *Copernicus Data Space Ecosystem*; vi) *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD); vii) *World Bank* e, viii) relatórios de órgãos oficiais.

CAPÍTULO 1

AMBIENTES CAPACITADOS E A CRIAÇÃO DE CAMINHOS: O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA EÓLICA EM PERSPECTIVA GLOBAL

Resumo

A indústria eólica é considerada uma indústria verde, relativamente nova, dinâmica e tecnológica. O objetivo deste ensaio é discutir os mecanismos associados à criação do desenvolvimento industrial eólico, em cenários com e sem precedentes imediatos. Com ênfase nas evidências sobre as colaborações multissetoriais e pré-existentes ancoradas nas capacidades produtivas e tecnológicas de diferentes economias, a partir de uma revisão crítica e sistemática da literatura. O presente estudo reuniu um total de 64 artigos publicados, entre 2006 e 2023. Os principais resultados destacam a importância da padronização e repetição como meios para reduzir os custos e aumentar a maturidade tecnológica. As experiências da Dinamarca, Noruega, Alemanha, Brasil e Chile, mostram que o desenvolvimento industrial pode ser promovido a partir das ramificações com atividades em declínio ou em setores adjacentes com vantagens competitivas locais. A análise também demonstra que as estruturas facilitadoras (instituições de pesquisa, instituições governamentais e universidades) e as colaborações (no setor e entre os setores, com empresas estabelecidas) são os principais mecanismos para promover o fluxo do conhecimento tácito, especialmente nos países em desenvolvimento ou com baixas dotações tecnológicas locais. As experiências da Índia e China destacam que, mesmo sem precedentes imediatos, é possível desenvolver novos caminhos, com base nos canais de transferência tecnológica e na capacidade local de absorção, isto é, na capacidade de compreender e explorar as informações externas. No entanto, na ausência dessas capacidades o conhecimento externo não é absorvido e as oportunidades não são percebidas, como no caso da África do Sul. Conclui-se que, de fato, os países com dotações locais pré-existentes apresentam maior capacidade para absorver o que há de mais inovador no mercado e desenvolver uma base tecnológica internamente. Entretanto, a articulação entre as políticas industriais e as políticas energéticas pode criar um ambiente atrativo e capacitado para promover a transição do setor energético e criar oportunidades de saltos tecnológicos até mesmo nos países retardatários.

Palavras-chave: Capacitações locais; Colaborações multissetoriais; Criação de caminhos; Revisão sistemática; Indústria eólica.

2.1. Introdução

Com o debate iminente da escassez de recursos naturais, do aquecimento global e das condições climáticas imprevisíveis, o desenvolvimento de uma economia verde e a criação de novos caminhos para substituir as atividades intensivas em carbono (*carbon lock-in*) podem resultar tanto em benefícios ambientais e climáticos quanto em benefícios econômicos (GIBBS; JENSEN, 2022). No entanto, há uma série de incertezas associadas ao “rompimento” dos sistemas *carbon lock-in*, pois o processo de transição para um novo paradigma de

desenvolvimento sustentável requer um esforço global de inovações disruptivas e em grande escala (MAZZUCATO, 2014; MAZZUCATO; PEREZ, 2022; KÖHLER *et al.*, 2019; LEMA; PEREZ, 2024).

Desde a década de 1970, com a crise do petróleo, o setor energético vem passando por transformações com implicações profundas para o desenvolvimento econômico de países e/ou regiões retardatárias, tanto positivas quanto negativas (AWATE *et al.*, 2012; SILVA; KLAGGE, 2013; FURTADO; PERROT, 2015). Identificada como uma “janela de oportunidade”, dentre as tecnologias de fontes renováveis (como hídrica, solar, eólica, geotérmica e hidrogênio), a fonte eólica é a que mais cresce no mundo, com um salto da capacidade instalada global de geração terrestre (*onshore*) e marítima (*offshore*) de 7,5 GW em 1997 para cerca de 1017,3 GW em 2023 (IRENA, 2024). Embora seja uma tecnologia com impactos antagônicos no contexto ambiental, a fonte eólica tem sido capaz de promover crescimento econômico local dos países emergentes (ZHANG *et al.*, 2009) e segurança energética com o baixo coeficiente de emissão de CO₂ (dióxido de carbono⁵) na geração de energia (HONG, CHANG, 2019).

Em parte, essa atratividade pode ser atribuída à disponibilidade de recursos naturais e geográficos em diferentes localidades, dado que os principais insumos naturais para esse tipo de tecnologia são a velocidade média de vento e a extensão de área (terrestre ou marítima). Além disso, a redução dos custos tecnológicos associados a essa fonte tem incentivado sua expansão. De acordo com dados do IRENA (2024), na última década (2010-2020), houve uma redução do custo médio ponderado global da eletricidade eólica de 56% na tecnologia *onshore* e 48% na tecnologia *offshore*, aumentando a competitividade de produção e, conseqüentemente, o potencial para maior implantação e melhoria no âmbito global.

Estudos têm apontado a importância das capacidades locais pré-existentes para a maturidade das tecnologias, para os ganhos de economias de escala e para o desenvolvimento de estratégias da transformação do atual sistema para um novo sistema ambientalmente sustentável (BOSCHMA *et al.*, 2017; TRIPPL *et al.*, 2017; BELMARTINO, 2022). No entanto, no setor de energia ainda há uma série de incertezas que estão associadas ao sistema vigente de tecnologias tradicionais (majoritariamente de fontes fósseis e hídricas). Assim, por um lado, os países e/ou regiões com capacidades pré-existentes (produtivas e tecnológicas) podem promover saltos tecnológicos, por outro lado, essas capacidades podem provocar o “aprisionamento” tecnológico e o “bloqueio” das transformações do setor (CARPENTER *et*

⁵ Principal gás poluente na matriz energética.

al., 2012).

Nesse contexto, para romper com o “aprisionamento” de uma estrutura obsoleta e estabelecer um novo caminho é necessária a intervenção de forças externas, que sejam capazes de promover uma perturbação no sistema vigente (MARTIN; SUNLEY, 2006). Essas forças podem surgir a partir de ramificações que se associam ao aproveitamento tecnológico existente para o desenvolvimento de novas indústrias no país e/ou região, como no caso da Alemanha, com o declínio das indústrias tradicionais de pesca e construção naval; ou até mesmo a partir da criação de novos caminhos, que podem ocorrer em cenários com ou sem precedentes regionais imediatos, como no caso do desenvolvimento industrial eólico na China, a partir dos mecanismos de transferência tecnológica e da capacidade de absorção local (TRIPPL *et al.*, 2017; GRILLITSCH; HANSEN, 2019; HEIDENREICH; MATTES, 2022).

Até o momento, poucos estudos do setor industrial de energia têm enfatizado como os caminhos adotados anteriormente podem influenciar as possibilidades atuais (GIBBS; JENSEN, 2022), que, por sua vez, afetam a criação de novas trajetórias tecnológicas. Assim, o presente trabalho avança em relação à literatura existente por reunir e ampliar a compreensão sobre os mecanismos associados à criação e ao desenvolvimento industrial eólico, em cenários com e sem precedentes imediatos, enfatizando as evidências sobre as colaborações multissetoriais e pré-existentes ancoradas nas capacidades produtivas e tecnológicas de diferentes economias.

O campo de investigação justifica-se por ser uma indústria relativamente nova, dinâmica e tecnológica, desenvolvida ao longo dos anos a partir do acúmulo de mudanças pequenas e incrementais. Além disso, esta tecnologia tem sido a de maior crescimento no processo de transição energética e tem contado com o engajamento de diferentes setores e *stakeholders* (público, privado e cívico) (FISCHER *et al.*, 2020). Portanto, por meio de uma revisão crítica e sistemática dos estudos teóricos e empíricos em nível global, propõe-se responder *qual o papel das colaborações multissetoriais e pré-existentes para as capacidades locais (produtivas e tecnológicas) no desenvolvimento industrial eólico.*

Parte dos estudos tem destacado a importância do acúmulo de conhecimento em atividades adjacentes para o desenvolvimento de um mercado interno. Na Dinamarca, a criação da indústria eólica contou com as habilidades do país em atividades agrícolas (SMITH, 2011; ANDERSEN *et al.*, 2017). Na Noruega, o desenvolvimento apoiou-se nas empresas de petróleo e gás local (MÄKITIE, 2020). Na Alemanha, o setor baseou-se na estrutura herdada das indústrias automotiva, militar e de petróleo e gás (CARPENTER *et al.*, 2012). No Brasil, as

atividades metalmeccânica, eletrônica e de automação; e no Chile, a participação do setor de mineração pré-existente no país (PUEYO *et al.*, 2011).

Enquanto isso, nos cenários sem precedentes imediatos (produtivos e/ou tecnológicos) e/ou setores adjacentes, os vínculos de colaboração (de múltiplos agentes) para transferência tecnológica (do conhecimento codificado e tácito) e a criação de um ambiente economicamente atrativo (AWATE *et al.*, 2012; HANSEN *et al.*, 2020) – como na China (LAM *et al.*, 2017) e na Índia (HAYASHI, 2018) – são aspectos cruciais para promover um mercado eólico doméstico.

As principais conclusões reunidas neste estudo apontam que, por um lado, o desenvolvimento industrial eólico tem contado com a participação de diferentes habilidades locais adjacentes e pré-existentes. Por outro lado, novos caminhos podem surgir em cenários de entrada tardia e/ou sem precedentes imediatos, a partir da capacidade de dar saltos em setores tecnologicamente distantes e menos relacionados (ZHANG *et al.*, 2009; LAM *et al.*, 2017; HAIN *et al.*, 2020). Contudo, destaca-se que esses casos são exceções e não a regra, pois em cenários periféricos (países e/ou regiões) que apresentam baixas dotações locais (produtivas e tecnológicas), com ausência da capacidade de absorção e das estruturas facilitadoras para promover o acesso às informações externas, os fluxos de transbordamento do processo de transição energética podem não resultar em benefícios perceptíveis. Mantendo-se, assim, em um estágio *lock-in*, enraizado em lógicas obsoletas (GRAFSTRÖM, 2018).

Diante do exposto, além desta primeira seção, este ensaio está estruturado em cinco seções. A segunda seção discutirá uma estrutura analítica da Geografia Econômica Evolucionária (EEG⁶) para fornecer a base conceitual do presente debate, enfatizando o papel das inovações, do acúmulo de conhecimento (não)codificado e (não)relacionado, bem como as estratégias de aprendizagem para promover uma indústria verde. A terceira seção apresentará a metodologia da revisão sistemática e os procedimentos utilizados para a construção da base de dados. A quarta seção reunirá a análise descritiva dos dados e as discussões pertinentes à problemática, a partir dos estudos selecionados para a análise crítica e sistemática da literatura. A quinta seção, por fim, debaterá os principais resultados e recomendações para enfrentar as deficiências encontradas.

2.2. Estrutura analítica: inovação, aprendizagem e capacidades locais para o desenvolvimento industrial eólico

⁶ *Evolutionary Economic Geography*.

Os desafios contemporâneos provocados pela escassez de recursos naturais e mudanças climáticas antropogênicas têm colocado em pauta a urgência da adoção de atividades sustentáveis, das mudanças de comportamentos e do desenvolvimento de indústrias com tecnologias verdes, de ordem superior a qualquer paradigma tecnológico precedente no mundo industrial (COOKE, 2011), ou seja, a urgência de uma transformação radical em todas as atividades, setores e agentes da economia (MAZZUCATO, 2014). A ecologia política tem investigado essas transformações sob a perspectiva de como as relações políticas, econômicas e sociais moldam e são moldadas pelo ambiente (ZHOU *et al.*, 2023).

Quadro 1 – Principais vertentes de investigação para o desenvolvimento industrial verde

	Teorias-chave	Insights
Ecologia Política	<ul style="list-style-type: none"> • Metabolismo • Análise de fluxo de materiais • Avaliação do ciclo de vida • Materialidade • Justiça ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Os impactos ambientais associados às operações de indústrias verdes são distribuídos de forma desigual; • As indústrias verdes moldam e são moldadas pela materialidade do ambiente; • As relações de poder nas quais o desenvolvimento de indústrias verdes repousa devem ser enfatizadas.
Transições de Sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de inovação tecnológica (TIS) • Perspectiva multinível (MLP) • Transição justa 	<ul style="list-style-type: none"> • Há diferentes perspectivas: sociotécnica, socioinstitucional e socioecológico; • Os processos de inovação verde incluem atividades empreendedoras, desenvolvimento de conhecimento, identificação das direções, formação de mercado, mobilização de recursos e criação de legitimidade para novas tecnologias; • O desenvolvimento da indústria verde é mais do que uma transição específica do setor e é realizado por meio de mudanças na infraestrutura, instituições, modos de produção e comportamentos do consumidor.
Geografia Econômica Evolucionária	<ul style="list-style-type: none"> • Modernização ecológica • Paradigma tecnoeconômico • Dependência e criação de caminho • Cadeia de valor global (GVC) e rede de produção global (GPN) • Economia política geográfica (GPE) 	<ul style="list-style-type: none"> • Uma perspectiva evolucionária foca em como e por que a “história importa” para os novos caminhos verdes de uma empresa/região; • Mudanças de paradigma tecnoeconômico verde podem surgir à medida que empresas individuais na economia se envolvem em indústrias verdes; • Uma perspectiva relacional enfatiza que a posição incorporada de uma empresa em uma GVC e/ou GPN impacta significativamente seus comportamentos.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Coenen *et al.* (2012); Loorbach *et al.* (2017) e Zhou *et al.* (2023).

Conforme descrito no Quadro 1, além da perspectiva da ecologia política, a transformação pode ser investigada sob duas vertentes, a saber: i) o interesse da geografia das transições sociotécnicas nos fatores que moldam o desenvolvimento, a adoção e/ou desaparecimento de várias tecnologias que promovem as mudanças na sociedade, na economia

e no meio ambiente; e ii) o interesse da EEG ao abordar as inter-relações entre empresas, indústrias e espaço (ZHOU *et al.*, 2023).

A literatura da geografia de transições de sustentabilidade tem fornecido avanços para esse debate, especialmente por explicar a transformação estrutural dos sistemas como um todo, que abrange não apenas a difusão de tecnologias mais disruptivas, mas também uma mudança de mercados, práticas dos usuários, políticas e instituições (COENEN *et al.*, 2012). Conceituada como uma mudança de um regime sociotécnico predominante para um regime novo (TRUFFER; COENEN, 2012), a transição de sustentabilidade diz respeito à descarbonização de sistemas, como por exemplo, transporte e energia, os quais são caracterizados por uma eficiência ecológica substancialmente aprimorada em novas configurações (COENEN *et al.*, 2012).

Ao explicar a adaptação da paisagem econômica ao longo do tempo e as fontes de dependência histórica nas trajetórias de desenvolvimento (*path dependence* e “efeito *lock-in*”), a EEG parte do arcabouço da economia evolutiva, investigada por Nelson e Winter (1982) e Dosi (1982) no contexto da geografia econômica (BOSCHMA; FRENKEN, 2006), com especial atenção em como e por que a “história importa” para os novos caminhos. Considerando o papel da inovação, da destruição criativa e das mudanças de paradigmas para o desenvolvimento econômico (SCHUMPETER, 1997; DOSI, 1982; PEREZ, 2009), a literatura da EEG possibilita discutir como os benefícios promovidos pelas inovações são distribuídos na sociedade, i.e., explica não só a evolução espacial, mas também a concentração e distribuição desigual das atividades entre firmas, indústrias, redes, cidades e regiões (FRENKEN; BOSCHMA, 2007).

O crescente interesse pela concentração espacial e pelos processos de criação e disseminação de novos conhecimentos destacam o papel da diversificação e ramificação regional (JACOBS, 1969; BOCHMA *et al.*, 2017). Evidências têm apontado a importância da variedade em atividades não relacionadas para garantir o desenvolvimento econômico de longo prazo (BOSCHMA *et al.*, 2017), especialmente no desenvolvimento de tecnologias verdes, que requerem a combinação de conhecimentos diversos e cognitivamente distintos (BARBIERI *et al.*, 2020). Embora menos frequentes que a diversificação relacionada, as atividades não relacionadas tendem a ser impulsionadas por atores-chaves com capacidades obtidas externamente (multinacionais, investimento estrangeiro direto e comércio) e, em alguns casos, apoiadas por ações políticas (acordos de cooperação) (BOSCHMA *et al.*, 2017; TRIPPL *et al.*, 2017).

Barbieri *et al.* (2020) identificaram que, nos estágios iniciais do ciclo de vida da tecnologia verde, as atividades não relacionadas ao estoque de conhecimento local são mais relevantes do que as relacionadas. No entanto, à medida que a tecnologia se aproxima da maturidade, o grau de parentesco torna-se mais relevante. Para Belmartino (2022), embora o desenvolvimento tecnológico verde esteja associado às bases produtivas de conhecimento na região, isto é, com o conhecimento pré-existente, tanto o parentesco verde quanto o não-verde se mostram relevantes para os processos das tecnologias verdes.

A inovação é, em essência, a capacidade de combinar diferentes bases de conhecimento em algo novo, diferente ou sem precedentes. É uma atividade imprescindível para o desenvolvimento econômico e pode surgir a partir de períodos de crise e destruição criativa, ou até mesmo de processos de adaptação e mudança incremental (SCHUMPETER, 1997; OECD, 1997; FELDMAN; KOGLER, 2010). Para o desenvolvimento da inovação e criação de valor, a aprendizagem e o conhecimento são fatores que estão no centro de diferentes estágios dessas atividades, que podem ser subdivididos em componentes explícitos (codificados) e implícitos (tácitos e não codificados)⁷ (GERTLER, 2003; LUNDVALL, 2007; BEAUDRY; SCHIFFAUEROVA, 2009).

No caso de inovações verdes e/ou sustentáveis, em específico, o processo é ainda mais complexo, especialmente devido à grande amplitude de recombinação do conhecimento (COOKE, 2011). No geral, as inovações surgem nos países industrializados e lentamente são adotadas pelas economias emergentes (COENEN *et al.*, 2012). Isso pode ser atribuído, parcialmente, às deficiências de capacidades e recursos, redes inadequadas e incompatibilidade ou conflito com as estruturas institucionais existentes, i.e., configurações *path dependence* (TRUFFER; COENEN, 2012; GRILLITSCH; HANSEN, 2019).

Em contrapartida, há evidências de que as atividades relevantes para a transição sustentável também podem surgir em economias emergentes, embora ocorram com menor frequência (COENEN *et al.*, 2012). Segundo Grillitsch e Hansen (2019), regiões periféricas podem conter empresas inovadoras; porém, em grande parte, necessitarão de ligações extrarregionais para acessar conhecimento e recursos. Para Truffer *et al.* (2015), essas economias emergentes têm assumido papéis de liderança no apoio às indústrias associadas às transições sustentáveis. Em concordância, Gibbs e O'Neill (2016) destacam que o processo de transição pode ser distribuído de forma desigual no espaço, pois algumas regiões ou lugares

⁷ O conhecimento codificado é definido como conhecimento explícito, que pode ser obtido em publicações, manuais e outros, enquanto o conhecimento não codificado é definido como conhecimento implícito e tácito, que constitui as capacidades específicas dos indivíduos (LUNDVALL, 2007; FELDMAN; KOGLER, 2010).

apresentarão maiores oportunidades para a formação e o desenvolvimento de tecnologias verdes do que outras.

De acordo com Cooke (2011), tanto a dependência da trajetória quanto o grau de variedade entre as indústrias influenciam a incidência da inovação verde nas regiões, pois economias com indústrias relacionadas podem apresentar desempenho melhor do que economias com indústrias não relacionadas. No entanto, para que ocorra o efeito de transbordamento entre as indústrias e as ligações extrarregionais, é necessário promover a troca de conhecimento tácito, ou seja, fomentar as proximidades que incluam não apenas o aspecto geográfico ou espacial, mas também incluindo dimensões não espaciais, como sociais e/ou cognitivos (COENEN *et al.*, 2012).

Parte dos estudos aponta a importância complementar da proximidade geográfica como estímulo à inovação e à aprendizagem interativa (BOSCHMA, 2005; BALLAND; RIGBY, 2017); outros estudos têm destacado a relevância das demais dimensões de proximidade para promover os fluxos locais e de transbordamento do conhecimento, como a proximidade institucional, social ou cognitiva, isoladas ou combinadas (BOSCHMA; FRENKEN, 2010; BROEKEL; BOSCHMA, 2012).

O conhecimento tácito, difícil de codificar, imitar e transferir a longas distâncias, é “especialmente pegajoso” (*spatially sticky*) e conta com um estoque de conhecimento prático que é aprimorado ao ser executado (JAFFE *et al.*, 1993; GERTLER, 2003; FELDMAN; KOGLER, 2010). Os mecanismos de transferência que promovem o contato face a face, como as redes sociais, as *spin-offs*, as colaborações entre empresas, as mobilidades de mão de obra, as fusões e as aquisições, são instrumentos facilitadores fundamentais para que o transbordamento do conhecimento não codificado ocorra (BOSCHMA; FRENKEN, 2006).

As regiões com elevados níveis de capacidade de absorção e sistemas locais dinâmicos de inovação apresentam melhores desempenhos para a criação de novas trajetórias (DAWLEY, 2014). Nesse sentido, a experiência prévia acumulada pode estimular a descoberta e o reconhecimento de novas potenciais atividades (STEEN, 2016). Além disso, os avanços tecnológicos, as mudanças nas estruturas de mercado e na política podem criar “janelas de oportunidades” para o desempenho econômico (PEREZ, 2009; STEEN, 2016). Contudo, um dos grandes desafios apontados pela literatura consiste em compreender por que algumas regiões são capazes de se transformar, enquanto outras não (ESSLETZBICHLER; RIGDY, 2007; BARBIERI *et al.*, 2020).

Para Martin e Sunley (2006) e Trippel *et al.* (2017), há duas principais fontes capazes de auxiliar uma região a romper com o “aprisionamento” de uma estrutura obsoleta e estabelecer

um novo caminho de desenvolvimento industrial, a saber: i) as ramificações, que denotam a diversificação das indústrias relacionadas existentes em novas, muitas vezes baseadas em combinações inovadoras de conhecimento pré-existente e/ou do aproveitamento tecnológico de uma indústria em declínio; e ii) a criação de caminhos, referida como o surgimento de indústrias inteiramente novas em uma região, promovida tanto pelas habilidades regionais existentes quanto por cenários sem precedentes regionais imediatos, frequentemente decorrentes da comercialização dos resultados da pesquisa. Na mesma direção, para Grillitsch e Hansen (2019), além do desenvolvimento de indústrias existentes para novas indústrias verdes, a criação pode ser incentivada por: i) crescimento das indústrias verdes existentes; ii) mudança qualitativa por meio da introdução de novas tecnologias, inovações organizacionais ou modelos de negócios; e iii) desenvolvimento de novas indústrias que não estão relacionadas às indústrias regionais existentes.

Portanto, as evidências têm apontado a presença de uma dicotomia na presente temática. Por um lado, a formação de novas indústrias pode surgir com as ramificações intersetoriais pré-existentes, que incluem um setor e/ou atividade em declínio ou até mesmo a recombinação tecnológica com outros setores (DAWLEY, 2014; TRIPPL *et al.*, 2017; STEEN; HANSEN, 2018; GIBBS; JENSEN, 2022). Por outro lado, novos caminhos podem surgir a partir da inovação local e da capacidade de dar saltos em setores tecnologicamente distantes e menos relacionados (ZHU *et al.*, 2017; BOSCHMA *et al.*, 2017). Nessa linha, o conjunto de competências pré-existentes em uma região determina quais novos caminhos e novas indústrias a região será capaz de desenvolver (NEFFKE *et al.*, 2015; BOCHMA *et al.*, 2017; HIDALGO *et al.*, 2018).

No caso da indústria eólica, que é considerada uma indústria verde, relativamente nova⁸, dinâmica e tecnológica, as estratégias dos países para adquirir as competências tecnológicas e promover o desenvolvimento do setor são das mais diversas, especialmente por serem atividades de mudanças experimentais constantes (*learning-by-doing*⁹) com adaptações à natureza física (como vento e latitude) e às condições geográficas (como relevo) de cada localidade. Embora a tecnologia eólica apresente impactos antagônicos no contexto ambiental, o desenvolvimento industrial e a formação de demanda do mercado contam com o envolvimento de diferentes setores e múltiplos atores (público, privado e cívico) para decidir, desenvolver e implementar iniciativas no setor, isto é, o engajamento de diferentes *stakeholders*

⁸ Embora haja registro de tecnologias similares de “cata-vento” desde os anos de 1880.

⁹ Ver Nelson e Winter (1982).

e setores, que podem ser entendidos como uma colaboração multissetorial (FISCHER *et al.*, 2020).

Portanto, devido à sua importância para o processo de transição em curso, este trabalho tem como principal contribuição para a literatura fazer uma análise detalhada das experiências anteriores e identificar *qual o papel das colaborações multissetoriais e pré-existentes para as capacidades locais produtivas e tecnológicas no desenvolvimento industrial eólico*.

2.3. Metodologia

Seguindo as diretrizes fornecidas por Tranfield *et al.* (2003) e Kitchenham (2004), a revisão crítica e sistemática da literatura reúne resultados tanto semelhantes quanto contraditórios sobre um tema específico, a partir de um mapeamento das evidências existentes. Considerado como uma metodologia de pesquisa, a revisão sistemática oferece inúmeras vantagens em comparação com as revisões no sentido tradicional e os estudos bibliométricos, especialmente por não ser uma escolha arbitrária e por adotar critérios e princípios estabelecidos em seu escopo (PITTAWAY *et al.*, 2004; DENYER; TRANFIELD, 2017).

Esse tipo de metodologia permite realizar uma análise com rigor científico e oferecer contribuições significativas no campo da análise, com resultados confiáveis, verificáveis e reproduzíveis (CEIPEK *et al.*, 2018). Além disso, identifica temas na literatura que precisam de mais evidências por meio da compilação de conhecimento, revela mudanças na fronteira temática e auxilia na construção de uma agenda para estudos futuros (KITCHENHAM, 2004; DENYER; TRANFIELD, 2009). O método de pesquisa é desenvolvido com base em um protocolo para minimizar os vieses no processo de revisão e tem como princípios básicos: transparência, clareza, igualdade e acessibilidade (TRANFIELD *et al.*, 2003).

Para garantir esses princípios básicos e a qualidade da seleção da amostra, adota-se, no procedimento de revisão, um processo de busca e seleção nos bancos de dados com uma sequência de estágios padronizados. O procedimento adota alguns critérios de inclusão e exclusão que podem ser filtrados por títulos, resumos ou palavras-chave, restringindo-se por área, por período de publicação, por indicadores de qualidade, ou pelo uso de operadores *booleanos* (TRANFIELD *et al.*, 2003; KITCHENHAM, 2004). Alguns autores na literatura destacam a importância do conhecimento prévio dos fundamentos teóricos e da definição do campo temático para que se possa identificar as palavras-chave mais relevantes para o problema de pesquisa (*brainstorming*), conciliando, portanto, esse procedimento com as buscas tradicionais de literatura (PITTAWAY *et al.*, 2004).

Neste trabalho, o método de revisão crítica e sistemática da literatura será apoiado pelo uso do *software Bibliometrix* (ARIA; CUCCURULLO, 2017)¹⁰ e se subdividirá em três fases de delimitação formal, manual e interativas entre si: i) planejamento, com a criação de um protocolo de revisão e a definição prévia da relevância da pesquisa; ii) desenvolvimento, com a seleção de estudos primários, a avaliação da qualidade do estudo, a extração, o monitoramento e a síntese de dados e, por fim, iii) relato da revisão a partir dos estudos selecionados (TRANFIELD *et al.*, 2003; KITCHENHAM, 2004; DENYER; TRANFIELD, 2009). A subseção seguinte detalha os procedimentos adotados para a coleta dos dados.

2.3.1. Procedimentos e base de dados

O período de seleção dos dados contempla os trabalhos desenvolvidos até 2023¹¹, publicados em periódicos revisados por pares, indexados na *Scopus* (Elsevier) e na *Web of Science* (Clarivate Analytics), extraídos na plataforma de dados da CAPES (2024). A escolha desses periódicos se deve à sua relevância acadêmica, evidenciada pelo volume de artigos pertinentes à temática e pelo alto fator de impacto (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

No que se refere aos termos potencialmente relevantes para a problemática, inicialmente, partiu de uma seção de *brainstorming* com a compreensão prévia dos fundamentos teóricos do campo temático da literatura da EGG e da Inovação no desenvolvimento industrial eólico, a saber: “Knowledge”, “Capacity”, “Skills” “Cognitive”, “Related”, “Specialization”, “Density”, “Spillovers”, “Collaborative”, “Dependence”, e suas derivações explicitadas pelo símbolo “*” ou “(?)”, conforme a prática da literatura existente. Complementar a essa busca, a fim de expandir o campo semântico, no primeiro estágio da fase de desenvolvimento da revisão sistemática foi realizada a busca por artigos acadêmicos publicados até 2023, com as seguintes palavras-chave e operadores *booleanos* no título: “Wind” AND “Industr*”¹², resultando em uma amostra inicial de 1.044 artigos (604 da *Scopus* e 440 da *Web of Science*) e, após exclusão de duplicados, um total de 731 artigos. Os resultados apontam que, além das palavras-chave identificadas na seção de *brainstorming*, as palavras-chave com maiores frequências foram: “Innovation” (40%), “Performance” (28%),

¹⁰ Desenvolvida na linguagem de computação estatística e gráfica R (*Software* livre de programação).

¹¹ Ano completo e mais recente da base de dados.

¹² O termo com “*” coletará documentos com palavras derivadas, e.g., industrial, indústria e industrialização. Além disso, o operador *booleano* “AND” tem como objetivo restringir a amostra, enquanto o operador “OR” amplia a amostra, por ser um operador alternativo.

“Technology” (14%), “Research-and-Development” (10%) e “Diffusion” (8%), conforme ilustrado na Figura 1.

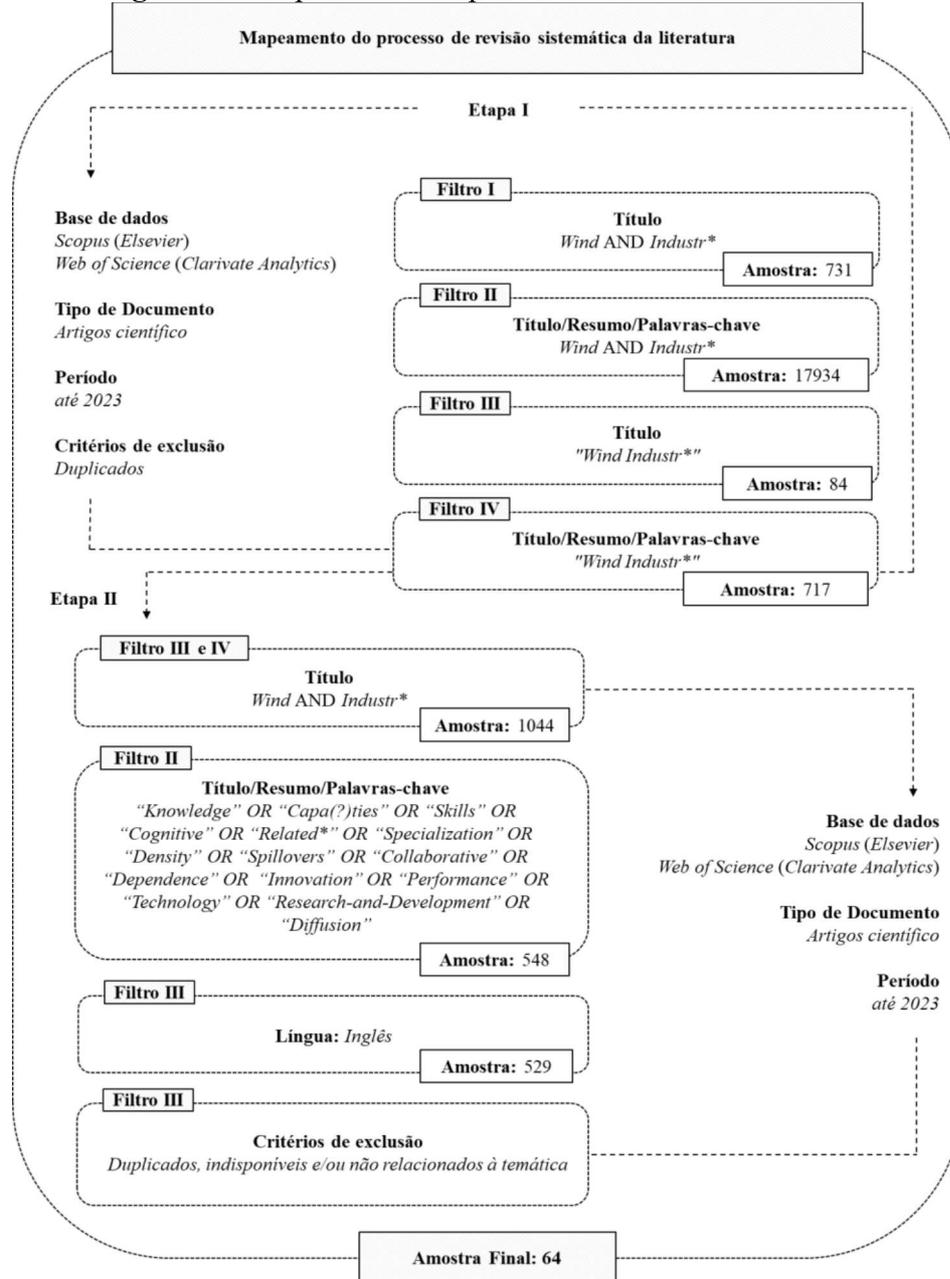
Figura 1 – Nuvem de palavras-chave primária



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

Adicionalmente a essa triagem inicial, realizaram-se três buscas secundárias, conforme ilustra a Etapa I na Figura 2: i) com os termos “Wind” AND “Industr*” nos tópicos (títulos, resumos ou palavras-chave); ii) com o termo “Wind Industr*” nos títulos; e iii) com o termo “Wind Industr*” nos tópicos. Após uma análise cuidadosa dos resultados obtidos (nuvens de palavras, número de citações, volume de publicações e análise dos resumos, conforme apresentado no Anexo II), optou-se por utilizar como filtro inicial para o procedimento de revisão sistemática o termo “Wind” AND “Industr*” nos títulos dos artigos.

Figura 2 – Mapeamento do processo de revisão sistemática



Fonte: Elaboração própria.

Posteriormente, no segundo estágio, além dos termos “Wind” AND “Industr*” nos títulos, foram adicionadas as seguintes palavras-chave e operadores *booleanos* nos tópicos (títulos, resumos ou palavras-chave): “Knowledge” OR “Capa(?)ties” OR “Skills” OR “Cognitive” OR “Related*” OR “Specialization” OR “Density” OR “Spillovers” OR “Collaborative” OR “Dependence” OR “Innovation” OR “Performance” OR “Technology” OR “Research-and-Development” OR “Diffusion”, resultando em uma amostra total de 548 artigos (310 *Scopus* e 238 *Web of Science*).

No terceiro estágio, adicionalmente aos filtros anteriores, foram selecionados apenas artigos científicos de língua inglesa, o que resultou em uma amostra de 529 artigos (295 da *Scopus* e 234 da *Web of Science*). No quarto estágio, além da exclusão de trabalhos duplicados (um total de 133 trabalhos) foram utilizados alguns critérios adicionais de triagem alinhados com a prática usual da literatura de revisão sistemática, a partir de uma triagem manual dos resumos dos artigos remanescentes (356 trabalhos). Portanto, nesse estágio foram selecionados apenas os artigos aderentes à problemática, e excluídos os artigos indisponíveis e duplicados, uma vez que um mesmo artigo pode ser indexado em mais de uma base de dados. Após a leitura dos resumos e triagem manual, a amostra final resultou em um total de 64 artigos científicos, conforme ilustrado na Etapa II da Figura 2.

Após a obtenção do conjunto de dados, a análise foi organizada em duas fases: i) inicialmente, os artigos da amostra final foram codificados de acordo com o ano de publicação, a área do conhecimento, os autores e suas respectivas instituições; e ii) posteriormente, para realizar o procedimento de relato da revisão, foram analisados integralmente os artigos da amostra final e selecionados aqueles que apresentaram contribuições para o aprofundamento do referencial. Além disso, nessa última etapa, foram utilizados critérios de relevância para a categorização dos artigos. Os artigos categorizados no grupo “A” apresentam resultados com maiores evidências para a presente problemática. Já os artigos no grupo “B” apresentam evidências, mas não de forma explícita. São predominantemente gerais/conceituais; porém, agregam conteúdo à presente discussão.

Cabe destacar que, embora haja um esforço em reunir todos os trabalhos alinhados com a temática, na presente metodologia existem algumas limitações, dentre as quais: i) a seleção da amostra; ii) a seleção dos termos e palavras-chave; e, especialmente, iii) a seleção dos critérios adotados manualmente. No entanto, conforme apontado por Tranfield *et al.* (2003) os procedimentos utilizados minimizam os possíveis vieses dessa metodologia. Desse modo, ao adotar os critérios de inclusão e exclusão usuais da literatura e ao adotar as devidas cautelas de análise, espera-se que a amostra selecionada seja capaz de responder ao questionamento da presente pesquisa.

2.4. Revisão crítica e sistemática

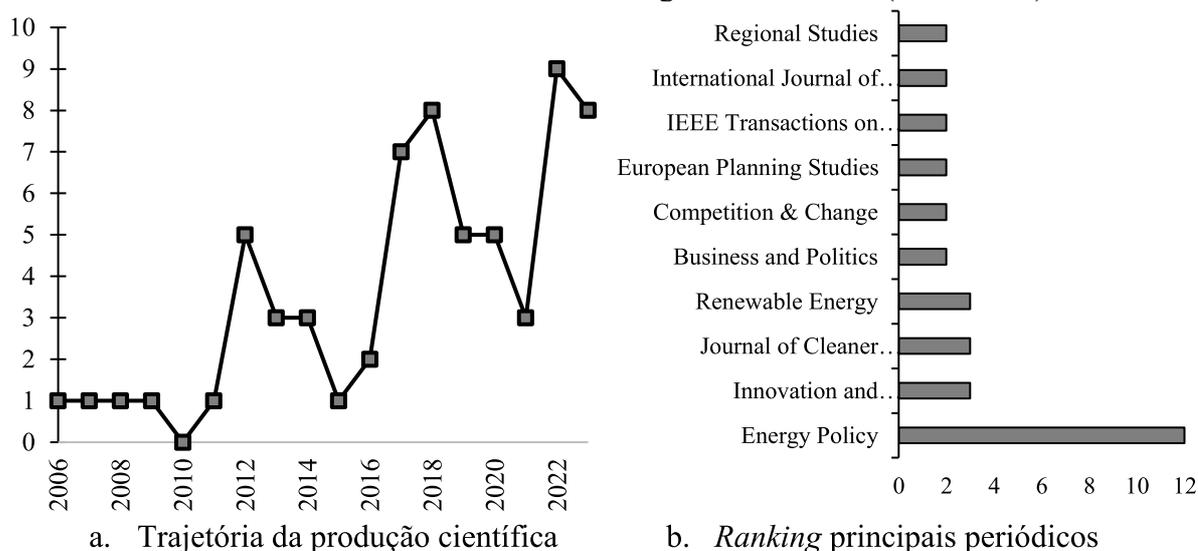
Com base nos resultados da seção anterior, esta seção propõe reunir e ampliar a compreensão sobre os mecanismos associados à criação do desenvolvimento industrial eólico, em cenários com e sem precedentes imediatos. Destaca-se, especialmente, as evidências sobre

as colaborações multissetoriais e pré-existentes, ancoradas nas capacidades produtivas e tecnológicas de diferentes economias. Inicialmente, apresenta-se uma análise descritiva dos dados, seguida da revisão crítica e sistemática da literatura e das principais reflexões sobre o desenvolvimento industrial do setor eólico.

2.4.1. Análise descritiva dos dados

Apesar do número significativo de artigos publicados sobre a indústria eólica, entre o período de 2006 e 2023, do total de 731 artigos revisados por pares da *Scopus* e *Web of Science*, 377 destes discutem a presente temática¹³, do quais, apenas 64 artigos respondem ao questionamento de *qual o papel das colaborações multissetoriais e pré-existentes para as capacidades locais (produtivas e tecnológicas) no desenvolvimento industrial eólico?*

Gráfico 1 – Análise descritiva dos artigos selecionados (2006-2023)



Fonte: elaboração própria, a partir dos dados da CAPES (2024).

Com base nos artigos selecionados para amostra final, a trajetória da produção científica ressalta o seu ineditismo, dado que o volume de publicações na temática vem ocorrendo apenas nas duas últimas décadas, conforme ilustra o Gráfico 1. De um total de 45 periódicos, as áreas de estudos foram predominantemente de energia, sustentabilidade e política. Os periódicos que apresentaram o maior número de artigos publicados na temática foram o “Energy Policy”, “Innovation and Development”, “Journal of Cleaner Production” e “Renewable Energy”. Além dos próprios termos utilizados na seleção dos artigos, as palavras-chave de maiores ocorrências

¹³ Excluindo as duplicações nas bases de dados.

utilizadas pelos autores foram: “Renewable Energy”, “China”, “India”, “Offshore Wind”, “Wind Turbine”, “Industrial Policy”, “Patents”, “Path Creation”, “Sustainable Development” e “Technology Transfer”. Os países que mais foram investigados como um estudo de caso foram: China, Dinamarca, Noruega, Índia, Alemanha, Estados Unidos e África do Sul, respectivamente.

Figura 3 – Nuvem de palavras-chave e *ranking* dos países investigados (2006-2023)



- a. Nuvem de palavras-chave
- b. *Ranking* países estudos de caso

Fonte: elaboração própria, a partir dos dados da CAPES (2024).

De um total de 109 instituições identificadas na amostra, incluindo afiliações de coautoria, as instituições de pesquisas que publicaram entre 7 (sete) e 4 (quatro) artigos na área foram: “Aalborg University” (AAU), “University of Oslo” (UIO), “University of Zurich” (UZH), Copenhagen Business School (CBS), “Carnegie Mellon University” (CMU), “Joint Research Centre” (JRC), “Norwegian University of Science and Technology” (NTNU), “Oxford Brookes University”, “Technical University of Denmark” (DTU), “Tsinghua University” e “University of Chinese Academy of Sciences” (UCAS). O que ressalta, portanto, uma maior concentração da produção de estudos na China e nos países da Europa sobre a presente temática.

2.4.2. Qual o papel das colaborações multissetoriais e pré-existentes para as capacidades locais no desenvolvimento industrial eólico?

O processo de inovação não é linear e a mudança técnica não é aleatória. Além disso, inovações revolucionárias e de rápida difusão para a criação de caminhos são exceção, e não regra (SIMMIE, 2012). Marcado por *feedbacks*, a inovação consiste em um processo complexo,

coletivo e interativo no qual tanto o aprendizado quanto a disseminação do conhecimento são primordiais (CHEN *et al.*, 2014). Realizado por uma rede de atores em contextos distintos de mercados e instituições (LAM *et al.*, 2017), a trajetória que antecede uma nova atividade também exerce um papel fundamental na geração, utilização e difusão da tecnologia (GRAFSTRÖM, 2018; BENTO; FONTES, 2019).

Dentre uma série de abordagens utilizadas para investigar as mudanças econômicas e disruptivas – como a teoria de inspirações *darwinianas*, a teoria de noções da coevolução institucional, a teoria de sistemas adaptativos complexos e outras –, destaca-se a teoria da dependência da trajetória que tem como elemento central o “efeito *lock-in*” e a incapacidade de se livrar de sua história (SIMMIE, 2012).

A teoria da dependência da trajetória confronta a criação de novos caminhos e enfatiza o papel que a atividade econômica passada exerce sobre a atual, que por sua vez molda os cenários futuros (CARPENTER *et al.*, 2012). Essa teoria, sob a perspectiva de contingência e auto reforço, prevê o “aprisionamento” na ausência de choques exógenos. Não obstante, destaca a possibilidade de selecionar caminhos cujas tecnologias, arranjos institucionais ou organizacionais são ineficientes ou abaixo do ideal, ou seja, obsoletos (SIMMIE, 2012). Portanto, isso pode impedir o avanço das tecnologias, especialmente das sustentáveis, ao exigir novos conjuntos de capacidades institucionais, bases de conhecimento e uma abordagem integrada para a formulação de políticas (FURTADO; PERROT, 2015).

A teoria da dependência descreve a conexão entre inovações intertemporais (JIANG; LIU, 2022). Para Mäkitie *et al.* (2018), há dois tipos de interações na natureza básica de ligação entre setores estabelecidos e novos: competitivo (efeito negativo) e colaborativo (efeito positivo). Se por um lado, as competências e atividades acumuladas nos setores e/ou atividades estabelecidas reforçam certos padrões que geram bloqueio ou inflexibilidade para novos (ANDERSEN *et al.*, 2017); por outro lado, quando bem aproveitadas podem promover a inovação e criar oportunidades de saltos tecnológicos (GEBAUER; BINZ, 2019), também conhecida como *leapfrogging* (GARSOUS; WORACK, 2022).

Sob a perspectiva híbrida da teoria evolutiva com a teoria da dependência, Simmie (2012) procura explicar como novos caminhos tecnológicos são criados em condições de desenvolvimento dependente de um caminho histórico. O autor destaca que na Dinamarca, a experiência em engenharia de equipamentos agrícolas e a atuação de agentes inventores locais, possibilitaram o desenvolvimento do setor eólico por meio de inovações incrementais ao longo dos anos. No entanto, ainda segundo o autor, nos Estados Unidos (EUA) a concentração de esforços para o desenvolvimento de tecnologias disruptivas em um projeto de pesquisa eólica

liderado pela NASA¹⁴, não obteve o mesmo sucesso que o caso dinamarquês. Em concordância, Keller e Negoita (2013) destacam que, enquanto os programas dinamarqueses facilitavam colaborações de baixo para cima (*bottom-up*), com abordagens práticas de tentativa e erro, os programas americanos estavam concentrados nas atividades de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), predominantemente canalizados para grandes empresas estabelecidas do setor de defesa.

Para Smith (2011), a estratégia de pioneirismo e liderança da Dinamarca no mercado não foi atribuída apenas aos gastos iniciais em P&D, mas também a um pacote de políticas coordenadas, de natureza econômica, social e tecnológica. Enquanto no Reino Unido, o esquema de incentivo competitivo e de financiamento foi inconsistente com a formação do novo mercado na década de 1990, isto é, demorou a fornecer um mecanismo de atração de mercado estável em virtude do foco na exploração de petróleo e gás. De acordo com Simmie *et al.* (2014), a experiência da Alemanha com as indústrias relacionadas criou um ambiente fértil para as inovações em tecnologias eólicas. Enquanto na Grã-Bretanha a tecnologia foi desenvolvida mais lentamente, apesar da pesquisa e inovação precoces na tecnologia.

A partir do acúmulo de mudanças pequenas e incrementais, a transformação do sistema energético pode ocorrer com o “desbloqueio” tanto ao nível das empresas quanto ao nível das instituições (normas, códigos, regulamentos e outros) (SILVA; KLAGGE, 2013; LAM *et al.*, 2017; GIBBS; JANSEN, 2022). As empresas podem enfrentar maiores restrições no mercado doméstico e o processo de transferência do conhecimento e *know-how* das atividades pode apresentar menor adesão, seja pela deficiência de infraestrutura, cadeia de suprimentos não confiáveis, vazios institucionais, indisponibilidade de serviços complementares ou ambiente macroeconômico (AWATE *et al.*, 2012; CHEN *et al.*, 2014; QUITZOW *et al.*, 2017; HAYASHI, 2018; HANSEN *et al.*, 2020).

Na Polônia, embora houvesse uma “janela de oportunidade” para redistribuir as habilidades dos setores tradicionais¹⁵, dada as altas taxas de desemprego nas atividades após a crise de 2008, ainda assim a situação macroeconômica do país inviabilizou a entrada das empresas europeias do setor eólico (STOERRING; HVELPLUND, 2007). No caso do Brasil e da África do Sul, por exemplo, os “aprisionamentos” cognitivos, institucionais e tecnológicos baseados em fontes antigas e convencionais – dependentes de tecnologias hídricas e fósseis,

¹⁴ *National Aeronautics and Space Administration* - NASA.

¹⁵ Como as atividades de mineração, siderurgia, metalurgia, indústria mecânica e de aviação (STOERRING; HVELPLUND, 2007).

respectivamente – impuseram barreiras iniciais para o avanço do setor eólico (FURTADO; PERROT, 2015).

As experiências têm destacado que os cenários com capacidades produtivas e tecnológicas adequadas tendem a absorver melhor o que há de mais inovador no mercado e desenvolver uma base tecnológica internamente (PUEYO *et al.*, 2011; AWATE *et al.*, 2012). Em geral, para as economias em desenvolvimento, o ambiente é incerto e os desafios são múltiplos. Garsous e Worack (2022) destacam que é difícil para um país com pequeno estoque inicial de conhecimento superar ou alcançar, aqueles com estoques de conhecimento inicialmente elevados. No entanto, compreende-se que, até mesmo para as economias mais desenvolvidas, as estratégias adotadas podem estimular o (in)sucesso ou atraso das atividades.

Influenciado por fatores endógenos e exógenos, para alcançar os *players* do mercado e promover o *catch-up* tecnológico do setor, os países têm adotado diferentes métodos de recuperação, no qual envolve aprendizado e acumulação de capacidades (FURTADO; PERROT, 2015; QUITZOW *et al.*, 2017; HAYASHI, 2018), seja para seguir um caminho (adotar tecnologia de primeira geração), pular estágio (adotar tecnologia atualizada) ou criar caminhos (explorar novas trajetórias), a saber: as ramificações intersetoriais e a criação de caminhos.

2.4.2.1. Ramificações intersetoriais: estratégias para o desenvolvimento das capacidades internas da indústria eólica

O ambiente industrial é aqui entendido como um campo organizacional, importante para os processos de inovações, no qual se requer, muitas vezes, o conhecimento heterogêneo de diferentes empresas e habilidades profissionais (HAAKONSSON; KIRKEGAARD, 2016; MÄKITIE *et al.*, 2019; NILSEN; NJØS, 2022). Cada país tem uma base de conhecimento particular para desenvolver as suas técnicas de produção (LAI, 2024).

A localização bem-sucedida da indústria dependerá da presença e acumulação das capacidades locais (como as produtivas, científicas e tecnológicas) que propõe conhecimento prévio. Além disso, mesmo para as tecnologias maduras, são necessárias a adaptação contínua e as melhorias incrementais para que se possa adquirir ganhos de competitividade (FURTADO; PERROT, 2015; QUITZOW *et al.*, 2017). Como no caso dos Estados Unidos, que por meio do desenvolvimento de grandes turbinas de eixo horizontal promoveu economias de escala, viabilizou o mercado e permitiu a produção de eletricidade de baixo custo (NOWAKOWSKI; LOOMIS, 2023).

As capacidades de produção podem ser adquiridas por meio das estratégias de imitação. No entanto, o processo é mais complexo quando se refere às capacidades tecnológicas e de inovação (AWATE *et al.*, 2012). Para Zhang *et al.* (2019), a capacidade tecnológica e o desempenho da inovação nas atividades eólicas são afetados positivamente pelas redes de competições tecnológicas nas quais ela está inserida. No contexto das tecnologias eólicas (*onshore* e *offshore*), a redução de custos e a maturidade tecnológica, em parte, estão associadas à combinação desses fatores, tanto à sua repetição quanto ao acúmulo de experiência prática e à experimentação em laboratórios e unidades de produção, já que as empresas acumulam capacidades tecnológicas e *know-how* no setor mesmo que exportem todos os seus bens (QUITZOW *et al.*, 2017; BENTO; FONTES, 2019; AFEWERKI; STEEN, 2023).

A cadeia industrial é um complexo sistema que inclui diferentes recursos, como a fabricação de equipamentos eólicos, operação de parques e construção de redes (ZHAO *et al.*, 2009). Há três principais modelos de empresas nesse mercado: i) as empresas montadoras, cujos componentes são importados e montados localmente; ii) as empresas fabricantes de componentes, cuja uma parte da produção é produzida localmente e as demais importadas; e iii) as empresas de fabricação completa de turbinas (MOLDVAY *et al.*, 2013). As empresas líderes que montam e, ocasionalmente, fabricam componentes para energia eólica (OEM)¹⁶ estão localizadas na Europa (Vestas e Siemens), nos Estados Unidos (General Electric), no Japão (Mitsubishi), na China (Goldwind) e na Índia (Suzlon) (SURANA *et al.*, 2020).

A estrutura padrão da tecnologia eólica conta com uma torre – item de menor complexidade que envolve processos industriais mais padronizados – e um conjunto de engrenagens com vários componentes elétricos e mecânicos – com níveis distintos de complexidades que demandam habilidades tácitas –, como pás, gerador, controlador, caixa de engrenagens, rolamento, rotor e outros. Esse tipo de tecnologia requer a combinação da base de conhecimento de diferentes tecnologias industriais, como as atividades de engenharia mecânica e elétrica, *software*, aerodinâmica, ciência de materiais e outras (CHEN *et al.*, 2014; HAAKONSSON; KIRKEGAARD, 2016; GARSOUS; WORACK, 2022). Para Surana *et al.* (2020), a complexidade da produção de turbinas molda tanto o surgimento e a evolução dos fornecedores quanto a localização dos mesmos.

- *Capacidade relacionada dos setores*

¹⁶ *Original Equipment Manufacturer.*

A diversificação para mercados relacionados possibilita sinergias e complementariedades que são cruciais para expansão e difusão das tecnologias (GRAFSTRÖM, 2018; MÄKITIE *et al.*, 2019). Para Admi *et al.* (2017), o desenvolvimento do setor eólico na região do Rio Grande do Sul, no Brasil, contou com um estágio maduro de industrialização, com indústrias de atividades metalmeccânica, eletrônica e automação, além de empresas locais de engenharia e consultoria. Mesmo sem uma grande fabricante nacional OEM, o Brasil conseguiu desenvolver a fabricação de componentes de maior complexidade, expandida com o crescimento da demanda interna, das ações da política de conteúdo local e da participação de *spin-off* da indústria de aviação existente no país, como a empresa Tectis (SURANA *et al.*, 2020). Portanto, as capacidades industriais relacionadas também influenciam a vantagem competitiva doméstica (HAYASHI, 2020).

As indústrias eólicas (*onshore* e *offshore*) podem surgir de indústrias antigas, estabelecidas e/ou de diferentes setores (CARPENTER *et al.*, 2012; GEBAUER; BINZ, 2019; BENTO; FONTES, 2019). A indústria *offshore*, em especial, requer competências integradas e uma engenharia intensiva que difere da tecnologia *onshore*, como a disponibilidade de embarcações marítimas, helicópteros e guindastes. O que pode apresentar uma oportunidade de benefícios mútuos com o setor de petróleo e gás (KOŁAKOWSKI; RUTKOWSKI, 2022) (BERROCAL *et al.*, 2021). No caso das empresas norueguesas de petróleo e gás, que são consideradas passivas ou resistentes às transições de sustentabilidade no setor, o desenvolvimento da tecnologia eólica *offshore* foi visto como uma “janela de oportunidade” para redistribuir os recursos existentes das empresas locais em declínio, i.e., do conhecimento acumulado sobre as fundações flutuantes (MÄKITIE *et al.*, 2018; 2019; MÄKITIE, 2020).

No Noroeste da Alemanha, o desenvolvimento da *offshore* nas regiões foi impulsionado pela perda de atratividade econômica e os elevados níveis de desemprego local, com o declínio das indústrias tradicionais de pesca e construção naval no porto de Bremer (Bremen) e Cuxhaven (Baixa Saxônia) (GIBBS; JANSEN, 2022). Na Colômbia, os autores Berrocal *et al.* (2021) apontam uma “janela de oportunidade” das indústrias nacionais de construção naval para o desenvolvimento eólico *offshore*, ainda em estágios iniciais, devido as habilidades e os recursos adquiridos ao longo dos anos no setor.

As experiências também apontam sinergias dentro do mesmo setor. Para Gebauer e Binz (2019) as regiões que apresentam competências essenciais para manutenção de parques eólicos *onshore* também têm apresentado vantagens para fornecer os serviços necessários para *offshore*, não se restringindo apenas a essa indústria. Alguns exemplos podem ser citados, como a indústria naval – com a especialização de embarcações sob medida para reduzir o tempo de

instalação de grandes torres eólicas *offshore* – e a indústria de tecnologia da informação – com soluções de comunicação para parques eólicos *offshore* (BENTO; FONTES, 2019).

No entanto, para que essa fertilização cruzada entre os setores tenha êxito, é importante adotar um modelo de inovação de hélice tripla (academia, governo e indústria), assim como um quadro normativo e regulatório para as novas atividades. Nesse sentido, o surgimento de novas trajetórias também refletirá as relações de poder entre os múltiplos *stakeholders* dominantes nas regiões (HEIDENREICH; MATTES, 2022).

Ao entrar em novos mercados as empresas líderes estabelecidas e/ou multinacionais podem apoiar as iniciantes em seus esforços de P&D (MOLDVAY *et al.*, 2013; MÄKITIE, 2020; HANSEN *et al.*, 2020) e redistribuir seus recursos e capacidades especializadas, a partir do acesso de componentes complexos que não estão disponíveis internamente, oferecendo produtos e serviços com custos relativamente menores (HAAKONSSON; KIRKEGAARD, 2016; AFEWERKI; STEEN, 2023). Em outras palavras, cenários com baixas dotações de recursos podem inicialmente importar parte das turbinas eólicas e complementar com componentes já fabricados localmente (MOLDVAY *et al.*, 2013). Portanto, as capacidades industriais presentes em alguns locais podem suprir à ausência em outros (LOOS *et al.*, 2022), dado que os fornecedores globais são instrumentos transmissores de tecnologia na cadeia de valor (HAAKONSSON; SLEPNIOV, 2018).

Cabe destacar que as estratégias adotadas pelas empresas desempenham um papel importante para adquirir o conhecimento tecnológico necessário na indústria eólica, na medida em que buscam habilidades – técnicas, gerenciais ou organizacionais – e outros recursos cognitivos para utilizar eficientemente o *hardware* (equipamento) e o *software* (informação) da tecnologia. Em termos de atividades tecnológicas, estudos apontam um efeito positivo do desenvolvimento das indústrias relacionadas sobre a dinâmica do setor eólico, na medida em que também impulsionam o desenvolvimento de patentes no setor (*proxy* de inovação) (GRAFSTRÖM, 2018).

- *Estratégia colaborativa das empresas*

Nos mercados emergentes, em geral, as empresas apresentam maiores dificuldades para replicar a tecnologia, sobretudo por apresentarem menor poder de barganha em relação aos fornecedores e clientes externos (AFEWERKI, STEEN, 2023). Nesse contexto, as empresas líderes – que estão em uma posição privilegiada por poderem influenciar as atividades ao longo da cadeia de valor da indústria, como a definição de a que preço, para quais especificações e

em que tempo de entrega – podem exercer um papel catalizador de suprir suas próprias deficiências de recursos por meio da conexão e exploração de atividades imitáveis e transferíveis de outros mercados (HAAKONSSON; KIRKEGAARD, 2016; KARLSEN, 2018). Do mesmo modo que as empresas líderes selecionam seus fornecedores, os governos nacionais podem definir incentivos para tornar mais atrativa a cooperação das empresas com os fornecedores locais (LOOS *et al.*, 2022).

Além da proximidade cognitiva e geográfica, para promover às sinergias de aprendizado mútuo e o fluxo tecnológico bidirecional entre as empresas, os mecanismos de colaboração têm sido apontados como primordiais no fornecimento e no acesso de novas tecnologias (THEYEL, 2012; CHEN *et al.*, 2014; QUITZOW *et al.*, 2017; GRAFSTRÖM, 2018). As *spin-offs* e o suporte das empresas desenvolvidas para as emergentes são alguns desses mecanismos (CHEN *et al.*, 2014).

Outro facilitador tanto da transferência de conhecimento quanto da formação de capacidades competitivas pelas empresas líderes são as redes globais de produção (GPN¹⁷), que contribuem para fomentar inovações e promover o desenvolvimento local, regional e inter-regional (AFEWERKI; STEEN, 2023). Em geral, a proximidade entre as empresas pode diminuir os custos, promover a troca de informações, contribuir para a construção de confiança e a união de recursos (THEYEL, 2012; GRAFSTRÖM, 2018). Contudo, para compreender os diferentes tipos de relações e interações no acesso à tecnologia das redes globais, as análises de “troca” no âmbito industrial tornam-se extremamente relevantes.

Na Alemanha, a estreita colaboração entre os produtores de turbinas e os seus usuários locais permitiram o desenvolvimento de processos de aprendizagens simultâneas e interativas (SILVA; KLAGGE, 2013). No caso dos EUA, além das interações em redes, os canais de aprendizagem para a melhoria do desempenho eólico se caracterizam como: aprender fazendo (*learning-by-doing*), aprender com atividades de P&D (*learning-by-searching*) e aprender com os outros (*spillovers*) (TANG, 2018). Cabe ressaltar que os componentes e os sistemas mais complexos dependem fortemente do “aprender usando” (*learning-by-using*) e das interações usuário-produtor (*learning-by-interacting*) (QUITZOW *et al.*, 2017).

Alguns estudos apontam efeitos positivos dos vínculos de cooperação entre empresas e/ou indústrias estrangeiras e os fornecedores locais no surgimento e desenvolvimento do setor eólico (AWATE *et al.*, 2012). O desenvolvimento de uma das empresas líderes de mercado, a espanhola Gamesa, ocorreu por meio de regulamentos na forma de *joint venture*, com uma das

¹⁷ *Global Production Networks (GPN)*.

pioneiras eólicas da Dinamarca, a Vestas (SILVA; KLAGGE, 2013). Frequentemente, os fabricantes europeus de componentes da indústria eólica usufruem dos mecanismos de cooperação, às vezes adquirindo e fortalecendo um desenvolvedor local, outras vezes iniciando uma subsidiária do zero (LACAL-ARÁNTGUI, 2019). Durante a década de 2010, no Chile, os mecanismos de transferência de conhecimento, viabilizaram o surgimento da empresa chilena de produção de pás eólicas (Fibrovent Wind), a partir da parceria entre um fornecedor espanhol de turbinas eólicas e uma empresa chilena fornecedora de serviços para a indústria de mineração (PUEYO *et al.*, 2011).

A indústria eólica dinamarquesa é um *player* importante, beneficiado das vantagens de pioneirismo e de um ambiente institucional multiescalar favorável, incluindo políticas domésticas que apoiaram o desenvolvimento do mercado (JOLLY *et al.*, 2023). Inicialmente agrícola, a estratégia de cooperação da Vestas também viabilizou a inserção de outras empresas e o envolvimento acadêmico, incluindo uma *joint venture* com a Mitsubishi e parcerias com a empresa IBM¹⁸. Do mesmo modo, a Siemens adotou estratégias de cooperação no âmbito corporativo e acadêmico, incluindo relações com universidades do Reino Unido, da Dinamarca, da Alemanha e da Holanda (BUEN, 2006; ANDERSEN *et al.*, 2017). No caso da Suzlon, fabricante indiana de turbinas, em 2001, por meio da aquisição de um fabricante holandês criou um centro de P&D para *design* de pás na Holanda; nos anos seguintes, a empresa criou um centro de *design* de turbinas na Alemanha e estabeleceu sua sede internacional na Dinamarca, tornando-se a única fabricante indiana com centros internacionais de P&D (HAYASHI, 2018).

Cabe ressaltar que a indústria de energia eólica tem um fluxo de conhecimento tácito e relacionamento intrafirma forte. Na prática, as transações de mercado geralmente combinam a transferência pontual de conhecimento codificado com um certo grau de transferência de conhecimento tácito, como o licenciamento acompanhado de treinamento (QUITZOW *et al.*, 2017; ZHOU *et al.*, 2018). Na Noruega e Dinamarca os mecanismos de fusões e aquisições, *joint ventures*, políticas estaduais, coordenação intrafirma e negociação extrafirma, apresentaram um papel essencial para o desenvolvimento das capacidades competitivas do setor (AFEWERKI; STEEN, 2023). No caso das fusões entre a Siemens com a Gamesa e a Nordex com a Acciona, a combinação das competências exibiram como pano de fundo dois objetivos: fortalecer as posições gerais de mercado e atender à crescente demanda (GEBAUER; BINZ, 2019).

¹⁸ *International Business Machines Corporation.*

Até mesmo em cenários retardatários, como no caso da entrada tardia da Equinor (norueguesa) no mercado, os ambientes com disponibilidade de recursos pré-entrada podem permitir que empresas diversificadas entrem e, posteriormente, se posicionem como líderes no mercado (GEBAUER; BINZ, 2019). De acordo com Yusta *et al.* (2020), entrantes tardios no mercado internacional, como a Suzlon, foram mais rápidos para atingirem o marco devido à maior maturidade do ambiente criado pelas pioneiras, Vestas e SGRE (fusão entre a Siemens e a Gamesa), líderes até os dias atuais.

Cabe ressaltar que o conhecimento de fora da indústria também tem sido apontado como um insumo para o processo de inovação (HEIDENREICH; MATTES, 2022). Contudo, são necessárias estruturas facilitadoras para explorar tais conhecimentos e acelerar a difusão da tecnologia (PUEYO *et al.*, 2011). Dentre essas estruturas, destaca-se a participação de atores-chave, como instituições de pesquisas, instituições governamentais e universidades (HAAKONSSON; KIRKEGAARD, 2016). No caso da Vestas e Siemens, por exemplo, as parcerias com acadêmicos e universidades contemplaram os seus esforços de P&D interno. Porém, tal conhecimento não pode ser simplesmente adotado, requerendo adaptações e mudanças em várias dimensões (GRAFSTRÖM, 2018; HEIDENREICH; MATTES, 2022).

Na Alemanha, o setor contou com condições de nicho (ambiente) favoráveis ao seu desenvolvimento, pois, além da estrutura herdada da indústria automotiva, a atividade eólica contou com a participação de instituições de pesquisas e atores-chave com elevada capacitação em engenharia, incluindo a formação de recursos humanos qualificados (Carpenter *et al.*, 2012). Os autores Heidenreich e Mattes (2022) identificaram três tecnologias radicalmente novas para a indústria eólica alemã, a saber: i) um sistema de iluminação acionado por radar ao detectar aviões, desenvolvido por um instituto de pesquisa com vários domínios tecnológicos, incluindo a indústria militar; ii) uma cortina de bolhas para redução de ruído submarino, baseado na *expertise* da indústria de petróleo e gás; e iii) uma plataforma para coleta e transporte da eletricidade de múltiplos parques eólicos, com participação ativa da construção naval e da indústria *offshore* de petróleo e gás.

Em linhas gerais, esses mecanismos de cooperação são identificados como abordagens comuns e frequentemente bem-sucedidos, que fornecem um meio de acesso ao conhecimento organizacional tácito, incluindo o conhecimento de mercado (HAYASHI, 2018; CHANG *et al.*, 2021; AFEWERLKI; STEEN, 2023). A capacidade inventiva de um país aumenta à medida que mais conhecimento é acumulado; do mesmo modo, o desempenho tecnológico das atividades eólicas melhora com a experiência e o compartilhamento de habilidades relacionadas (GRAFSTRÖM, 2018; TANG, 2018). Assim, as capacitações pré-existentes podem exercer um

papel crucial para o desenvolvimento do setor eólico. Porém, o desenvolvimento do mercado exige não apenas o conhecimento das empresas sobre a tecnologia geral do produto, mas também sobre tecnologias e habilidades complementares, também definida como habilidades multissetoriais (AWATE *et al.*, 2012).

Portanto, sem a capacidade de compreender e explorar as informações externas, provavelmente, os fluxos de transbordamento podem não resultar em benefícios percebidos (GRAFSTRÖM, 2018; HAYASHI, 2018). Para Gebauer e Binz (2019), a comercialização de tecnologias das empresas europeias para as empresas dos países emergentes exigia a localização de competências e habilidades. De acordo com Peuckert *et al.* (2016), os transbordamentos de conhecimento proporcionados pelo fluxo comercial irão contribuir para a construção de capacidades tecnológicas a partir das capacidades de absorção e das condições do quadro regulatório nos países importadores. Não obstante, para Mäkitie *et al.* (2018), as estruturas facilitadoras, por si só, não promovem automaticamente à redistribuição de recursos, mas representam oportunidades para que ela se materialize.

2.4.2.2. Criação de novos caminhos: estratégias para o desenvolvimento das capacidades internas da indústria eólica

Embora sejam caracterizados como exceção, e não regra, a Índia e a China têm se destacado como dois principais *players* do mercado eólico sem precedentes iniciais imediatos. Mesmo com uma inserção tardia no mercado, em ambos os casos a criação de novos caminhos partiram da percepção de uma “janela de oportunidade” no mercado doméstico, com coordenação e elevada cooperação entre os *stakeholders* locais e estrangeiros. Isso tem sido feito, principalmente, por meio de instrumentos de políticas e subsídios destinadas para o desenvolvimento das atividades do setor. Não obstante, a atuação do Estado “empreendedor”, em ambos os contextos, enfatiza a sua importância para criar um ambiente institucional e promover uma política tecnológica bem-sucedida em uma indústria emergente.

- Ambientes capacitados versus “aprisionados”: as estratégias da Índia e China em contraste ao mercado eólico da África do Sul

Iniciada após a década de 1980, com a fabricação de componentes de baixa complexidade, a Índia conseguiu se estabelecer no mercado com iniciativas do governo e estratégias *learning-by-interacting* com atores internacionais, especificamente, os atores

dinamarqueses (KRISTINSSON; RAO, 2008; SURANA *et al.*, 2020). No estágio inicial, várias empresas entraram no mercado por meio de mecanismos de cooperação e transferência tecnológica, especialmente *joint ventures* ou licenciamento de tecnologia (ZHOU *et al.*, 2018).

Com o crescimento do mercado doméstico e o fortalecimento proporcionado pela política de conteúdo local, após 2006, os componentes de maior complexidade começaram a ser fabricados pela Suzlon, uma grande OEM indiana, em vez de fornecedores externos (SURANA *et al.*, 2020). Parte do engajamento das empresas multinacionais, que envolveu um volume significativo de IED no país, tanto para manufatura quanto para P&D, pode ser atribuída à atratividade dos baixos custos de capital e mão de obra local, incluindo mão de obra especializada (engenheiros) (HAYASHI, 2018). O mesmo ocorreu no caso do Grupo LM Wind Power, sediado na Dinamarca, ao perceber o potencial indiano diante da sua escassez de engenheiros e técnicos qualificados, fornecendo uma oportunidade para reduzir os custos gerais das atividades do país e oferecendo aos potenciais investidores a perspectiva de grandes lucros (HANSEN *et al.*, 2020).

A formação do mercado chinês, no início dos anos 2000, contou com o apoio do governo e a participação de subsidiárias das principais empresas do setor (Vestas, Gamesa, General Electric, Suzlon, Acciona e Nordex) (ZHAO *et al.*, 2009). Contudo, só após 2006 o mercado chinês começou a tomar fôlego, com a criação de uma série de leis, regulamentos e políticas de apoio (direto e indireto) para o desenvolvimento industrial do setor, além de um pacote de programas e incentivos destinados para P&D (ADAMI *et al.* 2022).

O país tem se esforçado para desenvolver suas indústrias de energia renovável, o que é fundamental para promover a transformação do atual sistema intensivo em carbono (YU *et al.*, 2021). Inicialmente, por não possuir uma indústria local, as turbinas foram majoritariamente importadas. No entanto, com o desenvolvimento do mercado, a indústria de manufatura foi crescendo progressivamente e assumindo uma parcela substancial da capacidade instalada do país (GARSOUS; WORACK, 2022). De acordo com Zhou *et al.* (2012) as empresas chinesas têm usado três principais canais para desenvolver sua capacidade de inovação: licenciamento, P&D conjunto e P&D interno.

Para Ru *et al.* (2012), o surgimento do desenvolvimento industrial eólico no mercado chinês contemplou três principais estratégias: i) inovação imitativa com a importação tecnológica e engenharia reversa; ii) inovação cooperativa com o licenciamento interno, a cooperação *offshoring* (realocação de processos de um setor para outro), fusões, aquisições transversais, assistência de consultores estrangeiros e uma rede global (GPN) de inovação colaborativa entre as principais universidades politécnicas e instituições de pesquisas; e iii)

inovação “nascente”, baseada na internacionalização (HAAKONSSON; KIRKEGAARD, 2016; HAYASHI *et al.*, 2018).

Isso possibilitou, em parte, a construção de *know-how* em componentes da indústria eólica. Nas fases posteriores, com uma maior maturidade acumulada, as *joint ventures* no mercado chinês começaram a ser substituídas por empresas domésticas com o apoio de políticas internas, resultando em uma intensa competição de preços – com o número crescente de fabricantes nacionais – e, conseqüentemente, a redução dos fabricantes estrangeiros no mercado doméstico (GARSOUS; WORACK, 2022; AFEWERLKI; STEEN, 2023). Em geral, as estratégias das empresas chinesas de concentrar-se suas capacidades técnicas em comercialização e expansão, foram mais promissoras do que as estratégias que as *startups* americanas e os fornecedores alemães estabeleceram internamente (NAHM, 2017).

No contexto do mercado sul-africano, o desenvolvimento das atividades eólicas ainda enfrenta inúmeros desafios relacionados aos “aprisionamentos” das atividades *carbon lock-in*. Isto é, até os dias atuais, o setor energético apresenta barreiras impostas pelo sistema energético vigente, majoritariamente intensivo em combustíveis fósseis (FURTADO; PERROT, 2015).

Embora a *startup* I-WEC¹⁹ tenha desenvolvido uma *joint venture* com uma tradicional empresa de fabricação sul-africana de turbinas eólicas, permitindo utilizar as instalações fabris existentes, reduzir seus custos de investimento e operar em uma escala menor e competitiva, parte da fabricação local da África do Sul tem sido destinada a componentes de menor complexidade (como as torres e pás) (MOLDVAY *et al.*, 2013). Os autores Larsen e Hansen (2022) destacam que os principais componentes da *nacelle* (como caixas de engrenagens, rolamentos, geradores, alternadores e componentes de fundição) têm sido majoritariamente importados. Parte desse “aprisionamento” pode ser atribuída à ausência de uma indústria estabelecida no mercado e à forte dependência externa. Para Baker e Sovacool (2017), mesmo que o setor avance, o financiamento provavelmente deixará o país por meio da compra de componentes tecnológicos de empresas estrangeiras.

Nesses casos de fragilidades e/ou ausências internas das capacidades locais (produtivas e tecnológicas), o conhecimento externo não é absorvido e as “janelas de oportunidades” do processo de transição energética não são percebidas. Sem um estágio mínimo de industrialização, os limites impostos à criação de uma política doméstica de conteúdo local para a produção interna dos componentes, por exemplo, podem aumentar o risco dos projetos e, conseqüentemente, elevar seus custos (BAKER; SOVACOOOL, 2017). Larsen e Hansen (2022)

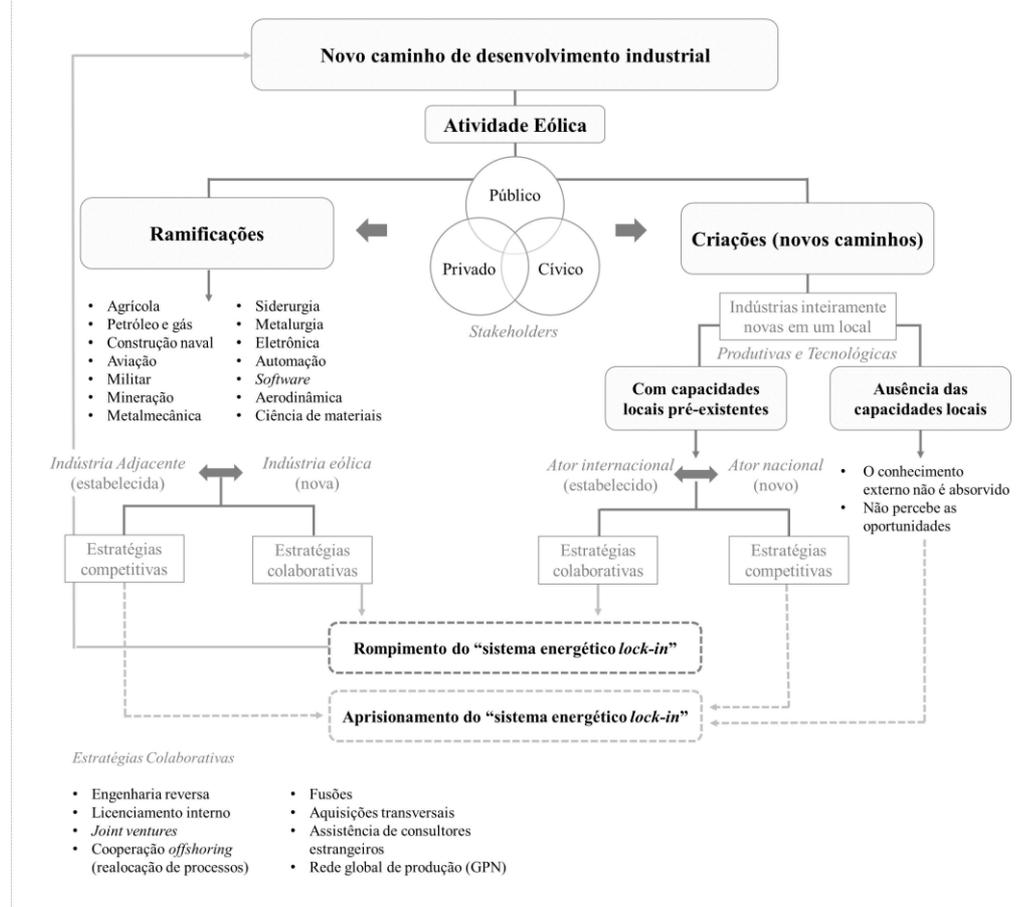
¹⁹ *Isivunguvungu Wind Energy Converter*.

ênfatizam que promover o desenvolvimento industrial eólico por meio da produção local de componentes não é facilmente alcançado, mesmo quando o Estado desempenhe um papel ativo.

Assim, o desenvolvimento de uma indústria eólica local requer mais do que a elaboração de políticas de conteúdo local, necessita também da elaboração de estratégias para a construção de sistemas, como investimentos em produção de conhecimento, ativação de oportunidades de *networks* e facilitação de atividades empreendedoras (LOOS *et al.*, 2022). Para Peuckert *et al.* (2016), há transbordamentos significativos do conhecimento nas relações de comércio exterior, contudo a construção de capacidades tecnológicas depende das capacidades de absorção e das condições do quadro regulatório nos países importadores. Para Grafström (2018), a externalidade positiva do processo de criação tecnológica depende crucialmente da capacidade de compreensão interna, isto é, da capacidade de transformar a tecnologia importada em ganhos de produtividade local.

Por fim, a Figura 4 ilustra os *insights* do desenvolvimento industrial eólico, seja a partir dos canais de ramificação ou da criação de um caminho inteiramente novo. Dentre os casos identificados nos estudos, percebe-se que as principais estratégias utilizadas pelos países para o “rompimento” do “sistema energético *lock-in*” foram de natureza colaborativa, enquanto as estratégias de natureza competitiva reforçaram os padrões existentes, provocando o “aprisionamento” ao “sistema energético *lock-in*”.

Figura 4 – Mecanismos para a construção do desenvolvimento industrial eólico



Fonte: Elaboração própria.

No caso das estratégias de difusão de conhecimento, alguns mecanismos são identificados, com destaque para as *joint ventures*, cooperação em pesquisa ou migração qualificada (PEUCKERT *et al.*, 2016). No entanto, em cenários com ausência de capacidades locais que apresentam aprisionamentos cognitivos, institucionais e tecnológicos baseados em um sistema vigente e obsoleto, carecem de capacidade domésticas para promover mudanças em seu sistema e absorver o conhecimento externo.

- Transformando barreiras em oportunidades: os ensinamentos do setor eólico chinês

De fato, a China tem se tornado um *player* importante que abastece o mercado doméstico. Durante as duas últimas décadas, o país tem mostrado um *catch-up* sem precedentes, chegando a ultrapassar o Reino Unido na capacidade instalada global de energia eólica *offshore* (LAM *et al.*, 2017; JI *et al.*, 2024). Entretanto, ainda não conseguiu inserir-se no mercado global de energia eólica, embora esteja iniciando esse processo, liderado pela empresa Goldwind (YUSTA *et al.*, 2020; GILMANOVA *et al.*, 2021). Essa dificuldade de inserção pode ser

atribuída às barreiras tecnológicas, às falhas de integração industrial e à regulamentação ambiental inadequada (HAAKONSSON; KIRKEGAARD, 2016; JI *et al.*, 2024).

Para Ru *et al.* (2012), a capacidade tecnológica do mercado não se desenvolveu tão rapidamente como a formação do mercado doméstico. Hayashi *et al.* (2018) destacam que, entre 2005 e 2012, a redução no custo unitário da turbina e as melhorias no desempenho da geração e tamanho foram explicadas por diferenças no capital investido e por intensa competição de preços domésticos, em vez de serem impulsionadas pelo aprendizado, sendo este um dos principais desafios persistentes no país.

Para Grafström (2018), as líderes da tecnologia eólica – Dinamarca e Alemanha – estão tão à frente em seus esforços que os demais países podem estar pegando carona. Mesmo que a maior proporção de requerentes de patentes eólicas esteja na China, ainda assim é possível identificar que a capacidade de disseminação de tecnologia das empresas no país é relativamente fraca, com um maior volume de solicitações dentro do próprio país e não em outros países (LAI, 2024). Isso pode ser explicado, em parte, pelo fato de haver um maior volume de pedidos de modelos de utilidade, além do volume de solicitações de patentes no mercado chinês pelas empresas líderes (ZHOU *et al.*, 2012).

Nessa linha, a probabilidade de citação de patentes eólicas na China tem sido inferior à probabilidade de citação de patente de outros países líderes, como Alemanha, Japão, Dinamarca e Estados Unidos. Parte desse resultado pode ser atribuído não só à inserção tardia da China, como também ao estreito espaço para avanços tecnológicos significativos nesse tipo de mercado (LAM *et al.*, 2017).

No que se refere à construção de uma cadeia industrial *offshore*, os desafios são ainda maiores, pois a competitividade internacional da indústria chinesa continua fraca devido à falta de inovação tecnológica e os custos elevados, o que requer o desenvolvimento de políticas mais orientadas (JI *et al.*, 2024). Segundo Karlsen (2018), a formação de cadeias de valor do setor eólico, *onshore* e *offshore*, depende de estruturas políticas, mas está, ao mesmo tempo, sob pressão de mercado. Para Yang *et al.* (2021), quanto maior a credibilidade de um parque eólico, menor a proporção dos custos do preço da eletricidade, o que pode viabilizar economicamente o desenvolvimento de novas tecnologias acopladas a tecnologia eólica, como a produção de hidrogênio.

Não obstante, embora a indústria tenha sido construída com base no conhecimento estrangeiro, pouca atenção foi dada aos padrões internacionais para controle de qualidade de produtos, a fim de atender as necessidades de criação do mercado doméstico em rápida expansão (GILMANOVA *et al.*, 2021). Portanto, é possível identificar alguns desafios crônicos

a serem enfrentados para que se possa aumentar a competitividade da indústria eólica na China, em relação ao mercado europeu estabelecido (ZHAO *et al.*, 2009).

Para Wang (2023), o progresso tecnológico é a maneira mais eficaz de impulsionar o desenvolvimento de alta qualidade das atividades eólicas. Para Jiang *et al.* (2024a), o impacto das políticas no setor ainda não é claro no âmbito da inovação e da produtividade total dos fatores, especialmente por serem aspectos que podem depender da capacidade dinâmica das empresas. Isto é, da capacidade de integração (de recursos de políticas com recursos existentes) e de reconfiguração (realocação de recursos), que podem ser aprimoradas com a adoção da tecnologia digital, por exemplo (JIANG *et al.*, 2024b).

A indústria de turbinas eólicas requer políticas tanto de impulso tecnológico (como o apoio à P&D e transferência de conhecimento tácito, por exemplo), quanto de formação de demanda (como as políticas regulatórias e de atratividade de mercado) (HAYASHI, 2020). Além dos asiáticos, diferentes países adicionaram instrumentos distintos e sofisticados de política industrial aos mecanismos tradicionais de política energética, a fim de estabelecer e proteger indústrias nascentes e estratégicas (LEWIS, 2014).

Para Adami *et al.* (2022), o desenvolvimento do setor, em parte, pode ser atribuído à articulação entre as políticas energéticas, industriais e tecnológicas do país. Essa integração e interdependência recíproca – incluindo outras políticas nacionais, como a de meio ambiente e infraestrutura, por exemplo – têm possibilitado o desenvolvimento de um Sistema Nacional de Inovação (SNI), com suporte financeiro para P&D no país. Diferentemente do caso brasileiro, no qual a política industrial está majoritariamente associada às de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), a política industrial da China tem sido tipicamente coordenada e concebida pelos ministérios associados à indústria.

Segundo Ru *et al.* (2012), a política que favoreceu o desenvolvimento das atividades eólicas na China evoluiu na seguinte sequência: i) construção da base para a inovação tecnológica; ii) incentivos para a transferência de tecnologia; iii) melhorias das capacidades locais de P&D e fabricação; iv) ampliação do mercado doméstico; e v) capacitação de um ambiente aberto para a competição global. Jiang e Liu (2022) destacam a importância de políticas bem delineadas, com mecanismos de supervisão e monitoramento. Ainda segundo os autores, a inovação no setor requer um volume de capital contínuo.

No entanto, um suporte político acima do nível ótimo também poderá reduzir as iniciativas de P&D e inibir o investimento privado nessas atividades pelas empresas (efeito *crowding-out*). Essa intervenção excessiva do governo local pode ampliar o risco de excesso de capacidade industrial o que, segundo Yu *et al.* (2021), entre 2008 e 2016, levou cerca de 81%

das empresas chinesas relataram excesso de capacidade anual, devido ao desequilíbrio de longo prazo entre oferta e demanda. De fato, o apoio político é amplamente considerado uma ferramenta significativa para promover a inovação e o desenvolvimento industrial do setor eólico, porém na medida certa (JI *et al.*, 2024).

Além do papel do Estado como catalizador do interesse privado, são elementos centrais para o desenvolvimento de um mercado industrial eólico emergente: a articulação entre os agentes (como as colaborações multissetoriais e aprendizagem interativa) e a combinação de instrumentos orientados para as atividades do setor (como a mobilização de recursos humanos especializados, a formação de mercados, a disponibilidade de investimentos em infraestrutura e de investimentos em capital financeiro para a maturidade e atratividade do mercado) (BENTO, FONTES, 2019). Não obstante, no curto prazo, a construção de um sistema de incentivos tecnológicos para as empresas fabricantes e operadoras pode encorajar o avanço tecnológico sustentado e mitigar os riscos associados à tecnologia no âmbito local; no longo prazo, a criação de um ecossistema de compartilhamento de conhecimento e o desenvolvimento de um mercado inter-regional de recursos podem promover o desenvolvimento doméstico do setor e reduzir as disparidades existentes (WANG *et al.*, 2023).

Apesar de algumas limitações da presente análise, uma das quais é a falta de elementos quantitativos, a principal contribuição deste trabalho consiste em reunir diferentes experiências do processo de desenvolvimento da indústria eólica, tanto em cenários de países desenvolvidos quanto países em desenvolvimento. Um ponto fundamental da pesquisa é não apenas identificar a existência de agentes multissetoriais e pré-existentes, mas também identificar como interagem, isto é, quais são os mecanismos por detrás das capacidades desenvolvidas para a indústria eólica, quais têm sido mais usuais e quais têm fugido da regra. Em linhas gerais, os resultados são exploratórios por natureza e devem ser vistos como pesquisa inicial, conduzida para discutir os mecanismos associados à criação desse mercado, em cenários com e sem precedente imediato, além de examinar as possíveis lacunas e “janelas de oportunidades” no processo de transição energética em curso.

2.5. Considerações finais

Com os desafios de segurança energética e descarbonização dos sistemas, as tecnologias eólicas, *onshore* e *offshore*, têm sido apontadas como tecnologias competitivas de mercado. Nas duas últimas décadas, entre 2000 e 2020, houve um expressivo crescimento da capacidade instalada global acompanhada de uma abrupta redução nos custos. Parte desse desenvolvimento

pode ser atribuída à disponibilidade de recursos naturais e às estratégias de desenvolvimento industrial adotadas pelas economias. No entanto, o desafio é entender por que alguns países são capazes de transformar, enquanto outros se mantêm “aprisionados” aos sistemas vigentes, e como e por que a “história importa”.

O presente trabalho avança em relação à literatura existente por reunir e ampliar a compreensão sobre os mecanismos associados a criação dessas atividades, em cenários com e sem precedentes imediatos. Também enfatiza as evidências sobre as colaborações multissetoriais e pré-existentes ancoradas nas capacidades (produtivas e tecnológicas) de diferentes economias. A partir dos procedimentos metodológicos de revisão sistemática o presente trabalho reuniu 64 artigos científicos que abordavam a presente temática.

Caracterizadas como atividades de mudanças pequenas e incrementais, os estudos apontam algumas estratégias para “romper” o “aprisionamento” do “sistema energético *lock-in*”, seja a partir das ramificações setoriais ou a partir da criação de caminhos inteiramente novos. Nas ramificações, destaca-se a importância das competências pré-existentes de setores adjacentes para promover a redução dos custos e aumento da maturidade tecnológica do setor eólico, permitindo ganhos de economia de escala. Na criação de novos caminhos sem precedentes imediatos, destaca-se a importância de estruturas facilitadoras e de um ambiente capaz de absorver o conhecimento externo.

O mecanismo de recombinação tecnológica de setores adjacentes tem sido um canal de sinergia e complementariedade crucial para a expansão e a difusão das tecnologias eólicas. Setores como o de petróleo e gás, por exemplo, que são considerados passivos ou resistentes às transições de sustentabilidade, têm direcionado esforços para as atividades *offshore* em diferentes países, o que possibilita ganhos de escopo e escala com o conhecimento acumulado sobre plataformas e fundações flutuantes.

O ponto-chave das ramificações é o tipo de estratégia que será adotada: competitiva ou colaborativa. A “fraqueza dos laços fortes” das indústrias estabelecidas reside no reforço de padrões existentes, o que pode gerar bloqueios ou inflexibilidade ao surgimento de uma nova indústria e portanto, reforçar o “aprisionamento” do “sistema *lock-in*”. Por outro lado, a “força dos laços fortes” dessas indústrias está no reaproveitamento tecnológico, de infraestruturas e do conhecimento acumulado, fatores que incentivam a inovação e criam oportunidades para o *leapfrogging*.

Embora sejam exceções e não a regra, novos caminhos também podem ser viabilizados em ambientes sem precedentes imediatos, mas com capacidades locais pré-existentes (produtivas e tecnológicas), isto é, em um estágio intermediário de industrialização. As

experiências apontam que nesses cenários o desenvolvimento da indústria eólica tem sido impulsionado por atores-chave com capacidades obtidas externamente e, em alguns casos, apoiados por ações do Estado, como a criação de políticas orientadas no caso da China e Índia.

O aprendizado e o conhecimento são imprescindíveis; porém, as inovações do setor são viabilizadas por fortes redes de produtores, fornecedores, atores governamentais e instituições de pesquisa (internos e externos), bem como por *stakeholders*, por meio de estratégias colaborativas, como engenharia reversa, licenciamento interno, *joint ventures*, cooperação *offshoring*, fusões, aquisições transversais, assistência de consultores estrangeiros e GPN.

Na ausência da estratégia de colaboração, e mesmo em ambientes com capacidades locais pré-existentes, criar uma indústria inteiramente nova e isolada do mercado externo pode apresentar um maior nível de risco e incerteza devido às características desse tipo de tecnologia (as quais demandam componentes de diferentes níveis de complexidade), conseqüentemente, esse mercado pode estar mais suscetível aos fracassos e/ou reforço do “aprisionamento” ao “sistema *lock-in*”. Do mesmo modo, em países e/ou regiões que não possuem capacidades mínimas produtivas e tecnologias, o conhecimento externo não é absorvido, e as “janelas de oportunidades” não são identificadas, fazendo com que esses países permaneçam aprisionados ao “sistema *lock-in*” existente, como na África do Sul.

Portanto, destaca-se o papel dos *stakeholders*, tanto dentro do setor quanto entre setores distintos (multissetoriais). Os mercados em estágio inicial apresentaram uma maior dependência dos mecanismos de transferência, pois, para promover o fluxo do conhecimento codificado e tácito é necessária a proximidade entre as empresas, seja geográfica, social ou cognitiva. Os relacionamentos e as redes são elementos-chave para promover o desenvolvimento industrial da atividade eólica e o “rompimento” do “sistema *lock-in*”. Além disso, a importância do aprendizado interno e mútuo na cooperação em P&D revela-se mais proeminente em um estágio de maturidade intermediário da tecnologia.

Portanto, dado que as estratégias de colaborações multissetoriais mostraram ser imprescindíveis para o desenvolvimento das atividades eólicas (tanto no contexto de ramificações quanto da criação de novos caminhos), os governos podem estimular essas cooperações e interações, não apenas com medidas de atração de mercado doméstico, mas também com a criação de um ambiente capacitado para as novas mudanças do setor energético. Algumas iniciativas se destacam, a saber: instrumentos que promovam a interação da hélice tripla nacional, fomentem as iniciativas de CT&I, fortaleçam as GPNs e desenvolvam GVC de alto valor agregado.

As políticas e medidas de incentivo dos principais *players* foram iniciadas antes mesmo do desenvolvimento do mercado, o que destaca a importância da articulação entre a política energética, industrial e tecnológica – não se restringindo apenas a essas políticas –, associadas a distintos elementos necessários para atender o mercado doméstico e/ou externo, bem como à criação de instrumentos de oferta e demanda. Portanto, os governos podem estimular o desenvolvimento do mercado a partir de um conjunto de políticas orientadas às suas competências locais em sinergia com os múltiplos *stakeholders*.

Diante do exposto, uma mensagem-chave de política é, portanto, a necessidade de um ambiente industrial, científico-tecnológico com capacidades locais de identificar e absorver as potencialidades do processo de transição energética. Além disso, os mecanismos de cooperação são identificados como abordagens bem-sucedidas, especialmente por fornecer um veículo de acesso ao conhecimento organizacional tácito – incluindo o de mercado. Portanto, para a criação de caminhos – inteiramente novos ou com as ramificações associadas ao aproveitamento tecnológico –, o conhecimento pré-existente e as estratégias de cooperação dentro e entre setores são essenciais para o desenvolvimento industrial eólico.

Referências

- ADAMI, Vivian; *et al.* Regional industrial policy in the wind energy sector: The case of the State of Rio Grande do Sul, Brazil. **Energy Policy**, v. 111, p. 18–27, 2017. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.08.050
- ADAMI, Vivian; *et al.* Public policies and their influence on the development of the wind industry: comparisons between Brazil and China. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 24, p. 2621–2638, 2022. DOI: 10.1007/s10098-022-02341-x
- AFEWERKI, Samson; STEEN, Markus. Gaining lead firm position in an emerging industry: A global production networks analysis of two Scandinavian energy firms in offshore wind power. **Competition & Change**, v. 27, n. 3-4, p. 551–574, 2023. DOI: 10.1177/10245294221103072
- ANDERSEN, Poul; *et al.* Industry evolution, submarket dynamics and strategic behaviour among firms in offshore wind energy. **Competition & Change**, v. 21, n. 2, p. 73–93, 2017. DOI: 10.1177/1024529416689793
- ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v.11, p. 959–975, 2017. DOI: 10.1016/j.joi.2017.08.007
- AWATE, Snehal; *et al.* EMNE catch-up strategies in the wind turbine industry: Is there a trade-off between output and innovation capabilities? **Global Strat Journal**, v. 2, p. 205–223, 2012. DOI: 10.1111/j.2042-5805.2012.01034.x

- BALLAND, Pierre-Alexandre; RIGBY, David. The Geography of Complex Knowledge. **Economic Geography**, v. 93, n. 1, p. 1-23, 2017. DOI: 10.1080/00130095.2016.1205947
- BALLAND, Pierre-Alexandre; *et al.* Proximity and Innovation: From Statics to Dynamics. **Regional Studies**, 2014. DOI: 10.1080/00343404.2014.883598
- BAKER, Lucy; SOVACOOOL, Benjamin. The political economy of technological capabilities and global production networks in South Africa's wind and solar photovoltaic (PV) industries. **Political Geography**, v. 60, p. 1-12, 2017. DOI: 10.1016/j.polgeo.2017.03.003
- BARBIERI, Nicolás; *et al.* Specialization, Diversification, and Environmental Technology Life Cycle. **Economic Geography**, v. 96, n. 2, p. 161-186, 2020. DOI: 10.1080/00130095.2020.1721279
- BEAUDRY, Catherine; SCHIFFAUEROVA, Andrea. Who's right, Marshall or Jacobs? The localization versus urbanization debate. **Research Policy**, n. 38, p. 318–337, 2009. DOI: 10.1016/j.respol.2008.11.010
- BENTO, Nuno; FONTES, Margarida. Emergence of floating offshore wind energy: Technology and industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 99, p. 66–82, 2019. DOI: 10.1016/j.rser.2018.09.035
- BELMARTINO, Andrea. **Green & non-green relatedness: challenges and diversification opportunities for regional economies in Argentina**. Discussion Paper Series in Regional Science & Economic Geography, n. 03, 2022.
- BERROCAL, Gabriela; *et al.* Opportunities for cross-fertilisation between the shipbuilding industry and the emergent offshore wind energy sector in Colombia: an overview of floating platform technologies. **Revista Ingeniería Solidaria**, v. 17, n. 2, 2021. DOI: 10.16925/2357-6014.2021.02.05
- BOSCHMA, Ron. Proximity and Innovation: A Critical Assessment. **Regional Studies**, v. 39, n. 1, p. 61-74, 2005. DOI: 10.1080/0034340052000320887
- BOSCHMA, Ron; *et al.* Towards a theory of regional diversification: combining insights from Evolutionary Economic Geography and Transition Studies. **Regional Studies**, 2017. DOI: 10.1080/00343404.2016.1258460
- BOSCHMA, Ron; FRENKEN, Koen. Why is economic geography not an evolutionary science? Towards an evolutionary economic geography. **Journal of Economic Geography**, v. 6, p. 273–302, 2006. DOI: 10.1093/jeg/lbi022
- BOSCHMA, Ron; FRENKEN, Koen. The Spatial Evolution of Innovation Networks: A Proximity Perspective. **Department of Economic Geography: Faculty of Geosciences**, 2010.

- BROEKEL, Tom; BOSCHMA, Ron. Knowledge networks in the Dutch aviation industry: the proximity paradox. **Journal of Economic Geography**, v. 12, n. 2, p. 409-433, 2012. DOI: 10.1093/jeg/lbr010
- BUEN, Jorund. Danish and Norwegian wind industry: The relationship between policy instruments, innovation and diffusion. **Energy Policy**, v. 34, p. 3887–3897, 2006. DOI: 10.1016/j.enpol.2005.09.003
- CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Periodicos**. Disponível em: <https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php/acao-cafe.html>. Acesso em janeiro de 2023.
- CARPENTER, Juliet; *et al.* Innovation and new path creation: The role of niche environments in the development of the wind power industry in Germany and the UK. **European Spatial Research and Policy**, v. 19, 2012. DOI: 10.2478/v10105-012-0016-5
- CEIPEK, René; *et al.* Technological Diversification: A Systematic Review of Antecedents, Outcomes and Moderating Effects. **International Journal of Management Reviews**, v. 21, p. 466–497, 2019. DOI: 10.1111/ijmr.12205
- CHANG, Victor; *et al.* The market challenge of wind turbine industry-renewable energy in PR China and Germany. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 166, n. 120631, 2021. DOI: 10.1016/j.techfore.2021.120631
- CHEN, Yantai; *et al.* Evolution of collaborative innovation network in China's wind turbine manufacturing industry. **Int. J. Technology Management**, v. 65, n. 1/2/3/4, 2014. DOI: 10.1504/IJTM.2014.060954
- COENEN, Lars; *et al.* Toward a spatial perspective on sustainability transitions. **Research Policy**, v. 41, p. 968–979, 2012. DOI: 10.1016/j.respol.2012.02.014
- COOKE, Philip. Transition regions: Regional–national eco-innovation systems and strategies. **Progress in Planning**, v. 76, p. 105–146, 2011. DOI: 10.1016/j.progress.2011.08.002
- DENYER, David; TRANFIELD, David. Producing a systematic review. In D. A. Buchanan & A. Bryman (Eds.), **The Sage handbook of organizational research methods** (pp. 671–689). **Sage Publications Ltd**, 2009.
- DAWLEY, Stuart. Creating New Paths? Offshore Wind, Policy Activism, and Peripheral Region Development. **Economic Geography**, v. 90, n. 1, p. 91-112, 2014. DOI: 10.1111/ecge.12028
- DOSI, Giovanni. Technological paradigms and technological trajectories A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, v. 11, p. 147-162, 1982. DOI: 10.1016/0048-7333(82)90016-6
- ESSLETZBICHLER, Jürgen; RIGDY, David. Exploring evolutionary economic geographies. **Journal of Economic Geography**, 7, p. 549–571, 2007. DOI:10.1093/jeg/lbm022

- FELDMAN, Maryann; KOGLER, Dieter. Stylized Facts in the Geography of Innovation. **Handbooks in Economics**, v. 01, 2010. DOI: 10.1016/S0169-7218(10)01008-7.
- FURTADO, André; PERROT, Radhika. Innovation dynamics of the wind energy industry in South Africa and Brazil: technological and institutional lock-ins. **Innovation and Development**, v. 5, n. 2, p. 263-278, 2015. DOI: 10.1080/2157930X.2015.1057978
- FISCHER, Jonas. *et al.* Stakeholder Collaboration in Energy Transition: Experiences from Urban Testbeds in the Baltic Sea Region. **Sustainability**, v. 12, n. 9645, 2020. DOI: 10.3390/su12229645
- FRENKEN, Koen; BOSCHMAN, Ron. A theoretical framework for evolutionary economic geography: industrial dynamics and urban growth as a branching process. **Journal of Economic Geography**, v. 7, p. 635–649, 2007. DOI:10.1093/jeg/lbm018
- GARSOUS, Grégoire; WORACK, Stephan. Technological expertise as a driver of environmental technology diffusion through trade: Evidence from the wind turbine manufacturing industry. **Energy Policy**, v. 162, p. 112799, 2022. DOI: 10.1016/j.enpol.2022.112799
- GEBAUER, Heiko; BINZ, Christian. Regional benefits of servitization processes: evidence from the wind-to-energy industry. **Regional Studies**, v. 53, n. 3, p. 366-375, 2019. DOI: 10.1080/00343404.2018.1479523
- GERTLER, Meric. Tacit knowledge and the economic geography context, or the undefinable tacitness of being (there). **Journal of Economic Geography**, v. 3, p. 75–99, 2003. DOI: 10.1093/jeg/3.1.75
- GIBBS, David; O'NEILL, Kirstie. Future green economies and regional development: a research agenda. **Regional Studies**, 2016. DOI: 10.1080/00343404.2016.1255719
- GIBBS, David; JENSEN, Paul. Chasing after the wind? Green economy strategies, path creation and transitions in the offshore wind industry. **Regional Studies**, v. 56, n. 10, p. 1671-1682, 2022. DOI: 10.1080/00343404.2021.2000958
- GILMANOVA, Alina; *et al.* Building an internationally competitive concentrating solar power industry in China: lessons from wind power and photovoltaics. **Economics, Planning, and Policy**, v. 16, n. 6, p. 515-541, 2021. DOI: 10.1080/15567249.2021.1931563
- GLOWIK, Mario; *et al.* A cluster analysis of the global wind power industry: Insights for renewable energy business stakeholders and environmental policy decision makers. **Business Strategy and the Environment**, v. 1, n. 12, 2022. DOI: 10.1002/bse.3268
- GRAFSTRÖM, Jonas. International knowledge spillovers in the wind power industry: evidence from the European Union. **Economics of Innovation and New Technology**, v. 27, n. 3, p. 205–224, 2018. DOI: 10.1080/10438599.2017.1328778

- GRILLITSCH, Markus; HANSEN, Teis. Green industry development in different types of regions. **European Planning Studies**, v. 27, n. 11, p. 2163-2183, 2019. DOI: 10.1080/09654313.2019.1648385
- HAAKONSSON, Stine; KIRKEGAARD, Julia. Configuration of technology networks in the wind turbine industry. A comparative study of technology management models in European and Chinese lead firms. **Int. J. Technology Management**, v. 70, n. 4, 2016. DOI: 10.1504/IJTM.2016.075892
- HAAKONSSON, Stine; SLEPNIOV, Dmitriy. Technology Transmission Across National Innovation Systems: The Role of Danish Suppliers in Upgrading the Wind Energy Industry in China. **European Journal Development Research**, v. 30, p. 462-480, 2018. DOI: 10.1057/s41287-018-0128-5
- HAIN, Daniel; *et al.* From catching up to industrial leadership: towards an integrated market-technology perspective. An application of semantic patent-to-patent similarity in the wind and EV sector. **Industrial and Corporate Change**, v. 29, n. 5, p. 1233-1255, 2020. DOI: 10.1093/icc/dtaa021
- HANSEN, Ulrich; *et al.* Innovation capability building in subsidiaries of multinational companies in emerging economies: Insights from the wind turbine industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, p. 118746, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118746
- HAYASHI, Daisuke. Knowledge flow in low-carbon technology transfer: A case of India's wind power industry. **Energy Policy**, v. 123, p. 104-116, 2018. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.08.040
- HAYASHI, Daisuke; *et al.* Gone with the wind: A learning curve analysis of China's wind power industry. **Energy Policy**, v. 120, p. 38-51, 2018. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.05.012
- HAYASHI, Daisuke. Harnessing innovation policy for industrial decarbonization: Capabilities and manufacturing in the wind and solar power sectors of China and India. **Energy Research & Social Science**, v. 70, p. 101644, 2020. DOI: 10.1016/j.erss.2020.101644
- HEIDENREICH, Martin; MATTES, Jannika. Knowledge generation and diffusion in the German wind energy industry. **Industrial and Corporate Change**, v. 31, p. 1285-1306, 2022. DOI: 10.1093/icc/dtac022
- HIDALGO, César. The Principle of Relatedness. In: **Morales et al. (Eds.): ICCS 2018, SPCOM**, p. 451-457, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-96661-8_46
- HONG, Cheng-Yih; CHANG, Hsiu-Ching. Comparing the Impact of Wind Power and Solar Power Investment on Industrial Development: Application of Dynamic Energy Industry-related Models. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 9, n. 6, p. 38-44, 2019. DOI: 10.32479/ijeep.8152
- HSIAO, Cody; *et al.* Evaluation of contagious effects of China's wind power industrial policies. **Energy**, v. 238, n. 121760, 2022. DOI: 10.1016/j.energy.2021.121760

- IRFAN, Muhammad; *et al.* Critical factors influencing wind power industry: A diamond model-based study of India. **Energy Reports**, v. 5, p. 1222-1235, 2019a. DOI: 10.1016/j.egyr.2019.08.068
- IRFAN, Muhammad; *et al.* Competitive assessment of Indian wind power industry: A five forces model. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 11, n. 063301, 2019b. DOI: 10.1063/1.5116237
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Wind energy**. International Renewable Energy Agency, 2024. Disponível em: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Wind-energy>. Acesso em julho de 2023.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, v. 01, 2023.
- JAFFE, Adam; *et al.* Localização geográfica de repercussões de conhecimento conforme evidenciado por citações de patentes. **Jornal Trimestral de Economia**, v. 108, p. 577–598, 1993.
- JACOBS, Jane. Strategies for Helping Cities. **The American Economic Review**, v. 59, n. 4, p. 652-656, 1969.
- Ji, Jianyue; *et al.* The blue treasure of hydrogen energy: A research of offshore wind power industry policy in China. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 62, p. 99–108, 2024. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2024.03.009
- JIANG, Zihao; LIU, Zhiying. A wedge or a weight? The effect of policy on the productive efficiency of the Chinese wind power industry. **Renewable Sustainable Energy**, v. 13, n. 045901, 2021. DOI: 10.1063/5.0051214
- JIANG, Zihao; LIU, Zhiying. Policies and exploitative and exploratory innovations of the wind power industry in China: The role of technological path dependence. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 177, n. 121519, 2022. DOI: 10.1016/j.techfore.2022.121519
- JIANG, Zihao; *et al.* Policy, Innovation, and Total Factor Productivity of the Chinese Wind Power Industry: Does Dynamic Capability Matter? **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, 2024a. DOI: 10.1109/TEM.2022.3214435.
- JIANG, Zihao; *et al.* Digitalization and productivity in the Chinese wind power industry: the serial mediating role of reconfiguration capability and technological innovation. **Business Process Management Journal**, v. 3, n. 1, p. 26-53, 2024b. DOI: 10.1108/BPMJ-12-2023-0943
- JOLLY, Suyash; *et al.* Renewable energy and industrial development in pioneering and lagging regions: the offshore wind industry in southern Denmark and Normandy. **Oxford Open Energy**, v. 2, p. 1–11, 2023. DOI: 10.1093/ooenergy/oiad010

- KARLSEN, Asbjørn. Framing industrialization of the offshore wind value chain – A discourse approach to an event. **Geoforum**, v. 88, p. 148–156, 2018. DOI: 10.1016/j.geoforum.2017.11.018
- KELLER, Matthew; NEGOITA, Marian. Correcting Network Failures: The Evolution of US Innovation Policy in the Wind and Advanced Battery Industries. **Competition and change**, v. 17, n. 4, 2013. DOI: 10.1179/1024529413Z.000000000041
- KITCHENHAM, Barbara. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. Keele University, 2004.
- KRISTINSSON, Kari; RAO, Rekha. Interactive Learning or Technology Transfer as a Way to Catch-Up? Analysing the Wind Energy Industry in Denmark and India. **Industry and Innovation**, v. 15, n. 3, p. 297–320, 2008. DOI: 10.1080/13662710802040903
- KOŁAKOWSKI, Paweł; RUTKOWSKI, Grzegorz. The Analysis of Offshore Industry Transition - Acceleration from Oil & Gas to Wind. **The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation**, v. 16, n. 2, 2022. DOI: 10.12716/1001.16.02.20
- KÖHLER, Jonathan; *et al.* An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 31, p. 1–32, 2019. DOI: 10.1016/j.eist.2019.01.004
- LACAL-ARÁNTGUI, Roberto. Globalization in the wind energy industry: contribution and economic impact of European companies. **Renewable Energy**, v. 134, p. 612-628, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.087>
- LAI, Ming-Liang. Using Patent Data to Evaluate the Knowledge Dissemination of the Offshore Wind Power Industry. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, 2024. DOI: 10.1109/TEM.2023.3277481
- LAM, Long; *et al.* China's wind industry: Leading in deployment, lagging in innovation. **Energy Policy**, v. 106, p. 588–599, 2017. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.03.023.
- LARSEN, Thomas; HANSEN, Ulrich. Sustainable industrialization in Africa: the localization of wind-turbine component production in South Africa. **Innovation and Development**, v. 12, n. 2, p. 189–208, 2022. DOI: 10.1080/2157930X.2020.1720937.
- LEWIS, Joanna. Industrial policy, politics and competition: Assessing the post-crisis wind power industry. **Business and Politics**, v. 16, n. 4, p. 511 – 547, 2014. DOI: 10.1515/bap-2014-0012. DOI: 10.1515/bap-2014-0012
- LEMA, Rasmus; PEREZ, Carlota. The green transformation as a new direction for techno-economic development. **UNU-MERIT Working Papers**, 2024.
- LI, Cun-Bin; *et al.* Comprehensive assessment of flexibility of the wind power industry chain. **Renewable Energy**, v. 74, p.18-26, 2015. DOI: 10.1016/j.renene.2014.07.045

- LIU, Weiwei; *et al.* Exploring the patent collaboration network of China's wind energy industry: A study based on patent data from CNIPA. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 144, n. 110989, 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2021.110989
- LOOS, Adriaan; *et al.* Developing local industries and global value chains: The case of offshore wind. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 174, n. 121248, 2022. DOI: 10.1016/j.techfore.2021.121248
- LOORBACH, Derk. Sustainability Transitions Research: Transforming Science and Practice for Societal Change. **Annual Review of Environment and Resources**, p. 599–626, 2017. DOI: 10.1146/annurev-environ-102014-021340
- LOSACKER, Sebastian. The geography of environmental innovation: A critical review and agenda for future research. **Innovation Studies**, n. 15, 2021. DOI: 10.1007/s10037-023-00193-6
- LUNDVALL, Bengt-Åke. National Innovation Systems: Analytical Concept and Development Tool. **Industry and Innovation**, v. 14, n. 1, p. 95-119, 2007. DOI: 10.1080/13662710601130863
- MARTIN, Ron; SUNLEY, Peter. Path dependence and regional economic evolution. **Journal of Economic Geography**, v. 6, p. 395–437, 2006. DOI: 10.1093/jeg/1bl012
- MALCZYK, Tomasz. Consistency of the Wind Power Industry, Including the Process of Sustainable Planning and Space Management. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 25, n. 2, p. 699-707, 2016. DOI: 10.15244/pjoes/60728
- MÄKITIE, Tuukka. Corporate entrepreneurship and sustainability transitions: resource redeployment of oil and gas industry firms in floating wind power. **Technology Analysis & Strategic Management**, v. 32, n. 4, p. 474-488, 2020. DOI: 10.1080/09537325.2019.1668553
- MÄKITIE, Tuukka; *et al.* Established sectors expediting clean technology industries? The Norwegian oil and gas sector's influence on offshore wind power. **Journal of Cleaner Production**, v. 177, p. 813-823, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.209
- MÄKITIE, Tuukka; *et al.* The green flings: Norwegian oil and gas industry's engagement in offshore wind power. **Energy Policy**, v. 127, p. 269–279, 2019. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.12.015
- MAZZUCATO, Mariana. **O Estado Empreendedor: Desmascarando o Mito do Setor Público vs. Setor Privado**. São Paulo: Portfolio Perquin, 2014.
- MAZZUCATO, Mariana; PEREZ, Carlota. **Redirecting Growth: Inclusive, sustainable and innovation led**. UCL Institute for Innovation and Public Purpose, Working Paper Series (IIPP WP 2022-16), 2022.
- MENZEL, Max-Peter; ADRIAN, Markus. Modularisation and spatial dynamics in the windturbine industry: the example of firm relocations to Hamburg. **Economy and Society**, v. 11, p. 297–315, 2018. DOI: 10.1093/cjres/rsy014

- MOLDVAY, János; *et al.* Assessing opportunities and constraints related to different models for supplying wind turbines to the South African wind energy industry. **Development Southern Africa**, v. 30, n. 3, p. 315-331, 2013. DOI: 10.1080/0376835X.2013.817305
- NAHM, Jonas. Renewable futures and industrial legacies: Wind and solar sectors in China, Germany, and the United States. **Business and Politics**, v. 19, n. 1, p. 68–106, 2017. DOI: 10.1017/bap.2016.5
- NEWELL, Peter. Transformismo or transformation? The global political economy of energy transitions. **Review of International Political Economy**, 2018. DOI: 10.1080/09692290.2018.1511448
- NELSON, Richard; WINTER, Sidney. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982.
- NEFFKE, Frank; *et al.* How Do Regions Diversify over Time? Industry Relatedness and the Development of New Growth Paths in Regions. **Economic Geography**, v. 87, n. 3, p. 237-265, 2015. DOI: 10.1111/j.1944-8287.2011.01121.x
- NILSEN, Trond; NJØS, Rune. Emergence of new industries in peripheral regions: the role of narratives in delegitimation of onshore wind in the Arctic Finnmark region. **Regional Studies, Regional Science**, v. 9, n. 1, p. 603-617, 2022. DOI: 10.1080/21681376.2022.2122863
- NINNI, Augusto; *et al.* How home and host country industrial policies affect investment location choice? The case of Chinese investments in the EU solar and wind industries. **Journal of Industrial and Business Economics**, v. 47, p. 531–557, 2020. DOI: 10.1007/s40812-020-00152-z
- NOWAKOWSKI, Gary; LOOMIS, Davis. The Power of Economies of Scale: A Wind Industry Case Study. **Strategic Planning for Energy and the Environment**, v. 42, n. 3, p. 491 – 528, 2023. DOI: 10.13052/spee1048-5236.4234
- OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. **Manual de Oslo**. Organization for Economic Co-operation and Development, 1997.
- PACHECO, Desirée; *et al.* The Coevolution of Industries, Social Movements, and Institutions: Wind Power in the United States. **Organization Science**, v. 25, n. 6, p. 1609-1632, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1287/orsc.2014.0918>
- PEUCKERT, Jan; *et al.* The role of international trade for the global build-up of innovation capabilities in the wind industry. **Innovation and Development**, v. 6, n. 1, p. 103-121, 2016. DOI: 10.1080/2157930X.2015.1116965
- PEREZ, Carlota. Technological revolutions and techno-economic paradigms. **Technology Governance and economic dynamics**, n. 20, p. 1–26, 2009. DOI: 10.1093/cje/bep051

- PITTAWAY, Luke; *et al.* Networking and innovation: a systematic review of the evidence. **International Journal of Management Reviews**, v. 5-6, n. 3-4, p. 137–168, 2004. DOI: 10.1111/j.1460-8545.2004.00101.x
- PUEYO, Ana; *et al.* The role of technology transfer for the development of a local wind component industry in Chile. **Energy Policy**, v. 39, p. 4274–4283, 2011. DOI: 10.1016/j.enpol.2011.04.045
- QUITZOW, Rainer; *et al.* Development trajectories in China's wind and solar energy industries: How technology-related differences shape the dynamics of industry localization and catching up. **Journal of Cleaner Production**, v. 158, p. 122-133, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.130>
- RODRIK, Dani. Green Industrial Policy. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 30, n. 3, p. 469–49, 2014. DOI: 10.1093/oxrep/gru025
- RU, Peng; *et al.* Behind the development of technology: The transition of innovation modes in China's wind turbine manufacturing industry. **Energy Policy**, v. 43, p. 58–69, 2012. DOI: 10.1016/j.enpol.2011.12.025.
- SCHUMPETER, Joseph. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico**. 1997.
- STEEN, Markus. Reconsidering path creation in economic geography: aspects of agency, temporality and methods. **European Planning Studies**, v. 24, n. 9, p. 1605-1622, 2016. DOI: 10.1080/09654313.2016.1204427
- STEEN, Markus; HANSEN, Gard. Barriers to Path Creation: The Case of Offshore Wind Power in Norway. **Economic Geography**, v. 94, n. 2, p. 188-210, 2018. DOI: 10.1080/00130095.2017.1416953
- STOERRING, Dagmara; HVELPLUND, Frede. Wind energy development as a part of Poland's industrial development. **Thermal Science**, v. 11, n. 3, p. 101-113, 2007. DOI: 10.2298/TSCI0703101S
- SIMMIE, James. Path Dependence and New Technological Path Creation in the Danish Wind Power Industry. **European Planning Studies**, v. 20, n. 5, 2012.
- SIMMIE, James; *et al.* New technological path creation: evidence from the British and German wind energy industries. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 24, p. 875–904, 2014. DOI: 10.1007/s00191-014-0354-8
- SMITH, Kyle. The Danish wind industry 1980–2010: Lessons for the British marine energy industry. **International Journal of the Society for Underwater Technology**, v. 30, n. 1, p. 27–33, 2011. DOI: 10.3723/ut.30.027
- SILVA, Pedro; KLAGGE, Britta. The Evolution of the Wind Industry and the Rise of Chinese Firms: From Industrial Policies to Global Innovation Networks. **European Planning Studies**, v. 21, n. 9, p. 1341-1356, 2013. DOI: 10.1080/09654313.2012.756203

- SOVACOO, Benjamin; ENEVOLDSEN, Peter. One style to build them all: Corporate culture and innovation in the offshore wind industry. **Energy Policy**, v. 86, p. 402–415, 2015. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.07.015
- SURANA, Kavita; *et al.* Effects of technology complexity on the emergence and evolution of wind industry manufacturing locations along global value chains. **Nature Energy**, v. 5, p. 811–821, 2020. DOI: 10.1038/s41560-020-00685-6
- TANG, Tian. Explaining technological change in the US wind industry: Energy policies, technological learning, and collaboration. **Energy Policy**, v. 120, p. 197–212, 2018. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.05.016
- THEYEL, Gregory. Spatial Processes of Industry Emergence: US Wind Turbine Manufacturing Industry. **European Planning Studies**, v. 20, n. 5, p. 857-870, 2012. DOI: 10.1080/09654313.2012.667929
- TRANFIELD, David; *et al.* Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, p. 207–222, 2003. DOI: 10.1111/1467-8551.00375
- TRIPPL, Michaela; *et al.* Exogenous sources of regional industrial change: Attraction and absorption of non-local knowledge for new path development. **Progress in Human Geography**, v. 1, n. 19, 2017. DOI: 10.1177/0309132517700982
- TRUFFER, Bernhard; COENEN, Lars. Environmental Innovation and Sustainability Transitions in Regional Studies. **Regional Studies**, v. 46, n. 1, p. 1-21, 2012. DOI: 10.1080/00343404.2012.646164
- TRUFFER, Bernhard; *et al.* The geography of sustainability transitions contours of an emerging theme. **Environ. Innovation Soc. Transitions**, 2015. DOI: 10.1016/j.eist.2015.07.004
- WANG, Yadong; *et al.* Sustainable development pathways of China's wind power industry under uncertainties: Perspective from economic benefits and technical potential. **Energy Policy**, v. 182, n. 113737, 2023. DOI: 10.1016/j.enpol.2023.113737
- YANG, Shuxia; *et al.* Discussion on the Feasibility of the Integration of Wind Power and Coal Chemical Industries for Hydrogen Production. **Sustainability**, v. 13, n. 11628, 2021. DOI: 10.3390/su132111628
- YU, Shiwei; *et al.* Determinants of overcapacity in China's renewable energy industry: Evidence from wind, photovoltaic, and biomass energy enterprises. **Energy Economics**, v. 97, n. 105056, 2021. DOI: 10.1016/j.eneco.2020.105056
- YUSTA, Jose; *et al.* Measuring the internationalization of the wind energy industry. **Renewable Energy**, v. 157, p. 593-604, 2020. DOI: 10.1016/j.renene.2020.05.053
- ZHAO, Zhen-Yu; *et al.* Performance of wind power industry development in China: A Diamond Model study. **Renewable Energy**, v. 34, p. 2883–2891, 2009. DOI: 10.1016/j.renene.2009.06.008

ZHANG, Xiliang; *et al.* China's wind industry: policy lessons for domestic government interventions and international support. **Climate Policy**, v. 9, n. 5, p. 553-564, 2009. DOI: 10.3763/cpol.2009.0641

ZHANG, Jing; *et al.* The impact of competition strength and density on performance: The technological competition networks in the wind energy industry. **Industrial Marketing Management**, v. 82, p. 213–225, 2019. DOI: 10.1016/j.indmarman.2019.01.011

ZHOU, Yuanchun; *et al.* Joint R&D in low-carbon technology development in China: A case study of the wind-turbine manufacturing industry. **Energy Policy**, v. 46, p. 100–108, 2012. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.03.037

ZHOU, Yuan; *et al.* Comparing the International Knowledge Flow of China's Wind and Solar Photovoltaic (PV) Industries: Patent Analysis and Implications for Sustainable Development. **Sustainability**, v. 10, n. 1883, 2018. DOI: 10.3390/su10061883

ZHOU, Zhengke; *et al.* Geographies of green industries: The interplay of firms, technologies, and the environment. **Progress in Human Geography**, v. 47, n. 5, p. 680–698, 2023. DOI: 10.1177/03091325231188377

ZHU, Shengjun; *et al.* How to jump further and catch up? Path-breaking in an uneven industry space. **Journal of Economic Geography**, v. 17, p. 521–545, 2017. DOI: 10.1093/jeg/lbw047

CAPÍTULO 2

POLÍTICA INDUSTRIAL E OS ESTÍMULOS PARA O SETOR EÓLICO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAÍSES DA AMÉRICA DO SUL E OS *PLAYERS* DO MERCADO

Resumo

Apesar da corrida global para eliminar os combustíveis fósseis até 2050 e do alto potencial da energia eólica para a mitigação das mudanças climáticas, os países da América do Sul ainda enfrentam desafios na transformação de seus sistemas energéticos. O objetivo deste ensaio é identificar os fatores associados e os caminhos condicionantes para a especialização no setor eólico, à luz da perspectiva comparativa entre os países da América do Sul e os *players* do mercado *onshore*. A análise procede de uma estratégia metodológica que combina a construção do indicador de Quociente Locacional (QL) com técnicas de análise multivariada, como a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise Qualitativa Comparativa (QCA). O período de análise corresponde aos anos de 2010, 2015 e 2020. Os resultados do QL indicam que, além dos países *players* do mercado (Alemanha, China, Estados Unidos e Índia), Uruguai, Brasil, Chile e Argentina também apontam especialização e indícios de especialização em energia eólica, sendo o Brasil o sexto país de maior capacidade instalada globalmente. Os fatores “*carbon lock-in*” e “dependência e investimento energético” foram extraídos na PCA e, posteriormente, aplicados na QCA em complemento a “velocidade média de vento”. A configuração resultante aponta que, além das condições naturais do país, os fatores associados à intensidade de carbono e à dependência energética externa são condicionantes que levam os países a se especializarem em energia eólica. Parte disso pode ser explicada pela competitividade promovida pela redução dos custos da tecnologia eólica, bem como pela ampliação dos investimentos direcionados às atividades renováveis e pela redução dos subsídios para combustíveis fósseis. No entanto, esses aspectos ainda apresentam fragilidades nos países da América do Sul, quando comparados com os países *players*. Portanto, para estimular um cenário condizente com as potencialidades indicadas no setor, torna-se imprescindível não apenas solucionar esses gargalos, mas também promover o desenvolvimento de instrumentos e a articulação entre as políticas energéticas e industriais, de modo a canalizar tais potencialidades para a transformação estrutural dessas economias.

Palavras-chave: Política industrial; Indicadores; *carbon lock-in*; Setor eólico; América do Sul.

3.1. Introdução

Nos últimos anos, as preocupações com as mudanças climáticas antropogênicas (variações de temperatura, secas, inundações, elevação do nível do mar e outras catástrofes), a escassez de recursos naturais (crises do petróleo) e os desafios sociais e econômicos (desemprego e segurança energética) têm destacado as fontes renováveis de energia como tecnologias-chave para um novo paradigma verde no sistema energético (KERN *et al.*, 2014; IRENA, 2021a; REN21, 2023). Contudo, para romper com o “aprisionamento” do atual sistema

intensivo em carbono (*carbon lock-in*) (KÖHLER *et al.*, 2019; MAZZUCATO; PEREZ, 2022) e limitar o aquecimento global de 1,5°C até 2050²⁰, acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2022), será necessário o aumento do esforço global, associado à combinação de políticas indutoras da transformação estrutural e de um maior volume de investimentos em tecnologias renováveis (MAZZUCATO, 2014; DELEIDI *et al.*, 2020; IRENA, 2023).

Esses esforços têm sido cada vez mais viabilizados por diversos países, por meio de incentivos direcionados tanto para o lado da oferta (crédito, tarifas, subsídios, financiamento e outros) quanto para o lado da demanda do mercado (normas, leis, regulamentos e outros) (MAZZUCATO, 2014; REN21, 2023). Não obstante, observa-se a criação de políticas que associam os mecanismos tradicionais de políticas energéticas aos instrumentos distintos e sofisticados de política industrial (LEWIS, 2014; HAYASHI, 2020). A política industrial com enfoque moderno é entendida como um instrumento direcionado para identificar áreas onde as ações políticas farão à diferença, visando atividades e não setores (RODRIK, 2004; RODRIK, 2014; AIGINGER; RODRIK, 2020). Esse tipo de política exige uma implementação de instrumentos específicos que vão além do conjunto de ferramentas das políticas tradicionais (TAGLIAPIETRA, 2022). No entanto, a combinação de políticas indutoras da transformação do sistema e a forma como a política industrial verde será conduzida está relacionada aos estágios de desenvolvimento dos países (UNCTAD, 2023).

O cenário energético em transformação tem oferecido uma “janela de oportunidade”, especialmente para promover o *catch-up* dos países que possuem disponibilidade de recursos naturais para as tecnologias renováveis (MAZZUCATO, 2014; UNCTAD, 2023). Durante as duas últimas décadas (2000-2020), o desenvolvimento do setor eólico tem ganhado fôlego, especialmente devido à abrupta redução nos custos da tecnologia, quando comparada a outras fontes energéticas, ao baixo nível de emissões de dióxido de carbono (CO₂) e à capacidade de geração de empregos nas fases de instalação, operação e manutenção (IEA, 2023a; IRENA, 2024). Isto é, tanto a tecnologia em terra firme (*onshore*) quanto em alto mar (*offshore*) têm apresentado competitividade econômica, social e climática.

As abordagens anteriores apontam evidências dos benefícios na indústria doméstica dos países que viabilizaram o setor eólico em maior escala (FORNAHL, 2012; ZHANG *et al.*, 2013; PEGELS; LÜTKENHORST, 2014; NAHM, 2017). No entanto, poucos estudos discutem quais fatores que têm sido associados à especialização no setor eólico, especialmente no que tange aos instrumentos e incentivos políticos em economias com menor grau de desenvolvimento

²⁰ Estabelecida na Conferência das Partes (COP) em Paris no ano de 2015 (IPCC, 2019).

econômico. Parte dos estudos se concentra na expansão das energias renováveis de forma ampla e resultante de múltiplas combinações, como se observa no contexto dos países asiáticos (HESS; MAI, 2014), africanos (OSUNMUYIWA; KALFAGIANNI, 2017) e desenvolvidos, como Áustria, Bélgica e Alemanha (WURSTER; HAGEMANN, 2018; 2019). Portanto, este trabalho apresenta diferentes contribuições para a presente literatura, especialmente por: i) investigar as combinações de incentivos para o setor eólico considerando suas particularidades, ii) discutir os estímulos associados aos instrumentos de políticas industriais para as atividades eólicas, e iii) analisar no contexto dos países da América do Sul, que são caracterizadas como economias em desenvolvimento e em estágios “iniciais” no processo de transição.

Assim, o objetivo deste trabalho é identificar os fatores associados e os caminhos condicionantes para a especialização no setor eólico, à luz da perspectiva comparativa entre os países da América do Sul²¹ e os *players* do mercado *onshore*²². Para isso, além da abordagem qualitativa da revisão bibliográfica que fundamenta a presente discussão, utiliza-se a construção de indicadores, combinando o método de Quociente Locacional (QL) com técnicas de análise multivariada, como a Análise de Componentes Principais (PCA²³) e a Análise Qualitativa Comparativa (QCA²⁴).

Este ensaio está estruturado em cinco seções, incluindo esta introdução e as considerações finais. O arcabouço teórico da política industrial e os seus princípios para o desenvolvimento eólico serão debatidos na segunda seção. Os procedimentos metodológicos adotados e a base de dados serão apresentados na terceira seção. A quarta seção se subdivide em três subseções, no qual apresentará, respectivamente: i) o panorama global do mercado eólico; ii) o panorama dos países periféricos e os *players* do mercado *onshore* e, iii) os fatores e combinações que impulsionam o desenvolvimento no setor eólico para os países da América do Sul e os *players* do mercado.

3.2. Arcabouço teórico da política industrial e os seus princípios para o desenvolvimento do setor eólico

Esta seção apresenta o arcabouço teórico da literatura de política industrial que norteia a presente discussão. Subdividida em três subseções, inicialmente serão discutidos os conceitos

²¹ Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru, Uruguai, Venezuela.

²² China (335 GW*), Estados Unidos (142 GW*), Alemanha (58 GW*) e Índia (41 GW), cuja amostra é justificada pela capacidade instalada (IRENA, 2024). *Valores aproximados.

²³ *Principal Component Analysis* (PCA).

²⁴ *Qualitative Comparative Analysis* (QCA).

de política industrial e suas perspectivas recentes; posteriormente, será abordada a evolução da política industrial verde, com ênfase na contribuição desse debate para o desenvolvimento do setor eólico; e, por fim, serão apresentados fatores que têm contribuído para o desenvolvimento do setor eólico.

3.2.1 *Política Industrial*

A abordagem convencional da política industrial apresenta elementos direcionados para falhas ou imperfeições do mercado, tais como externalidades, incertezas, assimetria de informação e até mesmo a administração de bens públicos (RODRIK, 2004; CIMOLI *et al.*, 2017). De natureza reativa e restrita, a política industrial por décadas (1980-2000) se caracterizou por políticas horizontais, isto é, políticas não seletivas no âmbito de setores ou atividades (SUZIGAN; FURTADO, 2006). O debate sobre o papel da inovação como um motor da reestruturação e do crescimento da produtividade industrial, sob a visão schumpeteriana (SCHUMPETER, 1997) e evolucionária (NELSON; WINTER, 1982), passou a ser elemento fundamental para a criação da política industrial (RODRIK, 2004). Dado que a dinâmica tecnológica é criada por meio do conhecimento, das competências, da inovação, das finanças e das instituições, os quais são considerados complementares e não substitutos (AIGINGER; RODRIK, 2020).

Com enfoque “moderno”, a política industrial passou a exibir uma área de abrangência mais ampla, com esforços direcionados para atividades industriais indutoras de mudanças tecnológicas, do desenvolvimento da inovação e de novos mercados (SUZIGAN; FURTADO, 2006; SCHOT; STEINMUELLER, 2018). Para Rodrik (2004), a intervenção política apropriada centra-se em atividades ou tecnologias que produzam características de uma falha de coordenação, desenvolvendo uma colaboração estratégica entre o setor público e privado. Em essência, a política industrial deve mitigar não só as falhas de mercado, mas também orientar a mudança tecnológica para os desafios contemporâneos em busca do bem-estar social, isto é, com objetivos sociais que envolvam o clima, a saúde, a criação de empregos e a redução da pobreza e da desigualdade (AIGINGER; RODRIK, 2020).

No entanto, assim como qualquer outra política, a política industrial apresenta diversas limitações no seu desenvolvimento. Naturalmente, algumas estratégias falharão e nem toda promoção de esforços será bem-sucedido na busca de descobrir o potencial produtivo de um país. Ainda assim, o objetivo não deve ser minimizar as chances de ocorrência de erro do processo de descoberta, mas sim reduzir os custos desses erros quando eles ocorrem (RODRIK,

2004). Por isso, no escopo da política industrial se destacam os papéis da orientação de objetivos e metas, da coordenação das ações e da articulação com o setor privado (SUZIGAN; FURTADO, 2010). O erro é uma parte inevitável e necessária de um programa bem-sucedido, pois não se trata de “escolher vencedores”, mas como o custo dos fracassos podem ser superados (RODRIK, 2004; 2014).

No que se refere à implementação e coordenação da política industrial, a organização institucional exerce um papel relevante (SUZIGAN; FURTADO, 2006). Cabe ressaltar que a coordenação, em linhas gerais, consiste na tarefa de combinar comportamentos descentralizados, administrando também as regras de interação entre os agentes e moldando as suas crenças e normas (CIMOLI *et al.*, 2017). Nesse contexto, a incapacidade de induzir mudanças persistentes nos agentes inovadores tem sido identificada como uma das principais razões para o insucesso das políticas na América Latina (SUZIGAN *et al.*, 2020).

Segundo Chang (2011), o desenvolvimento econômico pode provocar mudanças culturais/institucionais, tanto quanto estas mudanças podem provocar o desenvolvimento. Assim, a prática da política industrial pode ser aprimorada a partir da concepção de quadros institucionais que minimizem os riscos informativos e políticos (RODRIK, 2014). Além disso, instituições bem concebidas podem ajudar os governos a identificarem as fontes dos problemas e das falhas no desenho da política industrial (AIGINGER; RODRIK, 2020).

A política industrial não pode ser desenvolvida como uma política isolada (RODRIK, 2014; AIGINGER; RODRIK, 2020). Deve, mesmo que parcialmente, maximizar as sinergias com outras políticas a fim de evitar conflitos nas multiplicidades de objetivos e na inconsistência de instrumentos políticos, como no caso das articulações com políticas macroeconômicas e regionais (SUZIGAN; FURTADO, 2006; CIMOLI *et al.*, 2017). Esse tipo de política está no cerne da política econômica e social e, portanto, nenhum país pode alcançar o *catch-up* sem implementar mudanças estruturais e modernizar a indústria transformadora. Não obstante, a política industrial deve conter elementos setoriais, definindo as atividades importantes e de potencial para o futuro. Do mesmo modo, promover atividades horizontais que moldam as condições empresariais, isto é, ser uma política orientada para o longo prazo (AIGINGER; RODRIK, 2020). Nesse contexto, surgem outras terminologias, como “políticas de desenvolvimento produtivo”, “políticas de transformação estrutural” ou “políticas de inovação” (AIGINGER; RODRIK, 2020).

Em linhas gerais, a política industrial é entendida como um instrumento direcionado para identificar áreas onde as ações políticas farão à diferença, visando atividades e não setores (RODRIK, 2004). Isto é, políticas transversais capazes de afetar o sistema de regras que

moldam o comportamento do agente inovador (SUZIGAN *et al.*, 2020). Além disso, a política industrial, embora combinada de formas distintas e dependendo das especificidades de cada país ou setor, deve seguir, em economias industrializadas, uma estratégia que permita mudanças estruturais na indústria de transformação. Já em economias periféricas, deve centrar-se na erradicação da pobreza e na transição de países de baixo para médio rendimento (CIMOLI *et al.*, 2017; GRILLITSCH; ASHEIM, 2018; AIGINGER; RODRIK, 2020).

O sucesso da política industrial como estratégia de desenvolvimento destaca a presença de uma infraestrutura adequada de Ciência e Tecnologia (C&T) e da força de trabalho qualificado, pois não há indústria intensiva em conhecimento que se desenvolva sem um sistema de ensino e pesquisa e de capacitações específicas (SUZIGAN; FURTADO, 2006; DELGADO, 2015). Nesse contexto, além das políticas públicas, a academia (universidades e instituições de pesquisas, por exemplo) apresenta centralidade na formulação e implementação de novos paradigmas tecnológicos (CIMOLI *et al.*, 2017). Assim, uma preocupação fundamental é estabelecer competências, capacidades e estruturas que possam ampliar a eficácia da atuação da academia, tanto no processo de aprendizagem como também no processo de simbiose com o setor público-privado, estabelecendo a interação da hélice tripla (academia, governo e indústria) (MAZZUCATO *et al.*, 2020).

Na política industrial, as estratégias de especialização inteligente têm como objetivo criar massa crítica e competitividade em temáticas emergentes, visando estimular a mudança estrutural no aspecto tecnológico, social e ambiental, através da diversificação para atividades de maior valor agregado, isto é, atividades de maior complexidade (GRILLITSCH, 2015; GRILLITSCH; ASHEIN, 2018; FORAY, 2018). A especialização inteligente propõe o desenvolvimento de atividades específicas, que apresentam em sua essência a diversificação e a identificação de futuras capacidades domésticas (SERRA *et al.*, 2021). Esse tipo de abordagem posiciona as regiões e o contexto local como fator relevante para o arcabouço da política industrial, na medida em que são identificadas as suas capacidades domésticas. As estratégias de especialização inteligente em sua essência promovem atividades capazes de transformar os setores existentes e estimular o surgimento de novos (FORAY, 2018). Além disso, a adoção de estratégias de especialização pode evitar a duplicação dos esforços, como no caso Europeu, que ao alinhar seus objetivos para promover o desenvolvimento da bioenergia, também direcionou os seus esforços para as energias renováveis marinhas, as redes inteligentes, os edifícios sustentáveis e a energia solar, isto é, gerando uma cadeia de transformação (CEBOLLA; NAVAS, 2019).

Por fim, a política industrial consiste em uma abordagem sistêmica que coordena as políticas de inovação, regional e comercial. E, não apenas com a indústria de transformação em seu núcleo, mas também, com orientação para as indústrias a montante e a jusante, as mudanças setoriais, os *clusters* e as redes. Isso parte da identificação de atividades domésticas com potencial para ampliar o valor agregado da economia (GRILLITSCH, 2015; GRILLITSCH; ASHEIN, 2018; AIGINGER; RODRIK, 2020).

3.2.2. Panorama da política industrial verde e o setor eólico

A política industrial requer um ambiente macroeconômico estável e de baixa incerteza para que se possa evitar o imediatismo das políticas direcionadas para o curto prazo (SUZIGAN; FURTADO, 2006). No contexto da política industrial verde esses aspectos tornam-se ainda mais relevantes, especialmente pela natureza altamente experimental e de risco substancial das inovações verdes, quando comparadas com as inovações convencionais (RODRIK, 2014; TAGLIAPIETRA, 2022). Esse tipo de política tem como premissa básica a transformação radical do atual sistema industrial global em um outro sistema que seja ambientalmente sustentável (MAZZUCATO, 2014). Além disso, em muitos aspectos, apresenta similitudes com a política industrial de enfoque moderno; porém, abrange camadas no âmbito ambiental e social (ALTENBURG; RODRIK, 2017).

A inovação verde pode ser definida como a criação ou a melhoria de bens e serviços novos ou existentes que minimiza as “pegadas de carbono” e abre uma “janela de oportunidade”, já que os países em desenvolvimento podem recuperar o atraso econômico, reduzir as disparidades sociais e, ao mesmo tempo, mitigar as mudanças climáticas (UNCTD, 2023). No entanto, para capturar os ganhos econômicos associados à nova tecnologia nos países em desenvolvimento, as empresas devem ter capacidades necessárias. Isso inclui não apenas habilidade científica e técnica, mas também as políticas adequadas, regulamentos e infraestrutura (UNCTAD, 2023).

O surgimento de empresas e tecnologias verdes requer políticas dirigidas tanto para o lado da demanda – normas, leis, regulamentos e outros – quanto para o lado da oferta – crédito, tarifas, subsídios, financiamento, entre outros (MAZZUCATO, 2014). Em especial, destacam-se os instrumentos de impulso tecnológico, como o apoio à pesquisa e desenvolvimento (P&D) e os mecanismos de transferência de conhecimento (HAYASHI, 2020).

A política industrial verde tem sido associada à geração de empregos e ao realinhamento de poder entre o trabalho e o capital global, por meio de instrumentos que estimulam e facilitam o desenvolvimento de tecnologias verdes (ALLAN *et al.*, 2021). Cabe ressaltar que esse tipo de política exige uma implementação de instrumentos específicos que vão além do conjunto de ferramentas das políticas tradicionais (industrial, comércio ou climática); pois, embora a política climática vise à descarbonização e a política industrial vise ao bem-estar social, a política industrial verde tem como finalidade conciliar esses objetivos de descarbonização e bem-estar social (TAGLIAPIETRA, 2022).

Nesse contexto, a política industrial tem assumido um papel indispensável para direcionar a economia global em uma trajetória de crescimento verde, dado que as inovações de elevado grau de incerteza *ex ante* tendem a ter uma atuação mais modesta do setor privado (RODRIK, 2014; MAZZUCATO, 2014). No longo prazo, não há *trade-off* entre objetivos sociais, econômicos e ambientais. No entanto, no curto prazo, existem compensações que precisam ser consideradas, dado que as atividades mais disruptivas tendem a apresentar um benefício social superior aos retornos do investimento privado (ALTENBURG; RODRIK, 2017). De fato, o desenvolvimento de indústrias-chave para a sustentabilidade tem contado com o apoio governamental, especialmente por subsidiar os custos de descobertas das iniciativas empresariais (MAZZUCATO, 2014; ALTENBURG; RODRIK, 2017).

Assim, com justificativas teóricas relacionadas à iminente crise climática e ao bem-estar social, a política industrial verde apresenta inúmeros desafios (MAZZUCATO, 2014; RODRIK, 2014; IRFAN *et al.*, 2019). Para além das falhas de mercado e dos desafios de coordenação intrínsecos ao arcabouço da política industrial, destacam-se a direção da mudança, a necessidade de experimentação e a ênfase crescente na adoção da inovação verde (GRILLITSCH; HANSEN, 2019). No entanto, o debate relevante a ser realizado não é se a política industrial verde deve ser promovida ou não, mas como ela deve ser projetada, identificando os principais atores da cadeia de produção e a presença de *spillovers* tecnológicos (RODRIK, 2014).

Sob essa perspectiva, os países industrializados devem encorajar novas indústrias e orientar a mudança tecnológica com base no conhecimento existente, promovendo o surgimento de uma economia mais sustentável por meio do desenvolvimento de inovações verdes (AIGINGER; RODRIK, 2020). Em países e/ou regiões periféricas, o desenvolvimento da indústria verde pode apresentar um grau maior de incerteza, sobretudo devido à falta de especialização local e inexistência de um sistema de inovação (GRILLITSCH; HANSEN, 2019). Nesses casos, são necessários mais do que uma simples imitação, exigindo-se

instrumentos que estimulem a atualização e a criação de novas trajetórias. Deve-se concentrar em novas prioridades, como o apoio a grupos vulneráveis, a igualdade de gênero e a redução da utilização de energia fóssil (AIGINGER; RODRIK, 2020). Dessa forma, é provável que os mecanismos da política industrial verde sejam distintos, à medida que a transferência e a difusão da tecnologia se tornam essenciais para promover o desenvolvimento dessas inovações (TAGLIAPIETRA, 2022; UNCTAD, 2023).

Em relação as inovações verdes no setor energético – como solar, eólica, biomassa, hidrogênio –, a tecnologia de fonte eólica tem demonstrado maior competitividade em diferentes economias. Considerada uma indústria verde, relativamente nova e tecnológica, para que se possa identificar e abrir a “janela de oportunidade”, além da disponibilidade de recursos naturais e geográficos – como velocidade do vento e expansão de áreas terrestres e/ou marítimas –, se faz necessário o desenvolvimento de políticas capazes de impulsionar a demanda e a capacidade nacional de usar ou construir a tecnologia necessária (UNCTAD, 2023). Segundo Irfan *et al.* (2019), as políticas de apoio, a legislação e os incentivos fiscais têm apresentado um efeito positivo sobre o desenvolvimento tecnológico e a criação de valor na indústria eólica.

A redução da dependência externa, por meio do desenvolvimento de cadeias produtivas de bens e serviços no setor eólico – com itens de maior complexidade econômica e menores níveis de emissões de gases de efeito estufa – pode auxiliar as economias retardatárias a promoverem o processo de transição energética em curso, além de construir um ambiente atrativo para o investimento estrangeiro e ampliar a geração de empregos. Esses pontos justificam a importância do desenvolvimento de uma política industrial no setor eólico (PODCAMENI, 2014; ARAÚJO; WILLCOX, 2018), que pode impulsionar a transformação do setor de energia intensivo em carbono e auxiliar no “rompimento” do sistema vigente, especialmente em regiões com dotações naturais favoráveis e historicamente marcadas por intensas desigualdades. Essa é uma “janela de oportunidade” que requer ações coordenadas de “cima para baixo” e de “baixo para cima”, envolvendo o esforço de diferentes *stakeholders* – público, privado e cívico.

3.2.3. Fatores e estímulos associados para o desenvolvimento do setor eólico

Diante da importância e das implicações pertinentes a esse debate, estudos recentes têm investigado possíveis combinações de fatores e estímulos que ampliam a atratividade e impulsionam a expansão das fontes renováveis de energia. Alguns desses estudos utilizam métodos de análise multivariada para identificar tais fatores, porém concentram-se em explorar

as combinações que auxiliam na expansão de energias renováveis de forma geral. Como nos países asiáticos (HESS; MAI, 2014), africanos (OSUNMUYIWA; KALFAGIANNI, 2017) ou desenvolvidos (Áustria, Bélgica e Alemanha) (WURSTER; HAGEMANN, 2018; 2019).

Outros investigam as combinações que influenciam as decisões de investimento em energias renováveis (SCHMID; BORNEMANN, 2019), ou o papel do desenvolvimento ambiental, social e de governança (ESG) sobre a eficiência energética (ZHAO; XU, 2024). No entanto, devido às particularidades de cada economia e/ou região, é possível identificar múltiplas combinações – também chamado de fenômeno multidimensional. Além dessa dicotomia de resultados, pouco tem sido investigado no âmbito da tecnologia eólica e dos instrumentos de políticas industriais, especialmente nos países da América do Sul, que são economias em desenvolvimento e, em grande parte, ainda se encontram em estágios iniciais de um processo de transição energética²⁵. Desse modo, a fim de atender ao objetivo proposto, destacam-se alguns aspectos que podem ser relevantes na decisão dos países para se especializar no setor eólico.

Para Andersen *et al.* (2017), além da crise energética e do movimento popular antinuclear na Dinamarca, a existência de condições naturais e o fornecimento de subsídios para os investidores privados foram essenciais no surgimento da indústria eólica no país, com destaque para o desenvolvimento da Vestas, que é um dos principais fabricantes mundiais de turbinas eólicas. Para Kern (2014), mudanças substanciais começaram a ocorrer com a tecnologia *offshore* no Reino Unido na medida em que se desenvolviam políticas com metas de longo prazo e em articulação com os interesses dos agentes do setor produtivo e usuários da tecnologia, considerando os aspectos de natureza econômica, social e ambiental.

A fonte eólica é uma tecnologia específica do local; portanto, as condições naturais (velocidade média do vento) e/ou geográficas (extensões de áreas, terrestres ou marítimas) são apontadas como condições necessárias para promover a expansão tecnológica eólica. A instalação de um parque eólico requer uma velocidade média de vento, que pode variar entre 3 e 4 m/s até 25 m/s, a depender do tamanho da turbina ou condições geográficas, para que seja considerada tecnicamente viável²⁶ (EPE, 2005). O que pode ser um desafio quando comparado com outras tecnologias disponíveis, como no caso da energia solar, que pode ser instalada em “qualquer lugar” exposta à luz solar (LUTZ; ELLEGAARD, 2015; IRFAN *et al.*, 2019).

²⁵ Quando comparado aos *players* do mercado.

²⁶ Tamanho das turbinas (pequenas, média e grandes) e condições geográficas do local (mata, campo aberto, zona costeira, morro, montanha).

A gestão do espaço tem sido amplamente discutida, seja por questões físicas necessárias ou por questões dos impactos provocados no ambiente, na paisagem, nos animais e/ou na sociedade. Segundo Wurster e Hagemann (2019), uma alta densidade populacional é uma condição que dificulta os caminhos de expansão para a energia renovável na Áustria, Bélgica e Alemanha. Para Andersen (2017), as ações de movimentos populares contra esse tipo de tecnologia (aceitação social) são apontadas como entraves em algumas regiões. Para Nilsen e Njøs (2022), na região norte da Noruega, a forte oposição da narrativa indígena sobre a preservação da terra foi um bloqueio para o caminho industrial eólico embrionário. Portanto, os fatores naturais e geográficos são analisados como condições necessárias para a construção de um “caminho” eólico.

Os países e/ou regiões com elevada prosperidade econômica – medida pelo Produto Interno Bruto (PIB), por exemplo – podem apresentar uma maior capacidade para promover os investimentos em infraestruturas energéticas adequadas para o processo de transição. Além disso, as empresas nessas economias podem possuir um maior capital privado. No entanto, esse é um fator sensível, pois a estrutura econômica também pode influenciar negativamente a transformação do setor (WURSTER; HAGEMANN, 2018). Segundo Wurster e Hagemann (2019), um país e/ou região com elevada participação da indústria pode demandar mais energia em comparação com uma economia dominada por um setor terciário (serviços). Além disso, é provável que haja muitos incentivos em vigor apoiando os fornecedores tradicionais de energia (subsídios para combustíveis fósseis), como as indústrias de aço e carvão, em várias localidades na Áustria, Bélgica e Alemanha. Portanto, é possível identificar uma dualidade, pois, mesmo com alta prosperidade econômica, a participação da indústria na estrutura econômica pode desestimular o desenvolvimento e a especialização da indústria eólica.

Embora a tecnologia da indústria eólica seja conhecida há décadas e o seu desenvolvimento tenha sido baseado em inovações incrementais, esse mercado consiste em um ambiente extremamente incerto (AWATE *et al.*, 2012). Além disso, os obstáculos associados à disponibilidade de recursos destinados para P&D, às infraestruturas (novas e revitalizações) e às linhas de transmissões, podem desestimular o aproveitamento dessa “janela de oportunidade” e, conseqüentemente, limitar o potencial crescimento das atividades eólicas em economias emergentes.

Para Mazzucato *et al.* (2020), o Estado deve tratar os investimentos como um *portfólio*, permitindo que os retornos positivos compensem os riscos inerentes, viabilizando, assim, o “refinanciamento” de inovações futuras a partir desses resultados. Dessa forma, os instrumentos diretos associados ao desenvolvimento e à difusão das tecnologias renováveis podem minimizar

os riscos e as incertezas intrínsecas ao mercado; em outras palavras, podem melhorar os perfis de risco-retorno dos projetos (IRENA, 2023). Esses mecanismos são apontados como fundamentais para viabilizar e proteger o desenvolvimento doméstico do setor, tais como: mecanismos de requisitos de conteúdo local, incentivos fiscais, direitos alfandegários favoráveis, assistência de crédito à exportação e certificação de qualidade (MOLDVAY *et al.*, 2013; SILVA; KLAGGE, 2013).

No que se refere aos instrumentos indiretos, a eliminação progressiva do uso de combustíveis fósseis e as metas para emissões líquidas zero até 2050, estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU), têm posicionado as tecnologias renováveis no centro da transição para um sistema menos intensivo em carbono (REN21, 2023). Há uma vasta literatura que enfatiza a importância das políticas regulatórias, dos compromissos governamentais, metas e visões orientadoras associadas aos instrumentos diretos, para que se possa alcançar os acordos de cooperação global.

Embora esses instrumentos sejam destinados à formação de demanda, é comum identificar na literatura a conexão dos instrumentos indiretos com os instrumentos diretos (estes últimos direcionados para a oferta). De fato, há inúmeros desafios em relação ao esforço político, pois a transformação do setor eólico exige um maior volume de investimentos (instrumento direto) quando comparada com outras tecnologias.

Não obstante, requer a coordenação entre as políticas industrial e energética de médio e longo prazo (instrumento indireto), uma vez que os custos da cadeia de abastecimento podem apresentar reversão em cenários nos quais a oferta não acompanhe a demanda. Portanto, espera-se que a interação entre esses instrumentos diretos e indiretos também reforce a especialização do setor eólico. Entretanto, por si só, eles não são condições suficientes para transformar um sistema “*carbon lock-in*” em um novo sistema sustentável.

Por fim, além desses fatores mencionados, entende-se que outros elementos podem apresentar potencial para influenciar o desenvolvimento e a especialização dos países nas atividades de energia eólica. Entre eles, destacam-se: a viabilidade econômica, como os custos associados à tecnologia; a redução de barreiras institucionais, especialmente atribuídas às atividades intensivas em carbono; a disponibilidade de matéria-prima utilizada na fabricação dos equipamentos, como o neodímio e o disprósio, altamente concentrados na China; a redução de turbulências de mercado, como excesso de oferta ou de demanda; e a própria adaptação tecnológica, associada à mão de obra local e aos serviços existentes.

Portanto, este estudo considera que não existe um único fator ou combinação específica de fatores que represente o “caminho-chave” para a especialização do setor eólico. Assim, os

resultados devem ser interpretados com parcimônia, uma vez que países com características semelhantes nem sempre adotam as mesmas estratégias. Em vez disso, diferentes combinações de fatores ou condições podem explicar o (não) desenvolvimento dessas atividades – uma situação chamada *equifinalidade*, explicada com mais detalhes nos procedimentos metodológicos.

3.3. Dados e procedimentos de análises

Esta seção se subdivide em duas subseções. A primeira descreverá os dados utilizados e suas respectivas fontes. A segunda apresentará a estratégia empírica, construída a partir da combinação de três procedimentos analíticos: i) construção de indicadores de especialização para o setor eólico, com base no Quociente Locacional (QL); ii) construção de componentes de estímulos, por meio da Análise de Componentes Principais (PCA²⁷); e iii) identificação das combinações de estímulos para o desenvolvimento no setor eólico, a partir da Análise Comparativa Qualitativa (QCA²⁸).

3.3.1. Descrição dos dados

A amostra de dados corresponde aos países *players* do mercado *onshore* (China, EUA, Alemanha e Índia²⁹) e aos países da América do Sul (Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru, Uruguai, Venezuela), totalizando um banco amostral de $N = 14$, para o período de 2010, 2015 e 2020.

A análise é construída a partir das seguintes fontes oficiais: *International Energy Agency* (IEA, 2023a; 2023c; 2024), do *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2019a; 2021b; 2022; 2024), da *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD, 2024), do *Copernicus* (2024) e do *World Development Indicator* (2024), conforme descritas no Quadro 1. Além dos bancos de dados mencionados, este trabalho coleta informações sobre os instrumentos políticos e incentivos para o setor nos relatórios oficiais do *Renewables Now* (REN21, 2021; 2023) e da IRENA (2024). Cabe destacar que, para o procedimento da PCA, todas as variáveis foram utilizadas em sua forma logarítmica, a fim de evitar problemas de assimetria e de escala dos dados.

²⁷ *Principal Component Analysis*.

²⁸ *Qualitative Comparative Analysis*.

²⁹ Amostra justificada pelo *ranking* de países com capacidade instalada.

Quadro 1 – Descrição do banco de dados

Variável	Fonte
Produção de energia por fontes (GWh) Subsídios de combustíveis fósseis (2023 US\$)	IEA (2023a; 2023c; 2024)
Investimento público em energias (2021 US\$) Investimento público em energia eólica (2021 US\$) LCOE eólica (2023 US\$/kWh)	IRENA (2019a; 2021b; 2022; 2024)
Número de patentes total Número de patentes em eólica	OECD (2024)
Velocidade média do vento de 30 metros (m/s)	<i>Copernicus</i> (2024)
Níveis de emissões de CO ₂ Industrial (Mt CO ₂ e) Exportação de combustíveis fósseis (%) Dispêndio em P&D (% do PIB) Produto Interno Bruto <i>per capita</i> (2023 US\$) Valor adicionado industrial (2015 US\$) Densidade Populacional (pessoas por km ²)	WDI (2024)

Fonte: Elaboração própria.

3.3.2. Estratégia empírica

3.3.2.1. Indicador de especialização: Quociente Locacional (QL)

A primeira etapa da estratégia empírica a ser adotada é a adaptação do indicador de Quociente Locacional (QL) para identificar o padrão de localização da produção (MW) de energia eólica nos países da América do Sul e os *players* do mercado longo de um período.

O QL é um indicador que revela as potencialidades de um determinado setor/atividade k na região/país i , a partir de dados de econômicos ou sociais (HILDEBRAND; MACE, 1950); porém, pode ser facilmente adaptado para outras métricas (HADDAD et al., 1989; MATTEI; MATTEI, 2020). Neste trabalho, utilizam-se dados de geração de energia (MW) eólica para todos os países da amostra (*players* do mercado *onshore* e países da América do Sul), no período de 2015 e 2020, calculados pela Equação 1.

$$QL_{ki} = \frac{\frac{\text{Produção eólica País}}{\text{Produção energia total País}}}{\frac{\text{Produção eólica amostral}}{\text{Produção energia total amostral}}} \quad (1)$$

A interpretação tem como parâmetro o numeral 1 (um), conforme adotado por outros autores, como Hildebrand e Mace (1950) e Mattei e Mattei (2020). Quando o resultado da equação for $QL_{ki} \geq 1$, diz-se que o setor de energia eólica tem relativa importância

(especialização) para o país i , em relação ao contexto global³⁰ j ou que o país i é relativamente mais especializado no setor de energia eólica em comparação as demais fontes de energia. Se o resultado for $0,5 > QL_{ki} < 1$, diz-se que há indícios de especialização; porém, sua interpretação requer alguns cuidados devido às escalas utilizadas³¹. Por fim, se o resultado for $QL_{ki} < 0,5$, diz-se que não há especialização do setor de energia eólica no país i .

3.3.2.2. Técnicas de Análise Multivariada: Análise Principal de Componentes (PCA)

A segunda etapa da estratégia empírica a ser adotada é a Análise Principal de Componentes (PCA). A PCA é um procedimento que propõe reduzir a dimensionalidade e classificar um conjunto de variáveis correlacionadas ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$) por um menor número de variáveis não correlacionadas (ortogonais) ($y_1, y_2, y_3, \dots, y_p$). Chamados de “componentes principais”, o primeiro componente y_1 apresenta o máximo possível da variância total; y_2 , o máximo possível da variância restante; e, assim por diante.

Em geral, quando os primeiros componentes apresentam uma participação grande o suficiente da variância total, os demais componentes podem ser descartados sem uma perda muito grande de informações³². Os componentes principais são combinações lineares de x_k , onde cada componente corresponde a soma ponderada dos x_k , tal que, os α_{ij} são os pesos ou coeficientes (BARTHOLOMEW *et al.*, 2008), conforme descrito na Equação 2.

$$\begin{aligned} y_1 &= \alpha_{11}x_1 + \alpha_{21}x_2 + \dots + \alpha_{k1}x_k \\ y_2 &= \alpha_{12}x_1 + \alpha_{22}x_2 + \dots + \alpha_{k2}x_k \\ &\vdots \\ y_k &= \alpha_{1k}x_1 + \alpha_{2k}x_2 + \dots + \alpha_{kk}x_k \end{aligned} \quad (2)$$

Essas combinações maximizam as combinações de $Var(y_1)$ e $Var(y_k)$ sujeito a $\alpha'_1 x = \alpha'_k x = 1$. Portanto, o primeiro passo em uma PCA é calcular a matriz de correlação X , conforme descrita na Equação 3.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \quad (3)$$

³⁰ Entende como global o universo amostral, isto é o somatório da participação eólica de todos os países da amostra.

³¹ Ver Rezende e Campolina (2013).

³² Pois segundo Bartholomew *et al.* (2008) quanto maior a correlação, mais próximas as observações estarão do primeiro componente e maior a proporção de variância explicada por ele.

Posteriormente, calcula-se a variância dos componentes principais chamados de autovalores e denotado por $(\lambda_1, \dots, \lambda_k)$ e seus autovetores $(\alpha_1, \dots, \alpha_k)$. Como os componentes são derivados em ordem de variância, isto é, $\lambda_1 \geq \lambda_2 \dots \geq \lambda_k$. Se os x_k forem padronizados, a soma das variâncias dos x_k será igual a k . Assim, a soma dos autovalores, a variância total dos y_k , também será igual a k . Para definição de quais componentes devem ser mantidos na análise, alguns critérios podem ser adotados, a saber: i) reter os primeiros k componentes que explicam uma proporção “grande” da variação total, entre 70 e 80%, o critério de *Pearson*; ii) reter apenas os componentes em que $\lambda_k > 1$, o critério de *Kaiser*; e iii) examinar o gráfico dos autovalores *versus* o número de componentes, também chamado de o “cotovelo”, que corresponde ao ponto após o qual os autovalores diminuem mais lentamente (BARTHOLOMEW *et al.*, 2008).

3.3.2.3. Técnicas de Análise Multivariada: Análise Comparativa Qualitativa (QCA)

A terceira etapa da estratégia empírica a ser adotada é a Análise Comparativa Qualitativa (QCA). Inicialmente introduzida por Ragin (1987), a QCA é um método analítico com noções da álgebra *booleana* – da lógica e dos conjuntos – para comparação de casos, sendo considerada uma técnica de análise multivariada que combina a análise qualitativa e quantitativa. Essa técnica é indicada para análises com pequeno a médio número de observações³³, diferentemente dos procedimentos estatísticos tradicionais (RAGIN; RIHOUX, 2004; RIHOUX *et al.*, 2011). Esse método apresenta capacidade de analisar relações complexas, no contexto em que um dado “resultado” pode ser estimulado por várias combinações diferentes de “condições”, isto é, diferentes “caminhos”. Cabe ressaltar que, no procedimento, as variáveis dependentes “Y” são referidas como “resultados”, enquanto as variáveis independentes “X” são consideradas como “condições” (conjuntos, subconjuntos ou superconjuntos)³⁴ (RAGIN, 2006; RIHOUX *et al.*, 2011).

A técnica da QCA procura identificar as relações (necessidade e suficiência) entre as condições com operações lógicas (união “(+), (U)”, interseção “(*), (·) ou (\cap)” e negação “(\sim)”). As noções de condições são utilizadas para identificar a relação entre as variáveis. Diz-se que uma condição é denominada “necessária” quando requer que a sua presença ocorra para que certos resultados surjam, enquanto uma condição “suficiente” pode, por si só, produzir certos resultados. Portanto, não existe um único cenário em que a condição está presente e o

³³ Segundo Ragin e Rihoux (2004) para a análise em torno de $5 > N < 100$.

³⁴ Cabe destacar que os conceitos associados a esse tipo de metodologia não podem ser confundidos com os conceitos da estrutura de regressão tradicional, portanto, devem ser tratados com parcimônias, ver Ragin (2006).

resultado ausente. Adicionalmente, para a interpretação da solução final usando o algoritmo *Quine-McCluskey*, uma condição pode ser denominada “INUS³⁵” quando for uma parte insuficiente, mas necessária para que o resultado ocorra, no presente estudo entende que os fatores físicos e naturais são condições “INUS” para que haja especialização eólica no país (resultado) (RAGIN; RIHOUX, 2004; BETARELLI JUNIOR; FERREIRA, 2018).

Cabe ressaltar que os parâmetros de ajuste são essenciais para o procedimento e fornecem suporte para a avaliação das relações, definidos como consistência e cobertura. A consistência das condições mede o grau de mérito dos resultados e é o principal critério de validação da QCA, enquanto a cobertura mede a relevância empírica de uma condição no conjunto das combinações (caminhos), que pode ser categorizada como cobertura total (somatório das coberturas), bruta (proporção de pertencimento ao resultado) e única (proporção explicada unicamente por cada termo de solução) (BETARELLI JUNIOR; FERREIRA, 2018). Uma outra característica da QCA é sua capacidade de lidar e identificar um efeito plural, definida como “equifinalidade”. Essa característica enfatiza que diferentes combinações podem levar ao mesmo resultado em diferentes casos (RIHOUX *et al.*, 2011).

Há três tipos de QCA: i) QCA *crisp-set* (*csQCA*), cujas variáveis apresentam valores binários, isto é, presença (correspondente ao valor 1) ou ausência (correspondente ao valor 0) completa das características; ii) QCA *fuzzy-set* (*fsQCA*), cujas variáveis apresentam valores em um intervalo contínuo e, iii) QCA *multi-value* (*mvQCA*) – combinação de valores discretos e contínuo (RIHOUX *et al.*, 2011). Portanto, devido às características das variáveis e por fornecer meios mais ajustados para realizar associações parciais ou completas – dada a possibilidade de escalonamento dos *scores* –, este trabalho adota a operacionalização do tipo *fsQCA*,

No *fsQCA* os casos apresentam graus de associação em conjuntos, com pontuações variando entre $0,0 > X < 1,0$. Pontuações de associação cujo valor $X > 0,5$ indicam que um caso está mais dentro do que fora; pontuações próximas a 1,0 indicam que um caso está principalmente dentro; e pontuações próximas a 0,0 indicam que um caso está principalmente fora. Portanto, as pontuações *fuzzy* são calibradas entre 0 e 1 e, posteriormente, criada uma tabela verdade que lista as combinações logicamente possíveis das condições (número de combinações = 2^k , onde k é o número de condições). Um *score* $X = 1$ indica plena adesão, enquanto um *score* $X = 0$ indica nenhuma adesão. A essência do QCA consiste em permitir testar hipóteses ou teorias existentes; portanto, a calibração envolve avaliação quantitativa e qualitativa, e deve ser fundamentada a partir da literatura (RAGIN; RIHOUX, 2004; RAGIN,

³⁵ *Insufficient but Non-redundant part of an Unnecessary but Sufficient condition* (INUS).

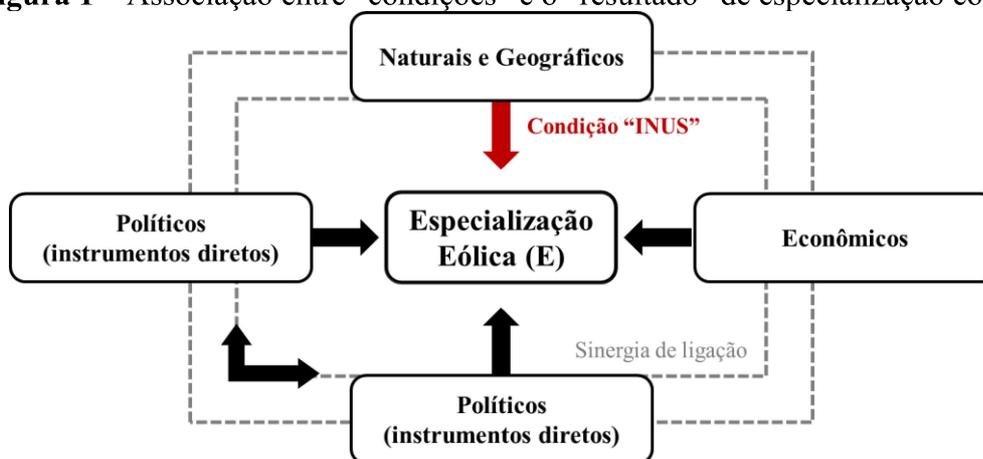
2006; BETARELLI JUNIOR; FERREIRA, 2018). A consistência teórica do conjunto *fsQCA* é mensurada pela Equação 4, enquanto a cobertura é mensurada pela Equação 5.

$$\text{Consistência } (X_i \leq Y_i) = \sum (\min (X_i, Y_i)) / \sum (X_i) \quad (4)$$

$$\text{Cobertura } (X_i \leq Y_i) = \sum (\min (X_i, Y_i)) / \sum (Y_i) \quad (5)$$

Neste trabalho, foi atribuída a cada condição uma letra maiúscula para representar a presença do fenômeno e uma letra minúscula para representar a sua ausência³⁶ – em vez da utilização do sinal “~”. Assim, espera-se que a combinação de alta relevância dos fatores resulte em alta especialização. A Figura 1 ilustra a associação entre condições e o resultado esperado. Contudo, cabe destacar que por não assumir assimetria causal, deve-se evitar comparações inversamente para os caminhos, pois as combinações que resultam em casos de especialização não são necessariamente as mesmas nos casos de não especialização (HESS; MAI, 2014).

Figura 1 – Associação entre “condições” e o “resultado” de especialização eólica



Fonte: Elaboração própria.

Apesar de suas limitações, as análises por meio de indicadores podem auxiliar no mapeamento de informações importantes. Portanto, esse tipo de procedimento se faz relevante, especialmente para fins comparativos dos instrumentos e incentivos das políticas adotadas entre os principais *players* do mercado *onshore* e os países da América do Sul. De caráter exploratório, neste trabalho se propõe um debate sobre quais fatores que têm auxiliado a especialização no setor eólico em diferentes cenários e quais combinações têm funcionado para promover a expansão da capacidade eólica.

³⁶ Seguindo as recomendações de Ragin e Rihoux (2004).

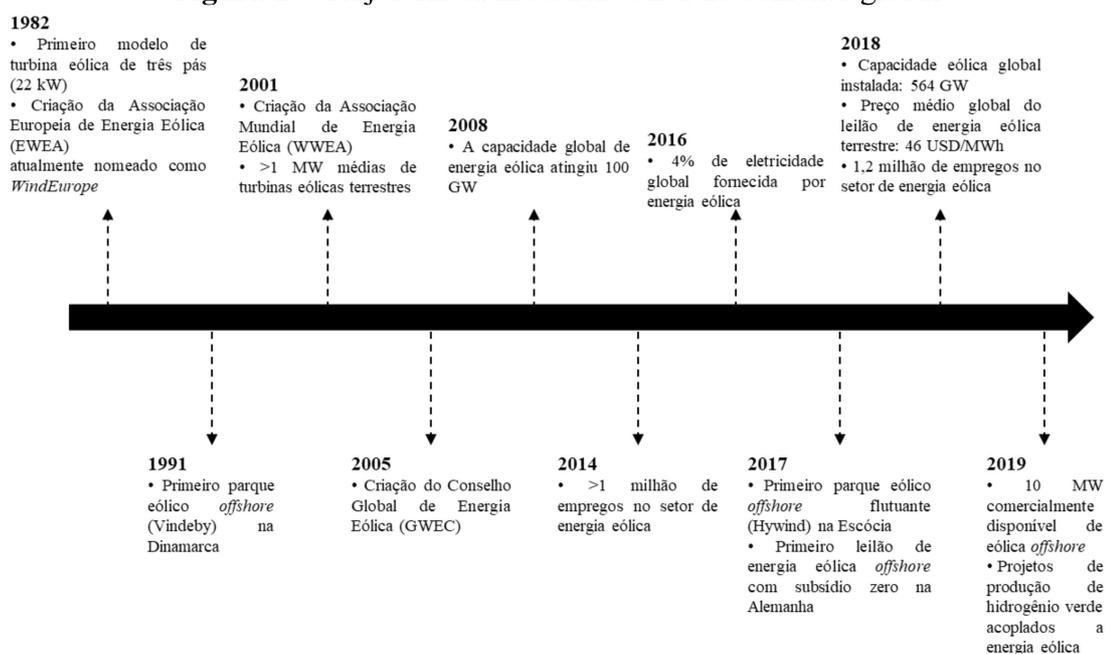
3.4. O desenvolvimento do setor eólico: políticas e instrumentos

A partir dos procedimentos metodológicos adotados, esta seção tem como finalidade discutir os fatores associados e os caminhos condicionantes para a especialização no setor eólico. Subdividida em três subseções, inicialmente apresentará um panorama global do mercado, seguido pela discussão de políticas no cenário dos principais países *players* do mercado *onshore* e da América do Sul. Por fim, a última parte discutirá os resultados obtidos por meio dos procedimentos metodológicos da PCA e QCA, bem como suas implicações para as oportunidades e desafios desse mercado.

3.4.1. Panorama global do mercado eólico

Em 1982, foi registrado o primeiro modelo de turbina eólica de três pás; porém, apenas após os anos 2000, a atividade eólica conseguiu avançar. O mercado vem se desenvolvendo com marcos regulatórios, criação de órgãos e instituições normativas, ampliação de instalações e avanços tecnológicos (IRENA, 2019a; 2021b), conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Trajetória da indústria eólica no contexto global

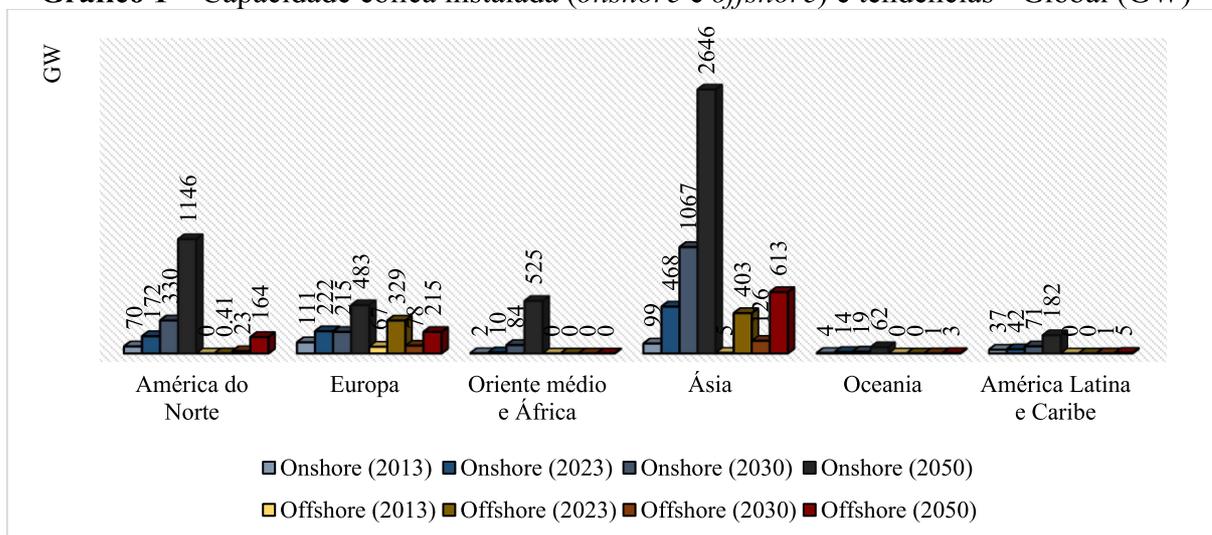


Fonte: Elaboração própria, adaptado IRENA (2019a) e IRENA (2021b).

Parte da atratividade do setor pode ser atribuída à abrupta redução dos custos de instalação, bem como à combinação da iminente crise climática e energética com os elevados níveis de desemprego e as altas emissões de CO₂ do setor que, até o presente momento, permanece altamente dependente em combustíveis fósseis (ANDERSEN *et al.*, 2017). A fonte eólica apresenta um elevado potencial para a geração de empregos, estima-se que até 2050, será criada uma oferta de postos de trabalho de aproximadamente 6 milhões, que pode ser superior ao desemprego gerado a partir da redução de atividades intensivas em combustíveis fósseis (IRENA, 2019a).

Até 2010, a Europa liderava o setor eólico; porém, foi ultrapassada pelo mercado chinês, com quase um terço da capacidade instalada global. Atualmente o mercado mais relevante do setor eólico se concentra na Ásia, principalmente China e Índia, com um expressivo investimento até 2050 (IRENA, 2019a), conforme ilustra o Gráfico 1. Segundo Zang *et al.* (2013), em 2011, quatro das dez maiores fabricantes de turbinas eólicas do mundo foram para a China e, no ano seguinte, a capacidade instalada do país já representava mais de 26% da capacidade mundial.

Gráfico 1 – Capacidade eólica instalada (*onshore* e *offshore*) e tendências - Global (GW)



Fonte: Elaboração própria, adaptado IRENA (2019a), IRENA (2023b) e IRENA (2024).

Em 2020, a China e a Índia foram os países com o menor custo médio de instalação *onshore*, entre 20% e 67% mais baixos que os demais. Além disso, foram responsáveis por quase metade da oferta de emprego eólico global, seguidos pela Europa e América do Norte, com um custo médio instalado *onshore* de US\$ 1.870/kw e a geração de 140.800 empregos na

Alemanha; nos Estados Unidos, com um custo médio instalado *onshore* de US\$ 1.660/kw e 114.000 empregos (IRENA, 2019a; IRENA, 2021d).

Em linhas gerais, a China, os Estados Unidos, a Alemanha e a Índia, têm sido considerados como países *players* do mercado *onshore*, especialmente devido à capacidade instalada e às projeções de expansão do setor. Embora apresentem diferenças na implementação política e na magnitude do apoio financeiro destinado à energia eólica, ainda assim esses mercados têm promovido elementos convergentes em relação às abordagens tecnológicas e aos condicionantes de demanda, a fim de incentivar a criação de indústrias no âmbito local (NAHM, 2017).

Ainda em estágio inicial, o mercado *offshore* também tem apresentado uma rápida redução nos custos, a partir das melhorias tecnológicas, das eficiências da cadeia de suprimentos, das sinergias logísticas, e dos estímulos políticos e incentivos financeiros (IRENA, 2019a). Esse mercado tem sido liderado pela China, Reino Unido, Alemanha, Holanda, Dinamarca e Bélgica³⁷. Até 2020, o Reino Unido apresentava a maior capacidade instalada; porém, foi ultrapassado pela China, com uma capacidade instalada superior a 26 GW em 2021, enquanto o Reino Unido possuía 11 GW (IRENA, 2024). De acordo com projeções do IRENA (2021b), estima-se que, no âmbito global até 2030, ocorrerá uma expansão na capacidade instalada eólica *offshore* de mais de 380 GW e, até 2050, de mais de 2.000 GW. Além disso, estima-se que parte desse mercado continuará sendo liderado pela Ásia, com uma participação de mais de 600 GW até 2050 (IRENA, 2019a).

De fato, o mercado adquire maturidade e viabiliza o surgimento de novas trajetórias na medida em que as barreiras (tecnológicas, mercado, regulatória ou ambiental) vão sendo superadas. Em 2019, por exemplo, 10 MW da tecnologia *offshore* já estava comercialmente disponível no mercado global e, no mesmo ano, já havia registros de projetos de produção de hidrogênio verde (IRENA, 2019a; 2021b). Acoplados ao desenvolvimento da energia eólica *offshore* a produção de hidrogênio verde tem sido sinalizada como um modelo de negócio inovador, com mais de dezenas de projetos propostos desde 2019, liderados pela Alemanha com 10 GW, seguida pela Holanda com 4,3 GW, Dinamarca com 2,3 GW e o Reino Unido com 11,2 GW (IRENA, 2021b). A combinação da produção de hidrogênio verde com o armazenamento, juntos, podem ajudar na flexibilidade sazonal de longo prazo da transformação

³⁷ China (37 GW), o Reino Unido (14 GW), a Alemanha (8,4 GW), a Holanda (3,9 GW), a Dinamarca (2,6) e Bélgica (2,2 GW), em valores aproximados (IRENA, 2024).

do sistema. Além disso, pode promover ganhos de escala em cenários com infraestruturas já existentes (IRENA, 2020; 2021b).

No que se refere ao mercado eólico na América Latina e Caribe, o mercado *onshore*, em 2023, registrou uma capacidade instalada de aproximadamente 42 GW, superior apenas à do Oriente Médio, África e Oceania. Não obstante, segundo as projeções da IRENA (2019a), para 2050, tem-se um mercado mais tímido em comparação aos demais continentes, não só em relação à capacidade instalada, mas também em relação ao valor total dos investimentos no setor, ficando à frente apenas da Oceania com condições climáticas desfavoráveis.

Por se tratar de países de renda média³⁸ e intensivos em fontes fósseis é esperado que o processo de transição ocorra de forma mais lenta e/ou tardia na América Latina e Caribe, quando comparado aos países *players* do mercado, seja pelas barreiras econômicas, financeiras ou institucionais. Contudo, com características econômicas similares, as projeções do Oriente Médio e África são mais expressivas, até mesmo em relação às estimativas da Europa, o que ressalta a importância do desenvolvimento de políticas orientadas para o longo prazo.

3.4.2. Política industrial para o setor eólico: Os principais players e América do Sul

3.4.2.1. Matriz energética, condições naturais e especialização eólica

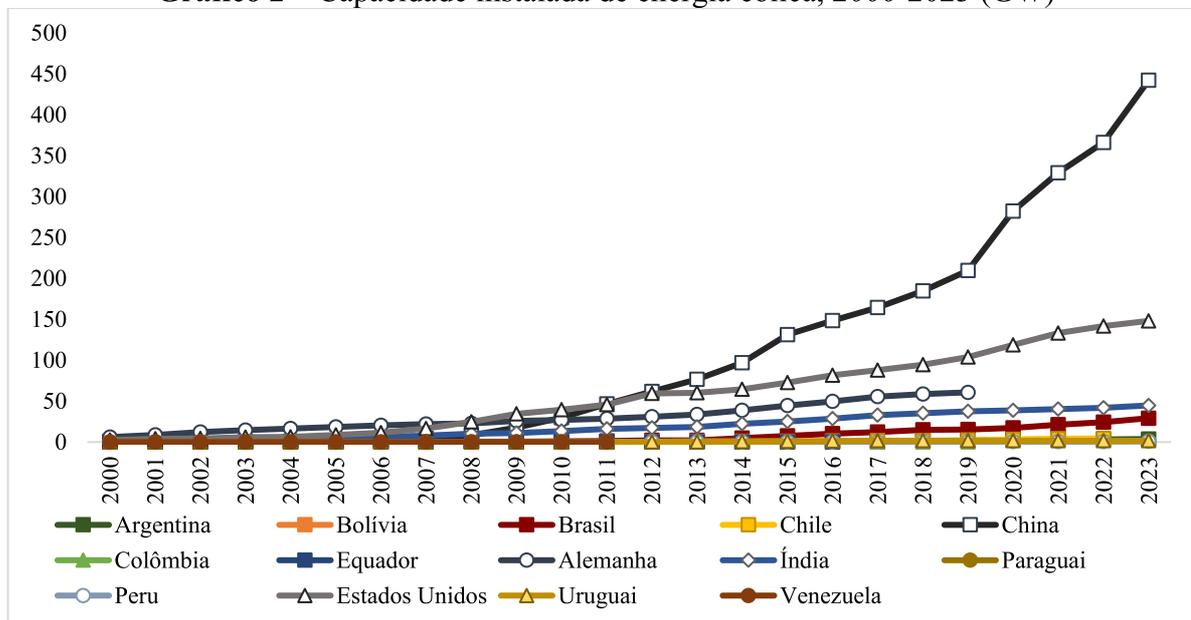
Embora haja uma corrida global para promover a eliminação progressiva do uso de combustíveis fósseis e atingir as metas para emissões líquidas zero até 2050 (REN21, 2023), os países da América do Sul têm enfrentado inúmeros desafios para promover uma mudança no sistema energético vigente. Esse cenário pode ser explicado tanto pela elevada participação de tecnologias convencionais e de fontes fósseis na matriz energética quanto pela falta de políticas direcionadas para as transformações estruturais em prol do desenvolvimento sustentável, isto é, políticas capazes de provocar uma mudança no atual sistema.

Parte da matriz energética dos países da América do Sul apresentam uma participação significativa de fontes não-renováveis, conforme ilustra o Gráfico B1 no Apêndice. Em 2020, a matriz energética da Argentina era abastecida com uma participação de 61% gás natural; a Bolívia com 64% gás natural e o Chile com 31% carvão e 18% gás natural (IEA, 2023). Majoritariamente de fonte hídrica, o Brasil (64%), a Colômbia (62,83%), o Equador (77,79%), o Paraguai (99,99%), o Peru (57,78%) e a Venezuela (84,17%), podem apresentar problemas

³⁸ ver WBG (2024).

de flexibilidade e vulnerabilidades na oferta de energia, especialmente com as secas nos reservatórios provocadas pelas mudanças climáticas.

Gráfico 2 – Capacidade instalada de energia eólica, 2000-2023 (GW)



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

Contudo, dentre as tecnologias renováveis não convencionais (solar, eólica, biomassa ou geotérmica), a energia eólica é a fonte de maior crescimento em potencial nesses países. Conforme ilustra o Gráfico 2, o Brasil é o país com maior potencial eólico *onshore* na América do Sul e o sexto país de maior capacidade instalada globalmente.

O Brasil possui um histórico de diferentes modelos de políticas industriais e de desenvolvimento produtivo, como a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE)³⁹, o Plano de Desenvolvimento Produtivo (PDP), o Plano Brasil Maior (PBM), o Plano de Aceleração do Crescimento (PAC I e II) e a mais recente Política Nova Indústria Brasil, cuja missão inclui o desenvolvimento de ações voltadas para a bioeconomia, descarbonização e transição e segurança energéticas (LAPLANE; LAPLANE, 2017; MDIC, 2024). No âmbito da política energética, os Planos Decenal de Energia (PDE) e o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE), são alguns dos programas coordenados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e tem como objetivo a definição de metas de curto, médio e longo prazo para a expansão das renováveis (MME, 2023).

³⁹ A PITCE foi entre o período de 2004 e 2008, o PDP foi entre o período de 2008 e 2010 e o PBM foi entre 2011 e 2014.

Na Argentina, entre 2015 e 2020, a produção de energia eólica saltou de 593 Gigawatt-hora (GWh) para 9.412 GWh. Parte desse resultado pode ser atribuído à criação da Lei N. 27.191⁴⁰, que regulamenta a utilização de fontes renováveis para produção de energia elétrica, com metas de curto, médio e longo prazo. Além disso, em 2016, a criação do Programa RenovAr, definiu como meta obrigatória uma participação de 20% de fontes renováveis até 2025. Ainda de acordo com o Programa, projetava-se a oferta de mais de 14.000 novos empregos (construção, operação e manutenção) e, destes, 6.098 de novos parques eólicos nas regiões da Patagônia, em Buenos Aires e Comahue (MINEM, 2018).

No Chile, entre 2010 e 2021, a fonte de energia eólica registrou a maior taxa de crescimento, saindo de 7 GWh, em 2010, para 7222 GWh, em 2021. Em 2006, o país redefiniu sua política energética a fim de incrementar a participação das fontes renováveis a partir de um conjunto de instrumentos diretos (como o crédito e garantias para esse tipo de tecnologia, subsídios para as linhas de transmissão, estímulos para geração em geotérmicas e fomentos para P&D em biocombustíveis) e indiretos (leis e regulamentos) (ÁLVAREZ; SUTIN, 2017). No entanto, em 2020, a participação da tecnologia eólica na matriz energética do Chile ainda era inferior as demais fontes (IEA, 2023a).

No Uruguai, em 2005, a baixa disponibilidade de reservas de petróleo, gás natural ou demais combustíveis fósseis, levou à importação de mais de 64% do total da oferta primária e, em 2008, registrou o seu maior nível de emissão de CO₂ *per capita* com 2,5 toneladas (GRAMKOW, 2019). Até 2010, a fonte eólica apresentava uma baixa participação na matriz energética, com produção de 70 GWh. Porém, em 2020, passou a produzir 5476 GWh, o que representava mais de 40% da matriz energética, seguida por hídrica com 30,11% e biocombustíveis com 20,24% (IEA, 2023a). Parte desse resultado de expansão e redução da pressão da matriz energética sobre a conta corrente do país pode ser atribuída à mobilização de investimentos promovidos pela Política Energética 2005-2030, que estabelece diretrizes e metas de curto, médio e longo prazo (BÉRTOLA; LARA, 2017; GRAMKOW, 2019).

Na Bolívia, a criação do Plano do Setor Elétrico Plurinacional 2025 estabeleceu metas para ampliar a participação de energia solar, geotérmica, eólica e biomassa na matriz do país. Em 2020, embora a fonte eólica tenha registrado a menor participação, com apenas 0,64% do total, o país apresenta um elevado potencial para a fonte solar, especialmente nas regiões Santa Cruz, Cochabamba, El Alto e La Paz (IEA, 2023a; 2023c).

⁴⁰ Lei N. 27.191 que dispõe do Regime Nacional de Promoção do Uso de Fontes de Energia Renováveis para a Produção de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27191-253626/actualizacion>. Última visualização 08/11/23.

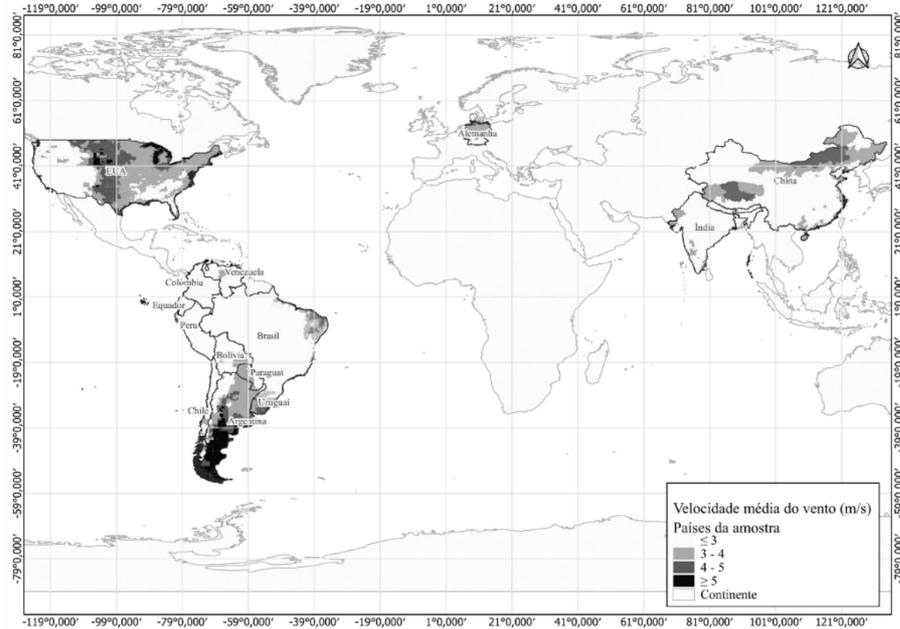
No que se refere às condições naturais para promover o desenvolvimento da fonte eólica, os dados da velocidade média do vento em 30 metros⁴¹ para 2020 apontam uma velocidade potencialmente adequada para Alemanha (3,39), Estados Unidos (3,28), Uruguai (3,91 m/s), Argentina (3,78 m/s), Paraguai (3,21 m/s) e Chile (3,06 m/s), conforme ilustra o Mapa 1. Cabe ressaltar que algumas localidades sobressaem em relação ao valor médio do próprio país, como no caso da Índia (2,41), China (2,74) e Brasil (2,11 m/s), que apresentam algumas localidades com uma velocidade média superior a 6 m/s (Mapa 1B no Apêndice).

Em relação aos resultados obtidos com o QL, além dos países *players* do mercado – Alemanha (2,62), China (1,04), Estados Unidos (0,81) e Índia (0,86) –, em 2015, o Uruguai (2,55) já apresentava um alto grau de especialização em energia eólica, que foi mantido em 2020, conforme ilustra o Mapa 2.

Além dessa elevada participação, espera-se que nos próximos anos, com o crescimento da demanda por hidrogênio verde também amplie a produção da fonte eólica e solar no país (FERRAGUT, 2022). Os resultados do QL para 2020 também apontam indícios de especialização eólica no Brasil (0,77), Chile (0,76) e na Argentina (0,50). Quanto aos demais países, os resultados não indicaram especialização na produção de energia eólica em nenhum dos períodos analisados. Cabe destacar que, em todos os períodos analisados, a Alemanha lidera o grupo de países com alta especialização em energia eólica *onshore*, seguida pela China, Estados Unidos e, por último, pela Índia.

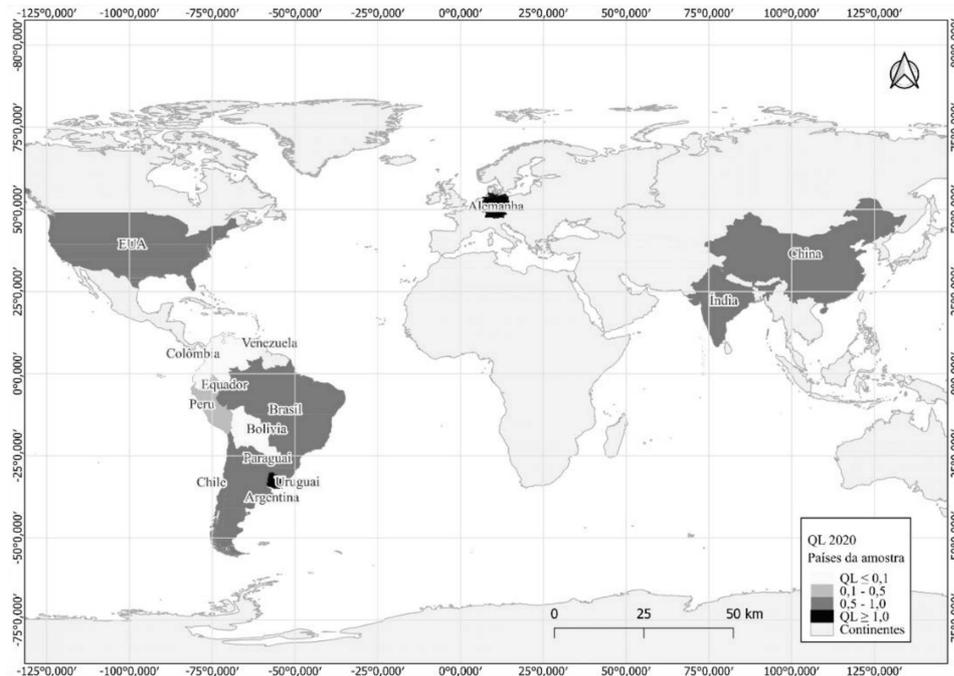
⁴¹ Altura mínima para que uma operação seja viável.

Mapa 1 – Velocidade média do vento de 30 metros, 2020 (m/s)



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

Mapa 2 – Especialização em energia eólica, 2020 (GW)



Fonte: Elaboração própria.

No geral, os países têm sinalizado uma transformação do setor energético, alguns mais acelerados que outros, a fim de reduzir as fragilidades em termos tanto de segurança energética quanto de soberania ou vulnerabilidade econômica externa. Novas tecnologias emergentes vêm sendo incentivadas pelos governos, uma dessas tendências tem sido a produção de hidrogênio

verde. Essa fonte pode potencializar a instalação de fontes já existentes, colaborando para a redução dos preços e fornecendo competitividade, segurança e flexibilidade na oferta de energia, provenientes de fontes eólica (como no caso do Uruguai) e solar (como no caso chileno, na região do Atacama).

Portanto, diante desse mapeamento e tendo como pano de fundo o aumento da demanda por tecnologias sustentáveis, a disponibilidade de recursos naturais e a redução dos custos associados a essas tecnologias, os países da América do Sul podem avançar no processo de transformação do setor energético. Especialmente Argentina, Brasil, Chile e Uruguai, que possuem planos e metas mais incisivos para a expansão das renováveis como um todo.

3.4.2.2. Políticas e os instrumentos diretos e indiretos

Para fins comparativos, o Quadro 2 apresenta os principais instrumentos de políticas adotados para o setor eólico nos países da América do Sul e os principais *players* do mercado⁴². Cabe destacar que o tempo de adoção de instrumentos não foi o mesmo, alguns países adotaram medidas antes de outros. Além disso, alguns instrumentos fizeram parte do plano político para estimular energias renováveis como um todo; porém, alguns foram mantidos, outros revisados, e alguns deram maior ênfase ao setor eólico, enquanto outros não. Portanto, optou-se por coletar informações a partir dos anos de 2010, por se tratar de um período de maior maturidade e expansão eólica.

Dentre os instrumentos destinados para incentivar o desenvolvimento das atividades eólicas, os instrumentos indiretos de políticas regulatórias – como os incentivos financeiros e fiscais – têm sido amplamente utilizados pelos países da amostra, com exceção da Venezuela. Outros instrumentos de destaques são as tarifas *feed-in* (FITs) e os prêmios de pagamento (*feed-in premium* – FIPs), que passam por revisões e reintroduções em vários países. Em 2020, por exemplo, tanto o Chile quanto a Bolívia apresentaram as FITs/FIPs como um de seus instrumentos de política; porém, em 2022, esse mecanismo passou a não fazer parte do pacote de instrumentos dos países. Em geral, esses instrumentos fornecem aos produtores um preço garantido e podem ser usados para promover tanto geração de energia centralizada quanto descentralizada (em pequena escala) (REN21, 2021; 2023).

⁴² Dois países de economias emergentes (China e Índia) e dois países avançados (EUA e Alemanha), selecionados a partir dos dados de capacidade instalada no Gráfico 1.

Quadro 2 – Principais políticas e/ou instrumentos para o setor eólico

Políticas/Instrumentos	Argentina	Bolívia	Brasil	Chile	Colômbia	Equador	Paraguai	Peru	Venezuela	Uruguai	EUA	Alemanha	China	Índia
Incentivos Diretos														
Requisito de conteúdo local e/ou encomendas tecnológicas			•								•	•	•	•
Investimentos públicos, empréstimos, doações, subsídios ou descontos	•	•	•	•	•	•		•		•	•	•	•	•
Investimentos ou créditos fiscais de produção (incentivos financeiros e fiscais)	•		•	•	•						•	•	•	•
Direito aduaneiros favoráveis												•	•	•
Assistência de crédito à exportação												•		
Certificação de qualidade											•	•	•	•
Dispêndio em Pesquisa e Desenvolvimento	•		•	•						•	•	•	•	•
Incentivos Indiretos														
Redução imposto de vendas, energia, CO ₂ , IVA e outros (incentivos financeiros e fiscais)	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
<i>Feed-in</i> /pagamento de prêmio	•	•	•	•		•		•		•	•	•	•	•
Cota de concessionária de energia elétrica, metas obrigatórias de energia renovável ou padrões de <i>portfólio</i> de energias renováveis.	•	•		•				•			•		•	•
Licitação (leilão)	•	•	•	•	•	•		•		•	•	•	•	•

Fonte: Elaboração própria, adaptado de REN21 (2021), REN21 (2023).

Os instrumentos indiretos de cota, metas (MRET⁴³) ou padrões de *portfólio* de energias renováveis (RPS⁴⁴) também têm estimulado o desenvolvimento do setor eólico em diferentes economias. Dentre os países da América do Sul destacam-se Argentina e Chile, enquanto para o Peru e a Bolívia esses instrumentos têm dado maior ênfase nas tecnologias de fonte hídrica e solar. Esse instrumento consiste em uma meta/obrigação de fornecer ou usar um valor mínimo de renováveis – eólica, solar, biomassa ou hídrica, por exemplo –, predeterminado pelo governo. No que se refere ao sistema de licitação (leilão), dentre os países selecionados da amostra, apenas Paraguai e Venezuela não adotaram como um instrumento de estímulo para o setor. O sistema de licitação consiste em promover uma competição entre os produtores que disputarão a oferta de geração de energia, sendo considerado o principal instrumento de estímulo para as energias renováveis no contexto mundial. Em 2020, por exemplo, um total de 116 países adotaram o sistema de licitação/leilão, enquanto apenas 83 países adotaram o sistema *feed-in* (CGEE, 2012; REN21, 2023).

Entre os países da América do Sul, a Argentina e o Chile são os únicos países que tem adotado todas as políticas regulatórias e instrumentos de incentivos fiscais e de financiamento

⁴³ *Mandatory renewable energy targets* (MRET).

⁴⁴ *Renewables portfolio standards* (RPS)

com metas para a fonte eólica. No Brasil, que é considerado o principal mercado eólico na América do Sul, o sistema de leilões e a política de requisito de conteúdo local, promovida pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), têm sido os principais instrumentos de estímulos para o setor (PODCAMENI, 2014; ARAÚJO; WILLCOX, 2018). Nos países *players* do mercado *onshore*, a Índia e os EUA apresentam o maior volume de instrumentos direcionados para a transformação do sistema energético (REN21, 2023). No entanto, a Alemanha e a China têm adotado políticas mais incisivas, recorrendo a uma vasta gama de incentivos (IRENA, 2023).

Dado que o desenvolvimento do setor requer um elevado investimento inicial com um longo período de retorno (IRENA, 2023), na Índia foi perceptível uma relutância para os investimentos em novos projetos eólicos, ressaltando a importância da atuação do Estado “empreendedor” na criação de valor da indústria e no desenvolvimento de políticas de apoio direto e indireto (MAZZUCATO, 2014; IRFAN *et al.*, 2019).

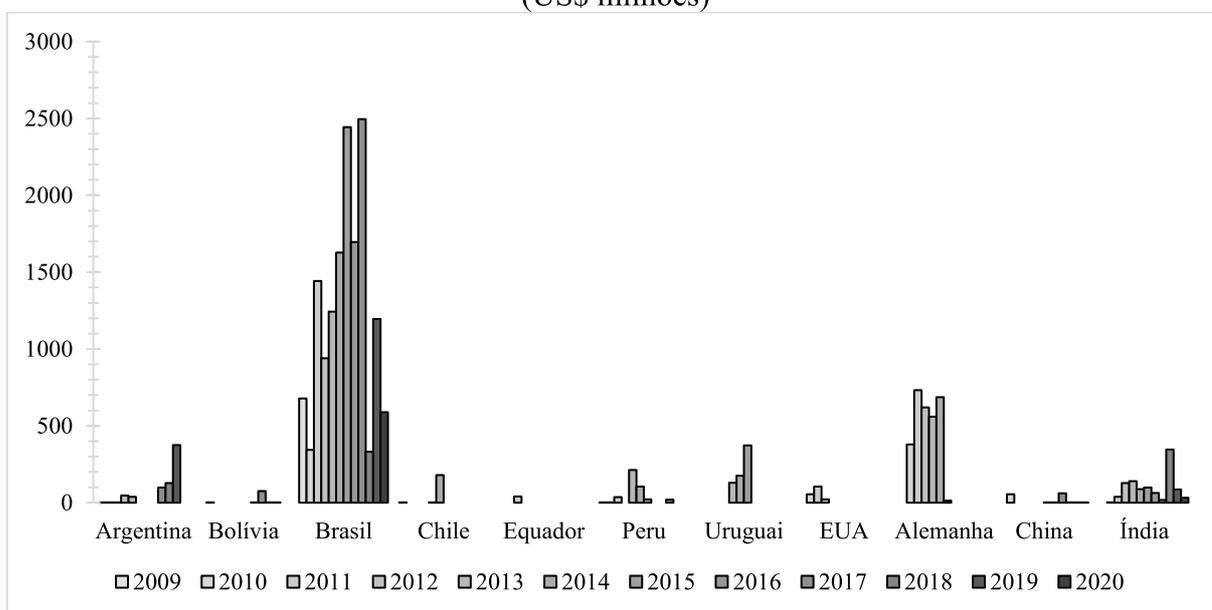
Embora desde os anos de 2010 tenha ocorrido um avanço no processo de transição energética da Índia, quando comparado com a China, a sua intervenção estatal ainda é limitada e menos eficaz no apoio para a capacidade de inovação no setor eólico (HAYASHI, 2020). No caso dos Estados Unidos, além da pressão das instituições do sistema vigente *carbon lock-in*, é possível identificar ao longo dos últimos anos algumas oscilações e/ou interrupções de estímulos para o setor.

Dentre os incentivos diretos, a capacidade global de energia eólica tem sido amplamente incentivada pelos instrumentos requisitos de conteúdo local e encomendas tecnológicas (ARAÚJO; WILLCOX, 2018). Esses tipos de instrumentos têm como objetivo o desenvolvimento tecnológico do mercado e a criação de demanda, a partir da aquisição e fabricação de componentes de fornecedores locais. Diferentes economias têm utilizado esse instrumento a partir de um aumento gradual de participação produtiva, na China a exigência inicial foi entre 50% e 70% da produção local (SILVA; KLAGGE, 2013); na Alemanha de 70% (CHANG *et al.*, 2021); no Brasil de 60% (FURTADO; PERROT, 2015).

Os instrumentos diretos de investimento público, empréstimos, doações, subsídios ou descontos apresentaram relevância em quase todos os mercados da amostra, com exceção da Venezuela – que, até o presente momento, não adotou nenhum tipo de incentivo para o setor eólico – e do Paraguai (REN21, 2021). Em linhas gerais, os últimos anos têm registrado um aumento significativo dos investimentos em energia eólica *onshore*. Em 2013, os investimentos no setor eram de 63 bilhões de dólares, atingindo 80 bilhões de dólares em 2016 (IRENA, 2019).

De acordo com IRENA (2023), os investimentos, entre 2021 e 2022, atingiram US\$ 176 bilhões. No entanto, ainda se caracterizam como investimentos modestos, pois, para que se possa alcançar as metas de expansão da capacidade instalada estabelecidas para 2030 e 2050, é necessária a ampliação dos investimentos anuais no âmbito global (IRENA, 2019). Não obstante, com a vida útil de algumas infraestruturas terminando, será necessária uma parcela do investimento para a revitalização dos parques eólicos existentes, a partir do desenvolvimento de políticas de integração que canalizem os investimentos públicos para infraestruturas, linhas de transmissão e instalações de armazenamento, por exemplo (IRENA, 2023).

Gráfico 3 – Investimento público em energia eólica – América do Sul e *players* do mercado (US\$ milhões)



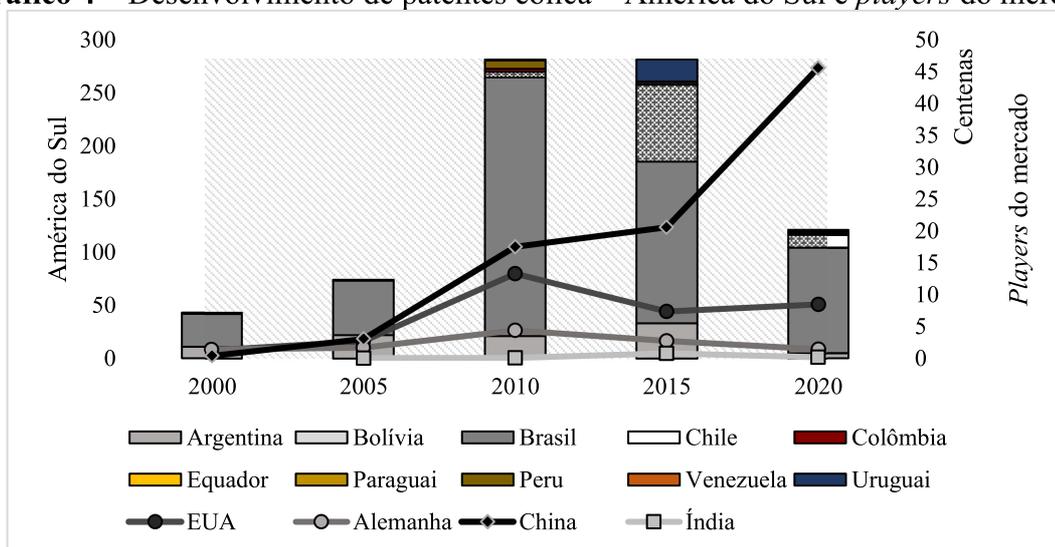
Fonte: Elaboração própria, com dados da IRENA (2023a). Nota: deflacionado para o ano base de 2019.

Conforme ilustra o Gráfico 3, entre 2009 e 2020, é possível identificar um montante significativo de investimento público em energia eólica no Brasil (IRENA, 2023a). Parte disso pode ser atribuída ao papel relevante que o banco estatal de desenvolvimento nacional, o BNDES, exerce, pois, embora tenha reduzido o volume de investimentos nos últimos anos, ainda assim, assume um papel de liderança (MAZZUCATO, 2014).

No caso da China e Índia, embora tenham apresentado baixos níveis de investimentos públicos para energia eólica no período analisado, registraram elevados montantes de investimentos com participação do setor privado. Em 2020, mais de 838 milhões de dólares foram investidos no setor de energia na China e, na Índia, mais de 3 bilhões de dólares. Entre 2020 e 2023, tanto a China quanto a Índia apresentaram uma taxa de crescimento nos investimentos com participação do setor privado. Na China, em 2023, mais de 38 bilhões de

dólares foram investidos, enquanto, na Índia, esse valor ultrapassou 4 bilhões de dólares. No entanto, no Brasil, houve uma redução de mais de 38% nos investimentos no setor de energia em comparação com o total investido em 2020.

Gráfico 4 – Desenvolvimento de patentes eólica – América do Sul e *players* do mercado



Fonte: Elaboração própria, com dados da OECD (2024).

No que se refere aos investimentos destinados para P&D eólica, em 2020, na Alemanha mais de 118 milhões de dólares foram investidos (incluindo *onshore*, *offshore* e sistemas de energia) e, no Brasil, mais de 11 milhões de dólares (IEA, 2024). Fundamental para os avanços do setor, a inovação consiste em um elemento-chave na redução dos custos da tecnologia (RODRIK, 2004; MAZZUCATO, 2014). Ao longo das duas últimas décadas, o custo médio ponderado (LCOE⁴⁵) de projetos eólicos *onshore* apresentou uma redução abrupta em diferentes países. Entre 2010 e 2023, no Brasil registrou uma redução de 80% no custo, a China 71%, a Alemanha e os EUA 65% e a Índia 53%. Já entre 2015 e 2023, o Chile e a Argentina registraram reduções de 47% e 13%, respectivamente (IRENA 2024).

Além desses incentivos para ampliação da atividade eólica, entre 2010 e 2020, houve uma redução nos subsídios para combustíveis fósseis em diferentes economias. Na China, essa redução foi superior a 60% e, na Índia, mais de 18%. Isso sinaliza uma maior maturidade da tecnologia eólica, possivelmente associada a uma combinação de fatores, como desempenho tecnológico, acessibilidade ao mercado e apoio institucional e político.

⁴⁵ *Levelized Cost of Energy* (LCOE).

3.4.3. Fatores e as combinações de estímulos para o desenvolvimento do setor eólico: a experiência dos players e os países da América do Sul

Para a perspectiva comparativa, as análises da PCA e da QCA foram realizadas para três recortes temporais subsequentes: 2010, 2015 e 2020. Esses recortes são justificados pelo fato de representarem o início da transição de alguns países e a maturidade em outros, uma vez que essa transformação ocorre em momentos distintos no tempo.

Com o objetivo de reduzir a dimensionalidade dos dados minimizando a perda de informações, os resultados obtidos no procedimento do PCA para a amostra total (Modelo 1) indicam dois principais componentes para todos os anos da amostra, cujo autovalores são $\lambda_k > 1$ (critério de *Kaiser*). Além disso, os resultados explicam mais de 70% da variância total (critério de *Person*), atendem aos testes *Alpha* e independência em todas as amostras e apresentam uma adequação aceitável, com $0,68 > KMO > 0,72$ (teste de *Kaiser-Meyer-Olkin*), conforme retrata a Tabela B1 no Apêndice.

O primeiro componente (C1), que representa mais de 64% da variância total em todos os períodos do Modelo 1, capta nitidamente as variáveis “produção de energia por combustíveis fósseis”, “emissões de CO₂ das atividades industriais”, “densidade populacional”, “PIB” e “patentes em energia”. Para a composição do segundo componente (C2), a variável de “importação de combustíveis fósseis” apresentou a maior carga nos três períodos analisados. Porém, para a amostra de 2020, a variável “investimento no setor de energia” passou a apresentar uma carga representativa e estatisticamente significativa.

Cabe mencionar que a PCA depende da matriz de covariância ou correlação, exigindo uma base de dados equilibrada para atribuir os pesos corretamente. Assim, a fim de evitar viés nos componentes, ao identificar dados ausentes (*missing*) para o Uruguai, Venezuela e EUA, optou-se pela remoção desses países na análise (Modelo 2).

Tabela 1 – Componentes Principais (PCA) – América do Sul e *players* do mercado

Variáveis	Amostra 2010		Amostra 2015		Amostra 2020	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Combustíveis fósseis (1)	0,4038***	-0,137	0,4235***	-0,2132	0,4296***	-0,2426
Emissões CO2 industrial (2)	0,4304***	-0,1728	0,4336***	-0,1855	0,4474***	-0,1589
Densidade populacional (3)	0,3916***	0,0683	0,356***	0,422***	0,3978***	0,2078
PIB (4)	0,4177***	-0,2681	0,4238***	-0,2319	0,4553***	-0,1635
Investimento energia (5)	0,3613***	0,4462***	0,3455***	-0,1605	0,2183	0,535***
Importação combustíveis fósseis (6)	0,1826	0,7903***	0,2099	0,8139***	0,109	0,7448***
Patentes (7)	0,4001***	-0,2263	0,4036***	0,0083	0,4362***	-0,0707
Autovalor	4,81141	1,22174	5,02672	1,07328	4,56001	1,18486
Proporção da variância total	68,73%	17,45%	71,81%	15,33%	65,14%	16,93%
Teste Alpha	0,9156	0,9156	0,9149	0,9149	0,8873	0,8873
KMO	0,6167	0,6167	0,6167	0,6167	0,6594	0,6594

Variáveis	Obs.	Amostra 2010				Amostra 2015				Amostra 2020			
		Média	DP	Min.	Máx.	Média	DP	Min.	Máx.	Média	DP	Min.	Máx.
Comb. fós. (1)	11	8,759	3,770	-0,8722	13,49	9,444	2,761	3,674	13,82	9,571	2,791	3,723	14,060
CO2 ind, (2)	11	2,99	2,712	-1,90	7,952	3,169	2,562	-1,121	8,004	3,003	2,709	-1,790	7,9559
Dens, pop, (3)	11	3,753	1,240	2,240	6,036	3,803	1,230	2,319	6,101	3,85	1,220	2,3894	6,156
PIB (4)	11	26,59	1,944	23,701	29,43	26,820	1,886	24,21978	30,0345	26,83	1,945	24,29	30,318
Invest. energ. (5)	11	4,290	3,339	-1,365	9,101	4,099	2,771	-0,9780	8,985	3,43	2,946	-1,292	7,9471
Import. comb. fós. (6)	11	2,637	0,5020	1,635	3,455	2,576	0,3407	2,153	3,287	2,376	0,4972	1,621	3,344
Patentes (7)	11	2,112	2,475	0	6,934	1,910	2,519	0	6,226	1,904	2,607	0	6,9102

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados do Modelo 2 seguem atendendo aos critérios de *Kaiser e Person*, aos testes *Alpha*, independência e KMO, conforme descritas na Tabela 1. Na amostra de 2010, as variáveis com maiores cargas para o C1 foram “emissões de CO₂ das atividades industriais” (0,43), “PIB” (0,41), “produção de energia por combustíveis fósseis” (0,40), “patentes em energia” (0,40) e “densidade populacional” (0,39). Para o C2, as variáveis “importação de combustíveis fósseis” (0,79) e “investimento em energia” (0,44) apresentaram as maiores cargas estatisticamente significativas. Do mesmo modo, para a amostra de 2020, com variações apenas na magnitude das cargas. No entanto, para a amostra de 2015, a variável “densidade populacional” (0,42) passou a apresentar cargas maiores e estatisticamente significativas para o C2, enquanto “investimento em energia” (0,34) passou a compor o C1.

Para aprofundar a análise desses resultados, também foi avaliado um modelo com foco nos investimentos direcionados às energias renováveis (Modelo 3). Os resultados identificados no Modelo 3 apresentam composições semelhantes ao Modelo 2 e seguem atendendo aos critérios de *Kaiser e Person*, aos testes *Alpha*, independência e KMO.

Tabela 2 – Melhores indicadores dos Componentes Principais (PCA)

Variáveis	Amostra 2010		Amostra 2015		Amostra 2020	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Modelo 2						
Combustíveis fósseis (1)	●		●		●	
Emissões CO2 industrial (2)	●		●		●	
Densidade populacional (3)	●		○	●	●	
PIB (4)	●		●		●	
Investimento energia (5)	○	●	○			●
Importação combustíveis fósseis (6)		●		●		●
Patentes energias (7)	●		●		●	
Autovalor	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Proporção da variância total	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Teste Alpha	✓	✓	✓	✓	✓	✓
KMO	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Modelo 3						
Combustíveis fósseis (1)	●		●		●	
Emissões CO2 industrial (2)	●		●		●	
Densidade populacional (3)	●		○	●	●	
PIB (4)	●		●		●	
Investimento energias renováveis (5)		●	○			●
Importação combustíveis fósseis (6)		●		●		●
Patentes energias renováveis (7)	●		●		●	
Autovalor	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Proporção da variância total	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Teste Alpha	✓	✓	✓	✓	✓	✓
KMO	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: Elaboração própria. Nota: as variáveis com “○” apresentam coeficiente estatisticamente significativos a 95%; porém com cargas menores de 0,40, enquanto “●” apresentam cargas maiores que 0,40 e são estatisticamente significativas.

A Tabela 2 reporta os principais resultados obtidos com o Modelo 2 e 3. Em ambos, é possível identificar uma padronização na composição de C1, que representa mais de 40% da variância total nas amostras de 2010, 2015 e 2020. As maiores cargas que compõem o C1 provêm das variáveis de emissões de “CO₂ industrial”, “produção de energia por combustíveis fósseis”, “PIB” e “patentes”, todas estatisticamente significativas ao nível de 95% de confiança. Portanto, esse componente pode ser interpretado como um indicador de “*carbon lock-in*”.

No C2, a variável de “importação de combustíveis fósseis” apresenta a maior carga nas três amostras de ambos os modelos, enquanto as variáveis de “investimentos em energia” (Modelo 2) e “investimento em energias renováveis” (Modelo 3) apresentam estatísticas significativas apenas para as amostras de 2010 e 2020. Portanto, com parcimônias, este componente pode ser interpretado como um indicador de “dependência e investimento energético”.

Tabela 3 – Matrizes e estatísticas descritivas

Amostra 2010									
	E	V	C	D	Obs.	Média	DP	Min.	Máx.
E	1	0,694	0,899	0,587	11	0,41	0,381	0	1
V	0,571	1	0,636	0,582	11	0,5	0,331	0	1
C	0,74	0,636	1	0,673	11	0,5	0,331	0	1
D	0,483	0,582	0,673	1	11	0,5	0,331	0	1
Amostra 2015									
	E	V	C	D	Obs.	Média	DP	Min.	Máx.
E	1	0,644	0,919	0,617	11	0,5	0,331	0	1
V	0,63	1	0,659	0,713	11	0,5	0,331	0	1
C	0,827	0,607	1	0,644	10	0,5	0,336	0	1
D	0,556	0,656	0,644	1	10	0,5	0,336	0	1
Amostra 2020									
	E	V	C	D	Obs.	Média	DP	Min.	Máx.
E	1	0,644	0,919	0,617	11	0,5	0,331	0	1
V	0,745	1	0,659	0,713	11	0,5	0,331	0	1
C	0,818	0,636	1	0,644	11	0,5	0,331	0	1
D	0,582	0,60	0,618	1	11	0,5	0,331	0	1

Fonte: Elaboração própria.

A partir do método *fsQCA*, a Tabela 3 retrata as matrizes de suficiência e necessidade para cada período amostral e suas respectivas estatísticas descritivas: média, desvio padrão, valor mínimo e valor máximo. Além da “velocidade média do vento” (V), as análises englobam os resultados dos indicadores extraídos na PCA, em suas respectivas amostras: i) o componente de “*carbon lock-in*” (C) e, ii) o componente de “dependência e investimento energético” (D). Os valores na coluna indicam se determinada condição é “necessária” para o resultado (acima de 0,9), enquanto os valores na linha indicam se essa condição é “suficiente” (acima de 0,8).

Assim, é possível identificar que apenas para as amostras de 2015 e 2020 a variável “C” apresenta valor acima de 0,9 na matriz de necessidade e valor acima de 0,8 na matriz de suficiência. Portanto, nenhuma condição isolada é estritamente “necessária” e “suficiente”, embora “C” esteja próximo disso para “E”.

Tabela 4 – Frequência das configurações Qualitativa Comparativa (QCA)

Amostra 2010				Amostra 2015				Amostra 2020			
Config.	Freq.	Percent.	Cum.	Config.	Freq.	Percent.	Cum.	Config.	Freq.	Percent.	Cum.
VCD	1	12,5	12,5	VCD	1	11,11	11,11	VCd	1	12,5	12,5
VCd	2	25	37,5	VCd	2	22,22	33,33	VcD	1	12,5	25
Vcd	2	25	62,5	VcD	1	11,11	44,44	Vcd	1	12,5	37,5
vCD	1	12,5	75	vCd	1	11,11	55,56	vCD	1	12,5	50
vcD	1	12,5	87,5	vcD	2	22,22	77,78	vCd	1	12,5	62,5
vcd	1	12,5	100	vcd	2	22,22	100	vcD	2	25	87,5
								vcd	1	12,5	100
Total	8	100		Total	9	100		Total	8	100	

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 4 fornece a frequência das configurações lógicas que exibem as relações para especialização eólica forte (E), a partir de três condições (V, C e D), cujas respectivas consistências são maiores que 0,80 e estatisticamente significativas no nível de 5% (Tabela B4 no Apêndice).

Para a amostra de 2010, as principais configurações foram “VCd” e “Vcd”. No primeiro caso, a configuração indica que a especialização do país em energia eólica ocorre quando a combinação de alto “V” e “C”, e ausência de “d”, estão presentes. Já no segundo caso, a especialização ocorre quando “V” está presente, combinada com a ausência da participação de “c” e “d”, destacando, portanto, a importância da velocidade média do vento (condição INUS). Para a amostra de 2015, as configurações “VCd”, “vcD” e “vcd” foram as mais frequentes entre as demais. Já para a amostra de 2020, destaca-se apenas a configuração “vcD”. Portanto, é possível identificar múltiplos caminhos associados à especialização eólica (*equifinalidade*), a saber:

$$\begin{aligned} &VCD + VCd + Vcd + vCD + vcD + vcd \rightarrow E \text{ (2010)} \\ &VCD + VCd + VcD + vCd + vcD + vcd \rightarrow E \text{ (2015)} \\ &VCd + VcD + Vcd + vCD + vCd + vcD + vcd \rightarrow E \text{ (2020)} \end{aligned}$$

Ao aplicar o algoritmo de minimização de *Quine–McCluskey*, apenas 2015 e 2020 apresentaram uma combinação reduzida, com alta consistência (< 0.9) e cobertura acima de 40%, a saber:

$$VCD \rightarrow E \text{ (2015)}$$

vCD → E (2020)

Esse resultado indica que, para a amostra de 2015, a alta “velocidade média do vento”, combinada com alto “*carbon lock-in*” e alta “dependência e investimento energético”, se configura como um caminho de estímulo para um país se especializar em energia eólica; porém, essas condições são individualmente insuficientes para influenciar essa transformação, pois só levam ao resultado “E” se combinadas. Do mesmo modo, para a amostra de 2020, o resultado de minimização indica que o alto “C” e a alta “D” se configuram como um caminho de estímulo para especialização eólica, quando combinadas com “v”. Isto é, “C” e “D” são condições necessárias e, juntas, podem estimular a especialização mesmo com a ausência de “v”.

A Tabela 5 reporta as combinações resultantes para cada país e seus respectivos níveis de especialização eólica após a minimização de *Quine–McCluskey*. Dentre os países da América do Sul, em 2010, apenas o Brasil e o Chile apresentavam indícios de especialização eólica, com as seguintes configurações: “vCD” e “VCd”, respectivamente. Em ambos os casos, a condição de alto “*carbon lock-in*” se destaca como um fator importante para a especialização, quando combinada com outras condições. Esse período foi marcado com um quadro de políticas e instrumentos voltados à adoção de energias renováveis na matriz energética desses países, além de representar uma fase inicial para as atividades eólicas. Para o Brasil, a configuração “vCD” se manteve nos demais períodos da análise, enquanto no Chile, para o período de 2020, a “velocidade média do vento” combinada com ausência de “c” e “d” destacou-se como um caminho para obter “E”.

Tabela 5 – Grau de especialização eólica por países e suas configurações resultantes do QCA

Países	Amostra 2010		Amostra 2015		Amostra 2020	
	QL	QCA	QL	QCA	QL	QCA
Argentina	⊗	Vcd	⊗	VcD	○	
Bolívia	⊗		⊗	vCd	⊗	vcD
Brasil	○	vCD	○	vCD	○	vCD
Chile	○	VCd	○	VCd	○	Vcd
Colômbia	⊗	vcD	⊗	vcD	⊗	vCd
Equador	⊗		⊗	vCd	⊗	vcD
Paraguai	⊗	Vcd	⊗	Vcd	⊗	VcD
Peru	⊗	vCd	⊗	vcD	⊗	vcD
China	○	VcD	●	VcD	●	
Índia	●		○		○	
Alemanha	●	VcD	●		●	VCd

Fonte: Elaboração própria. Nota: “⊗” significa não especialização, “○” significa indícios de especialização e “●” especialização.

Para a Bolívia, a Colômbia, o Equador, o Paraguai e o Peru, os resultados não apresentam indícios de especialização eólica em nenhum período da análise. No caso da Argentina e Índia, com indícios de especialização e condições naturais adequadas, em 2020, não houve configurações finais resultantes do QCA – o que pode indicar que há outros fatores associados que quando combinados podem estimular um país a se especializar em energia eólica, como investimento direto estrangeiro, regulação, tarifas e subsídios, por exemplo. No que se refere aos *players* do setor, em 2010 e 2015, é possível identificar uma padronização das configurações na China e Alemanha, em que a alta “velocidade média do vento” e a alta “dependência e investimento energético” combinada com ausência de “*carbon lock-in*” estimulam a especialização do país na atividade eólica.

Assim, esses resultados indicam possíveis caminhos de estímulo para as atividades. No entanto, para canalizar as potencialidades de cada país e promover a transição energética de baixo carbono – aproveitando a “janela de oportunidade” que o processo de transição mundial em curso apresenta para as economias menos desenvolvidas –, faz-se imprescindível a combinação de políticas e instrumentos, com metas de médio e longo prazo voltadas para o setor.

3.5. Considerações finais

Este artigo propôs identificar os fatores associados e os caminhos condicionantes para a especialização no setor eólico, à luz de uma perspectiva comparativa entre os países da América do Sul (Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru, Uruguai, Venezuela) e os *players* do mercado *onshore* (Alemanha, China, Estados Unidos e Índia). Para isso, foram construídos indicadores utilizando o Quociente Locacional (QL) e aplicadas técnicas de análise multivariada, como a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise Qualitativa Comparativa (QCA), para os anos de 2010, 2015 e 2020.

Nas duas últimas décadas, a indústria eólica mundial apresentou um avanço exponencial na capacidade instalada, acompanhado de uma redução dos custos de instalação. Parte dessa expansão pode ser atribuída à criação de um ambiente que viabilizou esse desempenho, com o desenvolvimento de marcos regulatórios, da criação de órgãos, da criação de instituições normativas e da ampliação de recursos financeiros destinado ao setor. Liderado pela China, Alemanha, Estados Unidos e Índia, o setor eólico *onshore* apresentou, em 2018, uma capacidade instalada global de 542 *gigawatt* (GW) *onshore* e 24 GW *offshore*. Juntas, essas operações geraram mais de 1 milhão de empregos no setor. Até 2010, a Europa liderava o setor

eólico; porém, foi ultrapassada pelo mercado chinês. A literatura destaca que parte do sucesso da China pode ser atribuída à maturidade de seu sistema de inovação, bem como a uma série de políticas industriais e energéticas implementadas desde 2005.

No contexto do desempenho dos países da América do Sul, na última década, a tecnologia de energia eólica vem ganhando fôlego na indústria doméstica. Com um histórico de programas e políticas industriais e de desenvolvimento produtivo, o Brasil apresenta elevada capacidade eólica instalada globalmente, ficando atrás apenas dos *players* e da Espanha. Dentre os demais países da América do Sul, Argentina e Chile se destacam por adotar todas as políticas regulatórias (instrumentos indiretos) e os incentivos fiscais e de financiamento (instrumentos direto), com metas específicas para a fonte eólica – que se consolidou como uma fonte de crescimento exponencial na matriz energética desses países entre 2015 e 2020. Do mesmo modo, o Uruguai registrou uma transição em seu sistema energético: até 2005, sua matriz energética era majoritariamente composta por fontes fósseis, com importações superiores a 64% da oferta primária total. Já em 2020, mais de 40% da matriz provinha da fonte eólica.

No que se refere às condições naturais, além dos países *players* do mercado, o Uruguai, a Argentina, o Paraguai, o Chile e o Brasil apresentaram uma velocidade média de vento adequada para a tecnologia. Assim, o resultado de especialização obtido com o indicador QL destacou o Uruguai como um país com elevada participação da fonte eólica na sua matriz energética, isto é, um país especializado. Os resultados também apontaram indícios de especialização para o Brasil, para o Chile e para a Argentina.

Os principais instrumentos de estímulos para o setor têm sido o requisito de conteúdo local, sistema de licitação, leilão e *feed-in*. Em termos de investimentos, em 2015, o setor privado investiu mais de 270 US\$ bilhões em tecnologias renováveis, com uma maior destinação para fonte eólica e solar. Esse cenário tem sido impulsionado pelos bancos estatais de desenvolvimento que, nas duas últimas décadas, juntos fomentaram mais de 100 US\$ milhões (acumulado até 2021) em energias renováveis. Com um volume elevado de investimentos públicos, o Brasil tem assumido um papel de liderança de mercado, especialmente quando comparado com as demais economias da América do Sul. No entanto, estima-se que, para atender às metas estabelecidas até 2050, é imprescindível a ampliação dos investimentos no setor, com parte dos recursos destinados à revitalização e à criação de novas infraestruturas, linhas de transmissão e instalações de armazenamento.

No que se refere ao desenvolvimento tecnológico, mensurado a partir do número de patentes e a disponibilidade de financiamento público direcionado para pesquisa e desenvolvimento (P&D), foi possível identificar um *gap* entre as economias da América do Sul

e os países *players* do mercado. O que ressalta, portanto, a necessidade de instrumentos direcionados para o ambiente científico e tecnológico, para que se possa criar um ambiente impulsionador de especializações com elevado conteúdo tecnológico e maior valor agregado.

De fato, diferentes fatores podem estar associados ao desenvolvimento da atividade eólica. Este trabalho contemplou a análise de fatores de natureza econômica, política e natural, com suas respectivas combinações de estímulos direcionados à experiência dos *players* do mercado e dos países da América do Sul. A partir de dois fatores extraídos do procedimento PCA e aplicados na QCA, foi possível identificar que um alto “*carbon lock-in*” e alta “dependência e investimento energético”, quando combinados com outras condições, podem construir “caminhos” de estímulo para o setor eólico. Os resultados também indicaram que a alta “velocidade média do vento” é uma condição “necessária” para estimular a especialização eólica, mas, individualmente, é insuficiente para influenciar essa transformação, pois requer a combinação com outras condições.

Adicionalmente, dentre os caminhos resultantes do procedimento do QCA, foi possível identificar uma padronização das configurações na China e Alemanha: alta “velocidade média do vento” e alta “dependência e investimento energético”, combinadas com a ausência de “*carbon lock-in*”. Cabe ressaltar que o fator de “dependência e investimento energético” é composto pelas variáveis “importação de combustíveis fósseis” e “investimento no setor de energia”; portanto, pode refletir um movimento de transição no setor, no qual o maior volume de investimentos superaria a importação de combustíveis fósseis no país. Esse resultado pode sinalizar não apenas a maturidade dos *players* no mercado *onshore*, mas também a importância da adoção de uma estratégia de longo prazo, cujos instrumentos de apoio direto são mantidos e/ou acrescentados ao longo dos anos.

Por fim, o desenvolvimento do setor eólico tem sido viabilizado e apontado como um ambiente promissor, inclusive para atração e competitividade de outras tecnologias renováveis não convencionais associadas, como o hidrogênio verde. Embora represente um desafio diante da multiplicidade de objetivos, o presente debate considera como fator predominante, para as economias da América do Sul, a combinação e a coordenação entre as políticas industriais, energéticas e climáticas. Assim, torna-se essencial identificar as oportunidades e canalizar os benefícios do processo de transformação do sistema energético em direção a um modelo ambientalmente sustentável.

Referências

- ANDERSEN, Poul; *et al.* Industry evolution, submarket dynamics and strategic behavior among firms in offshore wind energy. **Competition & Change**, v. 21, n. 2, p. 73–93, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1177/1024529416689793>
- AIGINGER, Karl; RODRIK, Dani. Rebirth of Industrial Policy and an Agenda for the Twenty-First Century. **Journal of Industry, Competition and Trade**, v. 20, p. 189–207, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10842-019-00322-3>
- ALTENBURG, Karl; RODRIK, Dani. Green industrial policy: accelerating structural change towards wealthy green economies. In: **Green industrial policy: concept, policies, country experiences**, UN Environment, 2017.
- ALLAN, Bentley; *et al.* Green Industrial Policy and the Global Transformation of Climate Politics. **Global Environmental Politics**, v. 21, n. 4, 2021. DOI: https://doi.org/10.1162/glep_a_00640
- ÁLVAREZ, Carlos; SUTIN, Tania. Políticas industriales y tecnológicas en Chile: el desafío de la transformación productiva. In: **Políticas industriales y tecnológicas en América Latina**, CEPAL, 2017.
- ARAÚJO, Bruno. WILLCOX, Luiz. Reflexões críticas sobre a experiência brasileira de política industrial no setor eólico. **BNDES Setorial**, v. 47, p. 163-220, 2018.
- AWATE, Snehal; *et al.* EMNE catch-up strategies in the wind turbine industry: Is there a trade-off between output and innovation capabilities? **Global Strat Journal**, v. 2, p. 205–223, 2012. DOI: 10.1111/j.2042-5805.2012.01034.x
- BARTHOLOMEW, David; *et al.* **Analysis of multivariate social science data**. Second Edition: Taylor & Francis Group, 2008.
- BETARELLI JUNIOR, Admir; FERREIRA, Sandro. **Introdução à análise qualitativa comparativa e aos conjuntos Fuzzy (fsQCA)**. Brasília: Enap, 2018.
- BÉRTOLA, Luis; LARA, Cecilia. Política industrial en el ciclo de los commodities en Uruguay. In: **Políticas industriales y tecnológicas en América Latina**, CEPAL, 2017.
- CEBOLLA, Rafael; NAVAS, Carlos. Supporting hydrogen technologies deployment in EU regions and Member States: The Smart Specialisation Platform on Energy (S3PEnergy). **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, p. 19067- 19079, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.05.041>
- CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos: Ciência, Tecnologia e Inovação. **Análises e percepções para o desenvolvimento de uma política de CT&I no fomento da energia eólica no Brasil**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012.
- CHANG, Ha-Joon. Institutions and economic development: theory, policy and history. **Journal of Institutional Economics**, v. 7, n. 4, p. 473–498, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1744137410000378>

- CHANG, Ha-Joon. Um estudo sobre a relação entre Instituições e Desenvolvimento Econômico – algumas questões teóricas fundamentais. **Revista de Economia Heterodoxa**, n. 10, p. 13-31, 2008.
- CIMOLI, Mario; *et al.* Los fundamentos de las políticas industriales y de innovación. In: **Políticas industriales y tecnológicas en América Latina**, CEPAL, 2017.
- CORPENICUS. **Climate Data Store**. CORPENICUS, 2024. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/>. Acesso em março de 2024.
- MATTI, Cristian; *et al.* Multi-level policy mixes and industry emergence: The case of wind energy in Spain. *Environment and Planning C: Government and Policy*, p. 1-23, 2017. <https://doi.org/10.1177/0263774X16663933>
- DELGADO, Ignacio. Política industrial na china, na Índia e no Brasil: legados, dilemas de coordenação e perspectivas. **Texto para discussão, 2059** / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2015.
- DELEIDI, Matteo; *et al.* Neither crowding in nor out: Public direct investment mobilising private investment into renewable electricity projects. **Energy Policy**, v. 140, 111195, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111195>
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Inova-E Brasil**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plataforma-inova-e-panorama-dos-investimentos-de-inovacao-em-energia-no-brasil>. Acesso em março de 2022.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil - 2ª Edição**, Editora: Aneel, 2005.
- FERRAGUT, Pablo. **Hidrógeno verde y el potencial para Uruguay: Insumos para la elaboración de la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde de Uruguay**. Banco Interamericano de Desarrollo, 2022.
- FORAY, Dominique. Smart specialization strategies as a case of mission-oriented policy: a case study on the emergence of new policy practices. **Industrial and Corporate Change**, v. 27, n. 5, p. 817–832, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dty030>
- FORNAHL, Dirk. From the Old Path of Shipbuilding onto the New Path of Offshore Wind Energy? The Case of Northern Germany. **European Planning Studies**, v. 20, n. 5, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2012.667928>
- GONÇALVES, Arthur. Perspectivas de futuro para a política energética chinesa e suas implicações nas relações sino-brasileiras. **Petrel (54)**, v.03, n. 05, 2021.
- GRAMKOW, Camila; *et al.* **O grande impulso (big push) energético do Uruguai**. Série Estudos e Perspectivas-Escritório da CEPAL em Brasília, N° 4, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), 2019.

- GRILLITSCH, Markus. Institutions, Smart Specialisation Dynamics and Policy. **Papers in Innovation Studies**, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1177/0263774X15614694>
- GRILLITSCH, Markus, ASHEIM, Bjørn. Place-based innovation policy for industrial diversification in regions. **European Planning Studies**, v. 26, n. 8, p. 1638-1662, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2018.1484892>
- GRILLITSCH, Markus; HANSEN, Teis. Green industry development in different types of regions. **European Planning Studies**, v. 27, n. 11, p. 2163–2183, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2019.1648385>
- HAYASHI, Daisuke. Harnessing innovation policy for industrial decarbonization: Capabilities and manufacturing in the wind and solar power sectors of China and India. **Energy Research & Social Science**, v. 70, n. 101644, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101644>
- HADDAD, Paulo; *et al.* **Economia regional: teorias e métodos de análise**. Fortaleza: ETENE-BNB, 1989.
- HILDEBRAND, G.; MACE, A. The employment multiplier in an expanding industrial market: Los Angeles County, 1940-47. **Review of Economics and Statistics**, v. 32, p. 241-49, 1950.
- HESS, David; MAI, Quan. Renewable electricity policy in Asia: A qualitative comparative analysis of factors affecting sustainability transitions. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eist.2014.04.001>
- IEA – International Energy Agency. **Energy Technology Perspectives 2023**. International Energy Agency (IEA), 2023a.
- IEA – International Energy Agency. **Scaling up Private Finance for Clean Energy in Emerging and Developing Economies**. International Energy Agency (IEA) and International Finance Corporation (IFC), 2023b.
- IEA – International Energy Agency. **Policies database**. International Energy Agency (IEA), 2023c. Disponível em: <https://www.iea.org/policies>. Acesso em novembro de 2023.
- IEA – International Energy Agency. **Renewables 2024 Analysis and forecasts to 2030**. IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2024>. Acesso em janeiro de 2025.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty**. 1. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2022.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper)**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019a.

- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Hydrogen: A renewable energy perspective**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019b.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ed. 2020a.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Renewable energy finance: Green Bonds**. (Renewable Energy Finance Brief 03, January 2020), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2020b.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2021a.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Offshore renewables: An action agenda for deployment**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2021b.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Tracking the impacts of innovation: Offshore wind as a case study**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2021c.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Renewable Power Generation Costs in 2020**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2021d.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Global landscape of renewable energy finance**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2023a.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Renewable energy statistics 2023**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2023b.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Sources of Investment**. IRENA, 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/financeinvestment>. Acesso em março de 2022.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Renewable energy statistics 2024**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2024.
- IRFAN, Muhammad; *et al.* Competitive assessment of Indian wind power industry: A five forces model. **Renewable Sustainable Energy**, v. 11, n. 063301, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5116237>
- KERN, Florian; *et al.* From laggard to leader: Explaining offshore wind developments in the UK. **Energy Policy**, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.031>
- KÖHLER, Jonathan; *et al.* An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 31, p. 1–32, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.004>
- LAPLANE, Mariano; LAPLANE, Andrea. Planes industriales y los desafíos del desarrollo sostenible en Brasil. In: **Políticas industriales y tecnológicas en América Latina**, CEPAL, 2017.

- LEWIS, Joanna. Industrial policy, politics and competition: Assessing the post-crisis wind power industry. **Business and Politics**, v. 16, n. 4, p. 511 – 547, 2014. DOI: 10.1515/bap-2014-0012. DOI: 10.1515/bap-2014-0012
- LUTZ, Salla; ELLEGAARD, Chris. The mobilization of supplier resources for complex projects: A case study of routines in the offshore wind turbine industry. **Australasian Marketing Journal**, v. 23, p. 107–116, 2015. DOI: 10.1016/j.ausmj.2015.04.005
- MATHIAS, João; *et al.* Green new deal como estratégia de desenvolvimento pós-pandemia: lições da experiência internacional. **Revista Tempo do Mundo**, n. 26, 2021. DOI: <https://doi.org/10.38116/rm26art4>
- MATTEI, Taise; MATTEI, Tatiane. Métodos de Análise Regional: um estudo de localização e especialização para a Região Sul do Brasil. **Revista Paranaense de Desenvolvimento, Curitiba**, v.38, n.133, p.227-243, 2017.
- MAZZUCATO, Mariana. **O Estado Empreendedor: Desmascarando o Mito do Setor Público vs. Setor Privado**. São Paulo: Portfolio Perguin, 2014.
- MAZZUCATO, Mariana. Challenge-Driven Innovation Policy: Towards a New Policy Toolkit. **Journal of Industry, Competition and Trade**, v. 20, p. 421–437, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10842-019-00329-w>
- MAZZUCATO, Mariana; PEREZ, Carlota. **Redirecting Growth: Inclusive, sustainable and innovation led**. UCL Institute for Innovation and Public Purpose, Working Paper Series (IIPP WP 2022-16), 2022.
- MOLDVAY, János; *et al.* Assessing opportunities and constraints related to different models for supplying wind turbines to the South African wind energy industry. **Development Southern Africa**, v. 30, n. 3, p. 315-331, 2013. DOI: 10.1080/0376835X.2013.817305
- MINEM – Ministerio de Energía y Minería. **Energías renovables en Argentina**. MINEM, Subsecretaría de energías renovables, 2016.
- MINEM – Ministerio de Energía y Minería. **Generación de empleo energías renovables. Programa RenovAr y MATER**. MINEM, Subsecretaría de energías renovables, 2018.
- MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Neoindustrialização: Brasil ganha nova política industrial com metas e ações para o desenvolvimento até 2033**. MDIC, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/vice-presidencia/central-de-conteudo/noticias/brasil-ganha-nova-politica-industrial-com-metas-e-acoes-para-o-desenvolvimento-ate-2033>. Acesso em janeiro de 2025.
- MME – Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia**. MME, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia>. Acesso em novembro de 2023.

- NAHM, Jonas. Renewable futures and industrial legacies: Wind and solar sectors in China, Germany, and the United States. **Business and Politics**, v. 19, n. 1, p. 68–106, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1017/bap.2016.5>
- NILSEN, Trond; NJØS, Rune. Emergence of new industries in peripheral regions: the role of narratives in delegitimation of onshore wind in the Arctic Finnmark region. **Regional Studies, Regional Science**, v. 9, n. 1, p. 603-617, 2022. DOI: [10.1080/21681376.2022.2122863](https://doi.org/10.1080/21681376.2022.2122863)
- NORTH, Douglas. Institutions. **Journal of Economic Perspectives**, v. 5, n 1, p. 97–112, 1991.
- NELSON, Richard. ‘What Enables Rapid Economic Progress? What are the Needed Institutions?’. **Research Policy**, v. 37, n.1, p. 1-11, 2008.
- NELSON, Richard; WINTER, Sidney. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982.
- OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. **Data**. OECD, 2024. Disponível em: <https://www.oecd.org/>. Acesso em fevereiro de 2024.
- OSUNMUYIWA, Olufolahan; KALFAGIANNIB, Agni. Transitions in unlikely places: Exploring the conditions for renewable energy adoption in Nigeria. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 22, p. 26–40, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.eist.2016.07.002>
- PEGELS, Anna; LÜTKENHORST, Wilfried. Is Germany's energy transition a case of successful green industrial policy? Contrasting wind and solar PV. **Energy Policy**, v. 74, p. 522–534, 2014. DOI: [10.1016/j.enpol.2014.06.031](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.06.031)
- PODCAMENI, Gabriella. Elementos para uma análise da inserção da energia eólica no Brasil a partir de uma perspectiva da política industrial. **Revista Econômica**, v.16, n.2, p. 51-76, dezembro 2014.
- QUITZOW, Rainer; *et al.* Development trajectories in China’s wind and solar energy industries: How technology-related differences shape the dynamics of industry localization and catching up. **Journal of Cleaner Production**, v. 158, p. 122-133, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.130>
- RAGIN, Charles. Set Relations in Social Research: Evaluating Their Consistency and Coverage. **Political Analysis**, v. 14, p. 291–310, 2006. DOI:[10.1093/pan/mpj019](https://doi.org/10.1093/pan/mpj019)
- RAGIN, Charles; RIHOUX, Benoît. Qualitative Comparative Analysis (QCA): State of the Art and Prospects. **Qualitative Methods**, 2004. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.998222>
- REN21 – Renewables Now. **Renewables 2019: Global Status Report**. REN21, 2019. Disponível em: www.ren21.net. Acesso em novembro de 2023.

- REN21 – Renewables Now. **Renewables 2021: Global Status Report**. REN21, 2021. Disponível em: www.ren21.net. Acesso em novembro de 2023.
- REN21 – Renewables Now. **Renewables 2023: Global Status Report Collection, Global Overview**. REN21, 2023. Disponível em: www.ren21.net/gsr-2023. Acesso em: 08/11/2023.
- REZENDE, Autenir; DINIZ, Campolina. Identificação de clusters industriais: uma aplicação de índices de especialização e concentração, e algumas considerações. **Revista de Desenvolvimento Regional**, v. 18, n. 2, p. 38 – 54, 2013.
- RIHOUX, Benoît; *et al.* Qualitative Comparative Analysis (QCA) in Public Policy Analysis: an Extensive Review. **German Policy Studies**, v. 7, n. 3, p. 9-82, 2011.
- RODRIK, Dani. Industrial policy for the twenty-first century. **Faculty Research Working Papers Series**, 2004.
- RODRIK, Dani. Green Industrial Policy. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 30, n. 3, p. 469–49, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxrep/gru025>
- SCHUMPETER, Joseph. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico**. Os economistas, 1997.
- SCHMID, Benjamin; BORNEMANN, Basil. What Political Settings Promote Renewable Energy Investments by Energy Utilities? A Qualitative Comparative Analysis in Swiss Cantons. **European Policy Analysis**, v. 0, n. 0, 2019. DOI: 10.1002/epa2.1055
- SCHOT, Johan; STEINMUELLER, Edward. Three frames for innovations policy: R&D, systems of innovation and transformative change. **Research Policy**, v. 47, n.9, p. 1554-1576, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.08.011>
- SERRA, Mauricio; *et al.* Novos rumos das políticas regionais de inovação: desenvolvimentos recentes e implicações. **Texto para Discussão**, n. 417, 2021.
- SILVA, Pedro; KLAGGE, Britta. The Evolution of the Wind Industry and the Rise of Chinese Firms: From Industrial Policies to Global Innovation Networks. **European Planning Studies**, v. 21, n. 9, p. 1341-1356, 2013. DOI: 10.1080/09654313.2012.756203
- SUZIGAN, Wilson; FURTADO, João. Instituições e Políticas Industriais e Tecnológicas: Reflexões a Partir da Experiência Brasileira. **Estudos Econômicos**, v. 40, n. 1, p. 7–41, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-41612010000100001>
- SUZIGAN, Wilson; FURTADO, João. Política Industrial e Desenvolvimento. **Revista de Economia Política**, v. 26, n. 2 (102), p. 163-185, 2006.
- SUZIGAN, Wilson; *et al.* Institutions and industrial policy in Brazil after two decades: have we built the needed institutions? **Economics of Innovation and New Technology**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1719629>

TAGLIAPIETRA, Simone. Green industrial policy: a global perspective. **United Nations Department for Economic and Social Affairs**, 2022.

UNEP – United Nations Environment Programme. **COP27 Ends with Announcement of Historic Loss and Damage Fund**. UNEP, 2022a. Disponível em: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/cop27-ends-announcement-historic-loss-and-damage-fund>. Acesso em novembro de 2023.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies**. Nairobi, 2022b. Disponível em: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>. Acesso em novembro de 2025.

UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development. **Technology and innovation report 2023. Opening green windows Technological opportunities for a low-carbon world**. UNCTAD, 2023.

ZHAO, Zhenyu; XU, Hanting. Exploring configurational effects of national environmental, social, and governance performance on energy efficiency: a dynamic qualitative comparative analysis. **Environment, Development and Sustainability**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05512-6>

ZHANG, Sufang; *et al.* Interactions between renewable energy policy and renewable energy industrial policy: A critical analysis of China's policy approach to renewable energies. **Energy Policy**, v. 62, p. 342–353, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.063>

WURSTER, Stefan; HAGEMANN, Christian. Expansion of Renewable Energy in Federal Settings: Austria, Belgium, and Germany in Comparison. **Journal of Environment & Development**, v. 29, n. 1, p. 147–168, 2019. DOI: [10.1177/1070496519887488](https://doi.org/10.1177/1070496519887488)

WURSTER, Stefan; HAGEMANN, Christian. Two ways to success expansion of renewable energies in comparison between Germany's federal states. **Energy Policy**, v. 119, p. 610–619, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.059>

WBG – World Bank Group. **World Bank Open Data**. WORLDDBANK, 2024. Disponível em: <https://data.worldbank.org/>. Acesso em janeiro de 2025.

CAPÍTULO 3

O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL LOCAL DO SETOR EÓLICO: UMA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO FINANCIAMENTO NO BRASIL

Resumo

Na última década (2010-2020), o Brasil apresentou um crescimento exponencial da capacidade eólica, atribuído à disponibilidade de recursos naturais, à maturidade tecnológica e ao desenvolvimento de políticas e instrumentos direcionados para o setor. O objetivo deste trabalho é estimar o efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica sobre o setor industrial, a partir do Valor Adicionado (VA) setorial e da oferta de emprego em nível municipal. Para atender esse objetivo, utiliza-se o método econométrico de Diferença em Diferença (DiD), com avanços projetados para abordar os efeitos de tratamentos dinâmicos e heterogêneos, para o período entre 2002 e 2021. Considerada uma atividade relativamente nova, a geração de energia eólica apresenta, por um lado, concentração geográfica em regiões com condições físicas favoráveis à extração dos recursos; por outro, a produção se concentra em regiões com capacidades industriais já estabelecidas. Nesse sentido, parte dos empreendimentos de geração tem se concentrado na região Nordeste do país, enquanto as montadoras de aerogeradores e fabricantes de subcomponentes estão predominantemente localizadas nas regiões Sul e Sudeste. Com vultosos recursos do Banco de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em 2017, as atividades eólicas representaram mais da metade do financiamento destinado ao setor de energia, especialmente para a região Nordeste do país. O efeito do financiamento sobre o Valor Adicionado (VA) industrial e o VA total dos municípios foi positivo e significativo, sobretudo nos períodos subsequentes ao recebimento do recurso. Para o emprego industrial, o resultado não foi significativo; porém, o efeito sobre o emprego total foi positivo e significativo, com um aumento do emprego no período corrente e nos subsequentes. Esses resultados sinalizam a importância do recurso destinados ao setor, com o objetivo de promover atividades com maior valor agregado em regiões historicamente mais desiguais. Além disso, uma das características da construção dos parques eólicos é o elevado custo de capital, com longos períodos de amortização, o que reforça o importante papel exercido pelo BNDES.

Palavras-chave: Energia eólica; Estrutura produtiva; Valor adicionado; Emprego; Diferença em Diferenças (DiD).

4.1. Introdução

Nas duas últimas décadas, a capacidade eólica global cresceu exponencialmente. A expectativa é que essa tendência de crescimento se mantenha durante as três próximas décadas, com o objetivo de contribuir para o cumprimento das metas de descarbonização estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU) por meio dos acordos internacionais de cooperação (IRENA, 2023; REN21, 2023). Com o duplo propósito de reduzir os níveis de emissões de dióxido de carbono (CO₂) e gerar benefícios socioeconômicos, como segurança energética, geração de emprego e crescimento econômico, por exemplo. Diversos fatores têm

contribuído para a difusão da tecnologia renovável de fonte eólica, tanto *onshore* quanto *offshore*. Entre esses fatores, destacam-se a redução dos custos nivelados de operação e a disponibilidade de instrumentos direcionados ao setor.

Em 2021, a capacidade eólica global instalada registrou um aumento de 17% e foi a mais alta entre todas as tecnologias renováveis. Destes, 93% foram provenientes dos sistemas *onshore* e 7% *offshore*. O Brasil apresenta a maior capacidade de geração eólica entre os países da América Latina. Com capacidade em operação superior 30 *gigawatts* (GW)⁴⁶, ficando atrás apenas da China (403,33 GW), Estados Unidos (150,43 GW), Alemanha (61,14 GW), Índia (44,74 GW) e Espanha (30,56 GW). Contudo, o desenvolvimento da atividade eólica no Brasil só começou a ganhar fôlego a partir dos anos 2000, com um pacote de instrumentos direcionados para o setor (GOUVÊA; SILVA, 2018; GWEC, 2024).

Com a disponibilidade de recursos naturais/geográficos e a competitividade global tecnológica adquirida com setores adjacentes, como o setor aeroespacial e metalmeccânico do país (PODCAMENI, 2014), a criação do *hub* tecnológico eólico brasileiro pode ser, em parte, atribuída à atuação conjunta dos bancos de desenvolvimento estatais e da criação de instrumentos e políticas tanto do lado da oferta quanto da demanda (GOUVÊA; SILVA, 2018; FABRIS, 2020; ABEEÓLICA, 2023). Assim, preliminarmente, é possível observar que os avanços na cadeia de valor do setor eólico não decorreram de movimentos espontâneos do progresso técnico, mas sim de uma articulação entre as instituições e o Estado (ARAÚJO; WILLCOX, 2018).

A distribuição espacial das empresas do setor indica a existência de dois principais polos de produção e geração: um na região Nordeste do país e outro nas regiões Sul-Sudeste. Com vultosos recursos do Banco de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em 2017, as atividades eólicas representavam mais da metade do financiamento destinado ao setor de energia, especialmente para a região Nordeste do país, que se caracteriza por uma região de elevada velocidade média do vento (BNDES, 2024; CORPENICUS, 2024).

Considerada uma atividade intensiva em capital e dependente de condições favoráveis de vento e da disponibilidade de área, a literatura existente sobre os efeitos locais do desenvolvimento eólico tem apontado os conflitos relacionados ao uso e à percepção do espaço. Majoritariamente concentrados em áreas rurais, os investimentos em parques eólicos nem sempre promovem impactos diretos e permanentes sobre o bem-estar econômico dos residentes (MAURITZEN, 2020; DONG *et al.*, 2023; BRUNNER *et al.*, 2024). Parte disso pode ser

⁴⁶ Corresponde à 15% do total da matriz energética (ANEEL, 2024).

atribuída ao fato de que os proprietários das terras (empresas ou indivíduos) não estão necessariamente localizados no mesmo espaço ou, até mesmo, ao fato de que algumas atividades ocorrem em grandes cidades, como as atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) ou a fabricação de equipamentos de maior complexidade tecnológica (FABRA *et al.*, 2023). Para Gavard *et al.* (2022), a economia local só poderá se beneficiar se parte significativa da demanda for atendida regionalmente, isto é, se houver um fornecimento local tanto de componentes quanto de serviços.

A distribuição ocupacional eólica local está amplamente representada nas atividades de fabricação, construção, instalação e manutenção. Em especial, a manufatura é, de longe, a indústria com maior oferta de emprego para as atividades eólicas (CURTIS; MARINESCU, 2022). Para Brown *et al.* (2012), o desenvolvimento da energia eólica afeta diretamente o emprego e o rendimento das pessoas que trabalham na indústria. Além disso, as despesas de construção e manutenção podem gerar demanda indireta por bens e serviços produzidos por outras indústrias na economia local, contribuindo para a geração de emprego e renda nessas indústrias. Para Goetzke e Rave (2016), as regiões que enfrentam declínio econômico ou desemprego mais elevado também podem se beneficiar do processo de transição em curso.

Há vários canais de impacto que podem ser identificados a partir de mecanismos macroeconômicos – como mudanças nos custos da tecnologia, aumento nos níveis de exportações/importações tecnológicas – e/ou microeconômicos, com efeitos mais relevantes localmente – como a fabricação e produção de componentes, demanda por serviços de manutenção e operação ou mudanças no mercado de trabalho – (GAVARD *et al.*, 2022), sendo este último o mecanismo central da presente análise.

Embora haja um grande interesse político na temática, poucos estudos empíricos têm investigado o efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica sobre a estrutura produtiva, especialmente para economias em desenvolvimento, caracterizadas por baixas dotações de recursos científicos e tecnológicos. O esforço deste trabalho é direcionado para esse sentido, a fim de minimizar as lacunas e apresentar resultados com medições adequadas à problemática. O objetivo consiste em estimar o efeito local do financiamento das atividades de energia eólica sobre o setor industrial, usando como medidas o Valor Adicionado (VA) industrial e o emprego em nível municipal. Para atender esse objetivo, será utilizado o método econométrico de Diferença em Diferenças (DiD), com avanços projetados para abordar os efeitos de tratamentos dinâmicos e heterogêneos em um conjunto de dados em painel.

Os resultados obtidos com o método DiD apontam um efeito positivo e significativo do financiamento sobre o VA industrial e total dos municípios, especialmente nos períodos

subsequentes ao recebimento do recurso. Para o emprego industrial, o resultado não foi estatisticamente significativo; porém, o efeito sobre o emprego total foi positivo e significativo, com um aumento do emprego no período corrente e nos subsequentes. Essas descobertas contribuem para a literatura crescente sobre a necessidade de financiamento e de instrumentos direcionados à transição energética em grande escala. Além disso, corroboram estudos existentes ao evidenciar o efeito positivo no bem-estar econômico local, bem como a catalisação da renda e oferta de emprego na região.

Este trabalho está estruturado em seis partes, incluindo a presente introdução e as discussões finais. A segunda seção discutirá as motivações que servem de pano de fundo para o financiamento direcionado às energias renováveis, bem como as experiências da literatura empírica referente a presente temática. A terceira seção apresentará, em perspectiva teórica e descritiva, o desenvolvimento das atividades do setor eólico no Brasil, com ênfase nos programas/instrumentos existentes, além do desenvolvimento espacial da geração de energia e produção industrial eólica no país. A quarta seção descreverá os dados e suas estatísticas, a abordagem metodológica do método de Diferença em Diferenças (DiD) e a estratégia empírica adotada. A quinta seção apresentará os resultados estimados com o método DiD, análises de robustez do modelo e as principais discussões pertinentes à temática.

4.2. *Background do financiamento para energia renovável*

Diante dos desafios contemporâneos no âmbito ambiental, social e econômico, desde a década de 1980 têm ocorrido um intenso debate sobre “o que fazer” e “como fazer” para alcançar um crescimento econômico verde, sustentável e justo (VEIGA, 2006; ABRAMOVAY, 2010). Em 1988, o termo “desenvolvimento sustentável” foi oficialmente discutido na agenda internacional através do Relatório *Brundtland* na Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) (CMMAD, 1991). Na década de 1990, com o Protocolo de Quioto, diferentes economias passaram a implementar e/ou aprimorar políticas e medidas a fim de promover esse “novo modelo de desenvolvimento”. Ao longo das duas últimas décadas (2000-2020), com as Conferências das Partes (COP) na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) foram estabelecidas metas com Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), dentre as quais destaca-se a necessidade de transformação do setor energético (IPEA, 2023).

Os sistemas energéticos estão profundamente enraizados na vida social, econômica e política. No entanto, por serem intensivos em combustíveis fósseis esses sistemas têm sido

caracterizados como uma das principais atividades de emissões de CO₂ na atualidade (OECD, 2023). Concomitantemente ao debate de descarbonização global, a escassez de recursos naturais e os desafios de segurança energética – especialmente provocados pelas crises do petróleo na década de 1970 – reafirmam a urgência da adoção de tecnologias e atividades ambientalmente sustentáveis. Em um contexto recente, em 2022, a pandemia de COVID-19 e a guerra entre Ucrânia e Rússia impulsionaram o aumento dos preços dos combustíveis fósseis, evidenciando as fragilidades existentes no mercado de energia e reforçando a necessidade de acelerar a transição energética para uma economia de baixo carbono (WBG, 2023).

Apontada como “janela verde de oportunidade”, o processo de transição, além de garantir a segurança energética, também tem como finalidade promover a recuperação do atraso econômico das economias em desenvolvimento (processo de *catch up*) e auxiliar nos desafios contemporâneos de mudanças climática antropogênicas (MAZZUCATO, 2014; IRFAN *et al.*, 2019; UNCTAD, 2023). No entanto, para atender à crescente demanda e conseguir dar saltos tecnológicos (*leapfrogging*) faz-se primordial o desenvolvimento de uma cadeia produtiva doméstica eficiente e de alto valor agregado (RODRIK, 2014).

Devido à elevada incerteza tecnológica e de mercado nos estágios iniciais das tecnologias renováveis emergentes – como a eólica, solar, geotérmica, hidrogênio e outras –, torna-se necessária uma atuação mais incisiva por parte do Estado, especialmente para promover a pesquisa e desenvolvimento (P&D), subsidiar os custos de descoberta e impulsionar a entrada do setor privado (RODRIK, 2014; ALTENBURG; RODRIK, 2017). Definido por Mazzucato (2014) como um “Estado empreendedor”, os governos devem ser capazes de identificar atividades estratégicas nas quais ações políticas orientadas para o longo prazo farão diferença. Além disso, devem atuar para minimizar a percepção de risco por parte do agente privado, ao sinalizar que, no longo prazo, as “regras do jogo” não serão alteradas (RODRIK, 2014; UYARRA *et al.*, 2019).

Com uma expressiva expansão nas duas últimas décadas (2000-2020), as atividades do setor eólico têm sido impulsionadas por diferentes tipos de políticas de apoio, tanto direto (incentivos financeiros) quanto indireto (acordos de cooperação, normas e regulamentos) (REN21, 2023). Líder de mercado e com um *catch-up* sem precedentes, a China implementou políticas de apoio centradas principalmente em subsídios, isenções fiscais, tarifas *feed-in*, requisitos de conteúdo local e suporte tecnológico (LI *et al.*, 2015). Na Alemanha, um dos principais instrumentos tem sido a tarifa *feed-in*, enquanto nos Estados Unidos os mecanismos de compra voluntária de eletricidade e as metas de participação em energia eólicas ou *portfólio*

renovável (RPS)⁴⁷ têm sido os principais. No caso brasileiro, o sistema de leilões e a política de requisito de conteúdo local, têm sido primordiais para ampliar a maturidade do setor (PODCAMENI, 2014; ARAÚJO; WILLCOX, 2018).

4.2.1. Revisão da literatura empírica

O desenvolvimento de políticas e instrumentos direcionados para fontes de energia renovável é crucial para um processo de transição energética justa e equitativa. Embora muitos estudos utilizem da abordagem econométrica para investigar os efeitos desses recursos sobre a produtividade, o desenvolvimento e o crescimento econômico, apenas alguns se concentram no impacto causal dos financiamentos nas atividades de energia eólica sobre a estrutura produtiva local – especialmente no que diz respeito à oferta de emprego e à atividade econômica –, cujos resultados ainda não são totalmente conclusivos. As abordagens mais usuais da literatura para lidar com os regressores endógenos têm sido a estimação com modelos de Variáveis Instrumentais (IV) (BROWN *et al.*, 2012), autorregressivo espacial (SAR) e erros espaciais (SEM), Pareamento por *Score* de Propensão (PSM) e/ou Diferença em Diferenças (DiD) (RODRIGUES *et al.*, 2019; GONÇALVES *et al.*, 2020).

Alguns trabalhos identificam efeitos positivos sobre a oferta de emprego e renda local, principalmente nas fases de fabricação e construção. Outros apontam efeitos negativos sobre o aumento dos custos em nível local, na redução da demanda por emprego nas fases de operação e manutenção, e na redução de atividades em outros setores – como o setor agrícola, que, embora não seja substituto, pode apresentar queda nos níveis de atividade. O Quadro 1 descreve os principais estudos e seus respectivos procedimentos econométricos.

Brown *et al.* (2012) avaliaram os impactos líquidos no desenvolvimento econômico local para os Condados dos Estados Unidos, a partir de um modelo em mínimos quadrados ordinários (MQO) e IV. Os autores identificaram que o desenvolvimento de energia eólica afeta diretamente o emprego e o rendimento das pessoas que trabalham na indústria. No entanto, as repercussões locais não impactaram as mudanças na renda *per capita* ou emprego de uma forma significativa. A partir de um modelo utilizando a Cadeia Bayesiana de Markov Monte Carlo (MCMC), Mauritzen (2020) identificou que o efeito do investimento em energia eólica sobre os salários nos condados rurais – que mais lutam contra o desemprego – apresenta, em média, um efeito global positivo; porém com um impulso modesto nos salários locais. De acordo com

⁴⁷ *Renewable Portfolio Standard* (RPS).

o autor, parte disso pode ser atribuída ao excesso de oferta de mão de obra. Além disso, não fica claro até que ponto a manutenção de parques eólicos, que demandam ocupação qualificada, levaria a um aumento líquido no emprego local.

A partir do método DiD, Brunner e Schwegman (2022) examinaram o impacto da instalação de energia eólica nas economias locais dos condados dos Estados Unidos. Os autores identificaram que a instalação de energia eólica levou a aumentos no PIB *per capita* do condado, no rendimento *per capita*, no rendimento familiar médio e nos valores residenciais médios. Com pouco efeito no emprego total, também identificaram um deslocamento do emprego agrícola para o emprego não agrícola, em especial do emprego de construção e indústria de transformação.

Brunner *et al.* (2024) ao avaliar o impacto da proximidade dos parques eólicos, identificaram que as casas localizadas a menos de 1,6 km de uma turbina eólica experimentam um declínio de aproximadamente 11% no seu valor, esse efeito é maior durante o período de anúncio e reduz após o período de construção, nos EUA. Além disso, as casas localizadas entre 1 e 2 milhas de distância sofrem impactos muito menores, enquanto as localizadas com mais de 3 quilômetros de distância não são afetadas. Do mesmo modo, Dong *et al.* (2023) identificaram um efeito negativo sobre os valores das propriedades na Nova Inglaterra, em especial para propriedade em um raio de 1 km de distância de uma turbina.

A partir de métodos com inteligência artificial, Curtis e Marinescu (2022) investigaram as tendências no mercado de trabalho nos Estados Unidos e identificaram que o crescimento das energias renováveis leva à criação de empregos com salários relativamente elevados, especialmente empregos com baixo nível de escolaridade e em regiões intensivas na extração de combustíveis fósseis. Mesmo com características distintas e localizações geográficas dispersas, a expansão eólica e solar tem gerado oportunidades de empregos verdes no país. Para a distribuição ocupacional solar, além da participação na região Sul (entre Califórnia e a Florida), foi perceptível a alocação de empregos na região Nordeste, apesar das condições menos favoráveis de temperaturas. Por outro lado, a energia eólica apresenta uma elevada oferta em regiões com um histórico de menor crescimento do emprego, parte disso pode ser atribuída às condições geográficas necessárias e ao *know-how* local associado à indústria de combustíveis fósseis.

Ainda em relação aos Estados Unidos, Gilbert *et al.* (2023) avaliaram o impacto do desenvolvimento da energia eólica sobre os rendimentos e os empregos em nível local, considerando variáveis como raça, etnia, sexo e nível de escolaridade, a partir do procedimento DiD. De acordo com os autores, o desenvolvimento de um polo em um raio de 20 milhas de

um determinado trabalhador provoca um aumento estatisticamente significativo nos rendimentos e no emprego deste. Os resultados são proporcionalmente maiores para os trabalhadores sem ensino médio completo e ensino superior completo, trabalhadores de gênero masculino e trabalhadores negros. Além disso, de modo geral, os impactos apresentaram uma persistência durante anos após o término da fase de construção do polo eólico.

Fabra *et al.* (2023) identificaram que para mais de 3.900 municípios espanhóis ao longo de 13 anos a geração de novos empregos eólicos nem sempre permanecem nos municípios onde os empreendimentos são construídos. Para os autores, algumas atividades envolvidas – como P&D, concepção e planejamento do projeto, fabricação de equipamentos, entre outros – ocorrem em grandes cidades, distantes dos locais onde os investimentos são realizados. Nesse contexto, os efeitos multiplicadores tendem a ser pequenos nos municípios dos empreendimentos.

Gavard *et al.* (2022) analisam os impactos econômicos da implantação da energia eólica a partir da renda pessoal, do orçamento público e do emprego no nível municipal. Com receitas geradas já no primeiro ano de ligação das novas turbinas, os autores identificaram um efeito positivo sobre o rendimento total, que se mantém nos anos subsequentes, embora não necessariamente crescente. Durante os dois primeiros anos após a ligação das turbinas à rede, também ocorre um aumento dos gastos municipais com despesas correntes, em especial com cuidados de saúde, administração e atividades educativas e culturais. A implantação de energia eólica induz um aumento na renda pessoal no nível local, especialmente no rendimento empresarial e em algumas receitas de pensões. O impacto para o emprego total é positivo, mas não significativo, de modo que a criação de empregos em alguns setores pode ser compensada pela perda em outros.

Quadro 1 – Estudos empíricos recentes com modelos de avaliação de impacto energia eólica

Referência	País/ Abrangência	Modelo	Grupo	Variáveis	
				Dependente	Independente e Controles
Rodrigues <i>et al.</i> (2019)	Brasil	PSM, SAR, SEM	Tratamento se PROINFA=1; Controle, caso contrário.	Empregos, salários totais e número de empresas nos municípios.	Velocidade do vento, PIB total e agrícola, área dos municípios, população dummy região metropolitana, níveis de escolaridade dos trabalhadores.
Gonçalves <i>et al.</i> (2020)	Brasil	PSM/DiD heterogêneo	Tratamento se municípios com pelo menos uma usina eólica em operação (exceto com capacidade instalada ≤ 100 kW); Controle, caso contrário.	Emprego e salário total nos municípios.	Escolaridade dos trabalhadores, tamanho de empresas, despesa corrente líquida, filiações políticas dos prefeitos dos municípios e do presidente brasileiro, escolaridade dos prefeitos dos municípios, percentual de famílias pobres em nível municipal, valor adicionado bruto da agricultura e o valor adicionado bruto total, velocidade média anual do vento (em metros por segundo) a uma altura de 50 m.
Nunes <i>et al.</i> (2022)	Brasil	PSM/DiD	Tratamento se PROINFA=1; Controle, caso contrário.	PIB <i>per capita</i> , empregos e despesas de capital nos municípios.	Densidade demográfica, precipitação, temperatura, distância da capital, produção de cana-de-açúcar e produção de madeira.
Brunner e Schwegman (2022)	Estados Unidos	DiD/estudo de evento	Tratamento se municípios com novas turbinas (construção ou operação).	PIB <i>per capita</i> , renda <i>per capita</i> , renda familiar mediana e os valores residenciais medianos.	População, parcela urbana, parcela de 65 anos ou mais, parcela de proprietário de casa, parcela de não-brancos, parcela da população com diploma de bacharel ou superior e a taxa de pobreza.
Gavard <i>et al.</i> (2022)	Dinamarca	GPS/OLS	Tratamento se municípios com novas turbinas; Controle obtido com o <i>score</i> de propensão generalizado.	Orçamento Municipal, Renda Pessoal, Emprego.	Taxa de desemprego; potencial eólico, disponibilidade de terras agrícolas, densidade média do vento, indicador das condições econômicas e o estoque de turbinas eólicas já instaladas.
Rodrigues e Pareda (2023)	Brasil	DiD heterogêneo	Tratamento se municípios com pelo menos uma usina solar ou eólica com capacidade ≥ 1 MW; Controle, caso contrário.	Número de empregados, salários, ocupações e vínculos empregatícios.	Velocidade do vento, irradiação solar, altitude, número de trabalhadores por sexo (homens e mulheres), escolaridade (ensino fundamental, médio e superior), população, população urbana e densidade populacional.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Quadro 1 – Estudos empíricos recentes com modelos de avaliação de impacto energia eólica (Continuação)

Gilbert <i>et al.</i> (2023)	Estados Unidos	LP-DiD	Tratamento se a unidade estiver dentro de um raio de 20 milhas da capacidade eólica em escala de serviço público; Controle é o conjunto de dados fora de 20 milhas.	Emprego ou o logaritmo dos rendimentos.	Capacidade eólica no aumento da distância (20-40, 40-60, 60-80 e 80-100). Informações dos trabalhadores (gênero, raça, escolaridade).
Fabra <i>et al.</i> (2023)	Espanha	TWFE-DiD/LP-DiD	Tratamento se for unidade recém-tratada que não recebeu tratamento por pelo menos 24 meses após o horizonte h analisado; Controle se a unidade não for tratada por pelo menos 24 meses após o horizonte analisado.	Emprego ou desemprego normalizados pela população.	Nova capacidade de geração, desemprego por setor, gênero e idade dos trabalhadores.
Deschenes <i>et al.</i> (2023)	Estados Unidos	DiD/binário escalonado	Tratamento se RPS=1; Controle, caso contrário.	Capacidade instalada e geração.	Linhas de transmissão, velocidade do vento, irradiação solar, PIB per capita, preço da eletricidade, consumo elétrico, pontuações da Liga dos Eleitores de Conservação (LCV).
Dong <i>et al.</i> (2023)	Nova Inglaterra	DiD/hedônico padrão	Tratamento definido por proximidade (0-1 km); Controle, imóveis distantes (3-10 km).	Preço dos imóveis residenciais	Características estruturais (tamanho do lote, quartos e banheiros), idade da casa, efeitos espaciais fixos (qualidade da escola, proximidade de outras comodidades) e amenidades, volume de tráfego, caminhabilidade.
Brunner <i>et al.</i> (2024)	Estados Unidos	DiD/estudo de evento	Tratamento definido por proximidade (0-3 km); Controle, imóveis distantes (3-5 km).	Preço dos imóveis residenciais	Características estruturais (área de estar do edifício do tamanho do lote pés quadrados, a idade do edifício no momento da venda, a idade ao quadrado, o número de andares, quartos e banheiros completos e lavabos), preço do imóvel ajustado e total de transações.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Na Alemanha, entre 2001 e 2012, Goetzke e Rave (2016) fornecem evidências de que as políticas e iniciativas em níveis estadual, distrital e municipal apresentam um papel relevante para os padrões da capacidade de energia eólica. A partir de uma investigação empírica com modelo MQO e Poisson, os autores revelam que a taxa de desemprego, os votos nos partidos verdes nas eleições e a orientação política dos governos estaduais têm poder explicativo para a expansão das atividades eólicas em níveis regionais. Na Alemanha Oriental, em particular, a expansão dessa fonte foi apontada como um meio de garantir benefícios econômicos e melhorias no mercado de trabalho.

Nos Estados Unidos, a política de padrões de *portfólio* renovável (RPS) é considerada uma das políticas mais proeminentes implementadas para incentivar a descarbonização do sector eléctrico em nível estadual. Deschenes *et al.* (2023) discutem sobre as evidências do efeito causal de impacto dos investimentos da RPS sobre a capacidade e produção renovável no período entre 1990 e 2019, a partir do DiD. Os autores identificaram que houve um aumento estatisticamente significativo para a expansão da capacidade e produção eólica; porém, não houve um efeito significativo nos investimentos em capacidade e produção solar. Além disso, identificou-se a ocorrência de um efeito dinâmico lento para a maturação do investimento, na medida que a maioria das adições de capacidade ocorreram 5 anos após a implementação dos RPS.

No Brasil, o interesse em investigar o impacto dos investimentos eólico também é compartilhado com uma literatura mais ampla, que dedicou atenção especial aos efeitos do Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) sobre o mercado de trabalho. Rodrigues *et al.* (2019) identificaram um impacto positivo da presença de usinas de energia eólica no aumento dos salários totais nos municípios que fazem parte do PROINFA – especialmente nos setores de construção, transporte e logística – e um aumento na transferência de recursos para o setor agrícola, impulsionando essa atividade na economia local. Nunes *et al.* (2022) apontaram um impacto positivo do PROINFA em 10% sobre a renda *per capita* dos municípios que participaram do programa, entre 2002 e 2018. Além disso, os resultados indicaram um impacto de 13,82% no número de trabalhadores formais e 0,39% nas despesas de capital dos municípios, o que sinaliza um desenvolvimento social e econômico promovido pelo PROINFA.

Gonçalves *et al.* (2020) observaram um efeito positivo e estatisticamente significativo da energia eólica nos níveis de emprego e salário dos trabalhadores, especialmente nos setores da indústria, agricultura e construção. De acordo com os autores, para o período de 2004 a 2016, os impactos nos níveis de emprego e salário foram maiores para os trabalhadores menos

qualificados e para as pequenas e médias empresas, tanto no momento da intervenção quanto dois anos anteriores a implementação. No período entre 2000 e 2021, Rodrigues e Pareda (2023) identificaram que os investimentos em energia solar e eólica têm um impacto positivo no mercado de trabalho até três anos antes de as fábricas começarem a operar, respectivamente nos setores de construção e serviços, com maior demanda por trabalhadores do gênero masculino e com baixa qualificação nas atividades de eólica, enquanto nas atividades solares houveram maior demanda por trabalhadores com ensino secundário.

Essa revisão da literatura empírica mostra que, até agora, as evidências para as atividades industriais eólica têm sido limitadas, especialmente no contexto brasileiro. À luz das lacunas existentes e a fim de atender ao objetivo proposto, este trabalho contribui de diferentes formas para a literatura. Em primeiro lugar, utiliza uma estratégia de identificação que considera explicitamente os vieses decorrentes da seleção não aleatória do tratamento, bem como modelos com tempo escalonado e efeitos heterogêneos do tratamento. Em segundo lugar, a análise não se restringe apenas ao efeito da oferta de emprego, como ocorre em parte da literatura, mas fornece, especialmente, evidências do efeito do financiamento eólico na dinâmica industrial dos municípios. Finalmente, este trabalho contribui para a literatura sobre a importância das características físicas e produtivas de determinadas localidades, para que se possa promover um ambiente compatível com o potencial do mercado eólico e absorver os benefícios associados à expansão do setor.

Em linhas gerais, o grande desafio da avaliação de impacto consiste em isolar a parcela que se deve exclusivamente à influência do tratamento. Assim, apesar do foco diferente, o presente estudo está alinhado a uma combinação de procedimentos metodológicos utilizados em Brunner e Schwegman (2022), Dong *et al.* (2023), Deschenes *et al.* (2023) e Brunner *et al.* (2024), que analisam o impacto da energia eólica no desenvolvimento local usando abordagens DiD, a partir de Sant'Anna e Zhao (2020), Sun e Abraham (2021) e Callaway e Sant'Anna (2021). Além disso, a escolha das variáveis do modelo deste trabalho parte tanto da literatura empírica quanto teórica.

4.3. O setor eólico no Brasil: financiamento e políticas de incentivos

Esta seção apresenta na perspectiva teórica e descritiva o desenvolvimento das atividades do setor eólico no Brasil. No primeiro momento, abordam-se os programas e instrumentos destinados ao setor no Brasil ao longo das duas últimas décadas (2000-2020). Posteriormente, explora-se o desenvolvimento espacial da geração e da produção industrial

eólica, a partir do mapeamento descritivo dos dados e da aplicação de indicadores de localização e especialização.

4.3.1. *Detalhes sobre os programas e instrumentos*

Em ritmo análogo ao cenário mundial, a partir dos anos 2000, a produção eólica brasileira apresentou uma expansão na capacidade de geração energética e teve como pano de fundo a articulação de incentivos e programas em resposta à crise do petróleo da década de 1970. Nesse período, algumas iniciativas foram ganhando espaço; entretanto, foi apenas após os anos 2000 que o governo brasileiro passou a adotar medidas mais incisivas para o desenvolvimento de capacitações científicas e tecnológicas, por meio do fornecimento de incentivos financeiros direcionados à indústria eólica (PODCAMENI, 2014; GOUVÊA; SILVA, 2018). Ao longo dos anos, um *portfólio* de programas e mecanismos de apoio para o desenvolvimento da indústria no Brasil foi criado, sendo alguns instrumentos voltados para a demanda e outros para a oferta de energia (PODCAMENI, 2014; ARAÚJO; WILLCOX, 2018; FABRIS, 2020).

Em 2001, por meio de Medida Provisória – nº 2.198-3, de junho de 2001 –, foi lançado o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA) e criada a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, com a finalidade principal de estabelecer diretrizes para o enfrentamento à crise energética (BRASIL, 2021). Coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e gerenciado pela Eletrobras, a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) – Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002 –, teve como finalidade ampliar a participação de fontes alternativas na matriz energética brasileira, dentre essas: a eólica, a biomassa e as pequenas centrais hidrelétricas (PCH); privilegiando empreendedores sem vínculos societários com concessionárias de geração, transmissão ou distribuição, ou seja, estabelecendo contratos de longo prazo com tarifa de compra de energia (*feed-in*) para pequenos produtores (BRASIL, 2021).

Em 2009, ocorreu um amadurecimento dos instrumentos regulatórios, com o primeiro leilão público incentivado para a compra de energia (GOUVÊA; SILVA, 2018). O programa foi considerado como um marco para a consolidação de investimentos na indústria eólica por incentivar a concorrência por tarifas menores e acarretar uma inovação para o sistema de contratação de tarifa fixa estabelecido no PROINFA (ARAÚJO; WILLCOX, 2018). Embora esse modelo tenha apresentado benefícios para o desenvolvimento do setor e a adesão dos

empreendedores, os mecanismos de leilões apresentaram também algumas dificuldades, especialmente com a oscilação no ritmo das contratações (ABDI, 2014).

Paralelamente a esses instrumentos, foram desenvolvidos um pacote de incentivos financeiros, tal como o financiamento público aos parques de geração, ofertados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) e o Banco do Nordeste do Brasil (BNB) – Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003 (BRASIL, 2021)⁴⁸; o regime tributário para aquisição de geradores e o incentivo do mercado de capitais no setor de geração via bancos públicos (FABRIS, 2020). Em outras palavras, instrumentos direcionados para demanda, cujo objetivo consistia na criação de um mercado doméstico eólico (PODCAMENI, 2014).

Nessa perspectiva, os avanços da indústria eólica decorrem de um movimento articulado entre as instituições e o Estado, com o desenvolvimento de programas e incentivos direcionados ao setor. E, embora o desenvolvimento da demanda tenha sido primordial para a expansão da capacidade doméstica eólica, por si só, não foi suficiente para o adensamento produtivo (ARAÚJO; WILLCOX, 2018).

Quanto aos instrumentos direcionados para oferta de energia eólica, no Brasil foram criadas linhas de crédito, normas e regulamentos, dentre esses: o financiamento para a cadeia produtiva via bancos públicos; o apoio legal para a P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); o regime fiscal tributário aos fabricantes e, o incentivo do mercado de capitais para a cadeia produtiva via bancos públicos (FABRIS, 2020). Em linhas gerais, esses instrumentos estabeleceram o “pontapé” inicial para uma indústria de geração eólica nascente (HOCHSTETLER; KOSTKA, 2015). Além disso, a atuação conjunta do BNDES com o MME na estruturação do PROINFA foi aspecto fundamental para o sucesso do programa (ARAÚJO; WILLCOX, 2018).

Por fim, em 2012, a fim de ampliar o conteúdo tecnológico envolvido na cadeia de produção, o BNDES realizou alterações em suas regras de financiamento e, a partir dessas alterações, induziu-se uma maior participação da quantidade de componentes nacionais nos equipamentos industriais do setor eólico, a política de conteúdo local (PODCAMENI, 2014). Assim, a disponibilidade de financiamento público aliada às exigências das políticas apontou um caminho para a articulação da política energética com a política industrial (ARAÚJO; WILLCOX, 2018).

⁴⁸ Banco do Brasil e Caixa Econômica Federal foram também agentes repassadores dos recursos do BNDES (BRASIL, 2021).

O Brasil implementou uma série de políticas industriais aos longos das duas últimas décadas: a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), em 2004; a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), em 2008; o Plano Brasil Maior (PBM), em 2011; e, mais recente, a Política de Neoindustrialização em 2023. Denominada como a Nova Indústria Brasil (NIB), com foco sistêmico e de longo prazo, a política tem como objetivo impulsionar a transformação estrutural da economia até 2033, cujo setor de energia ganhou novamente destaque entre as metas estabelecidas na política industrial. Dentre os instrumentos estabelecidos, destacam-se as compras públicas e os requisitos de conteúdo local, além de um pacote de instrumentos financeiros reembolsáveis – BNDES e FINEP – e não reembolsáveis – EMBRAPPI e FINEP⁴⁹ (CNI, 2024). No entanto, embora seja uma política promissora para responder aos desafios apresentados pela desindustrialização precoce (FEIJÓ *et al.*, 2024) ainda assim consiste em uma política abrangente, com poucos instrumentos direcionados (GUERRA *et al.*, 2025).

4.3.2. O desenvolvimento espacial da geração eólica e produção industrial

A dinâmica tecnológica de um setor pode ser construída a partir de cinco aspectos complementares: i) conhecimento; ii) habilidades; iii) inovação; iv) instituições; e v) finanças (AIGINGER; RODRIK, 2020). No contexto eólico brasileiro, a capacidade científica e tecnológica (conhecimento e habilidade) adquirida ao longo dos anos com setores adjacentes⁵⁰ viabilizou o desenvolvimento de um ambiente capaz de identificar as oportunidades do novo mercado (inovação) (PODCAMENI, 2014; ADAMI *et al.*, 2017; FABRIS, 2020). Estruturado pelo BNDES (instituição), em 2013, a lógica dos instrumentos de financiamento – o “Finame” e “Finem”, por exemplo – (finanças) tiveram como pano de fundo o desenvolvimento doméstico de itens de maior complexidade (FURTADO; PERROT, 2015; ARAÚJO; WILLCOX, 2018; ABEEÓLICA, 2023).

Caracterizado como um Plano de Nacionalização Progressivo (PNP), a política de conteúdo local, regulada pelo BNDES, exigia que 60% dos aerogeradores fossem fabricados internamente (ABDI, 2018). Inicialmente, em 2014, onze fornecedores de aerogeradores (montadoras) passaram a adotar as exigências da política, dentre elas: Wobben, Gamesa, GE, Vestas, Impsa, WEG, Alstom, Siemens, Acciona, Suzlon e Führländer (ARAÚJO; WILLCOX,

⁴⁹ Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

⁵⁰ Setores como o aeroespacial e o metalmeccânico, por exemplo.

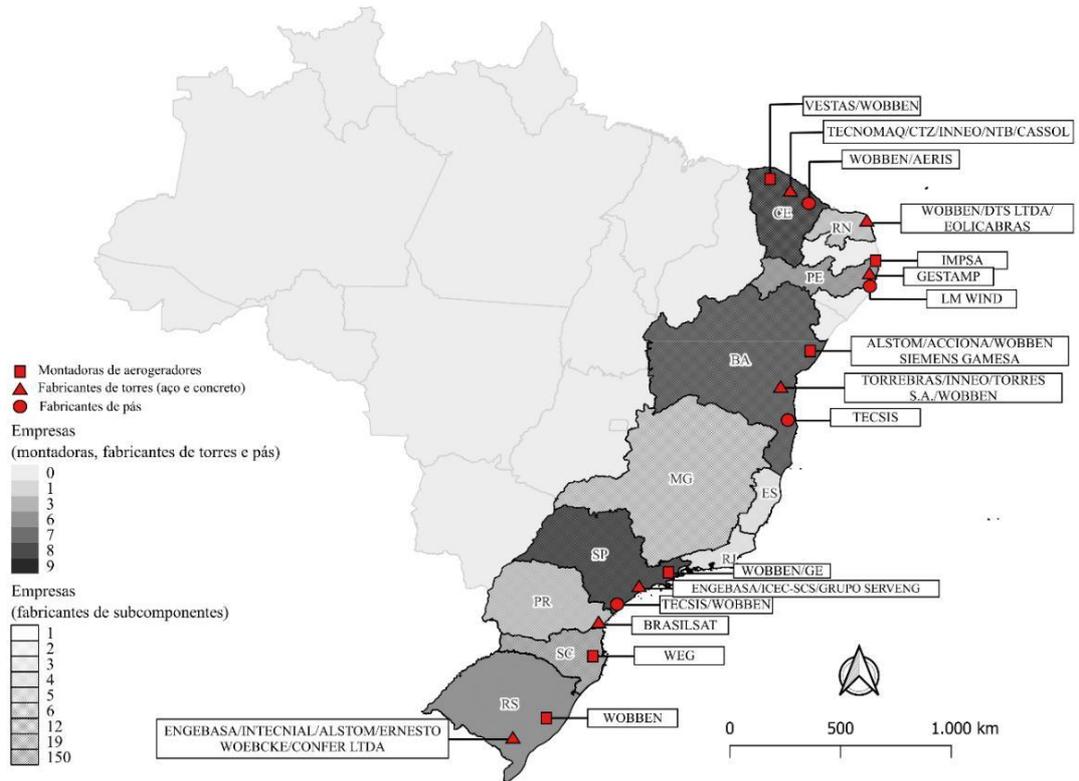
2018). Em parte, essa estratégia foi exitosa devido à existência de fabricantes locais aptos a participarem da cadeia produtiva (GOUVÊA; SILVA, 2018). Com exceção da WEG, as demais empresas⁵¹ tinham um histórico no setor. Porém, embora a WEG inicialmente não possuísse experiência na fabricação de aerogeradores, o acordo de transferência tecnológica com o Grupo M. Torres Olvega Industrial (MTOI), em 2011, possibilitou que a empresa tornasse a única fabricante nacional de aerogeradores (PODCAMENI, 2014). Além disso, parte do alcance da WEG com o PNP foi impulsionado pelo domínio tecnológico em produtos correlatos adquiridos pela empresa, facilitando a absorção do conhecimento transferido (FABRIS, 2020).

A capacidade pré-existente em setores adjacentes foi primordial para alinhar as estratégias das empresas com os objetivos do PNP. A empresa brasileira Tecsis, produtora de pás eólicas, por exemplo, foi constituída a partir da capacitação tecnológica do Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) e se tornou a segunda maior fornecedora de pás eólicas no mundo, com um registro de exportação de 70% das pás produzidas pela empresa (TOSTA *et al.*, 2019). Do mesmo modo, a Aeris fundada por três engenheiros da Empresa Brasileira de Aeronaves (EMBRAER), também apresentou vestígios da capacitação acumulada no setor aeroespacial no processo de formação (PODCAMENI, 2014).

Cabe destacar que os aerogeradores representam mais de 60% do investimento de um parque eólico, composto normalmente por três pás e uma torre. Os principais componentes incluem: cubo, eixo, presença ou não de caixa de engrenagem, gerador e a *nacelle* (ABDI, 2018). Dentre esses, a *nacelle* é o item de maior complexidade tecnológico e predominantemente importado da China (FABRIS, 2020). Nesse contexto, o mercado ainda apresenta entraves para as empresas brasileiras, pois se destaca com elevada concentração na produção de torres, devido às baixas barreiras à entrada, e um número menor de fabricantes na produção de pás, em razão das altas barreiras à entrada.

⁵¹ Wobben, Gamesa, GE, Vestas, Impsa, WEG, Alstom, Siemens, Acciona, Suzlon e Führlander.

Figura 1 – Localização espacial das empresas montadoras e fabricantes do setor eólico



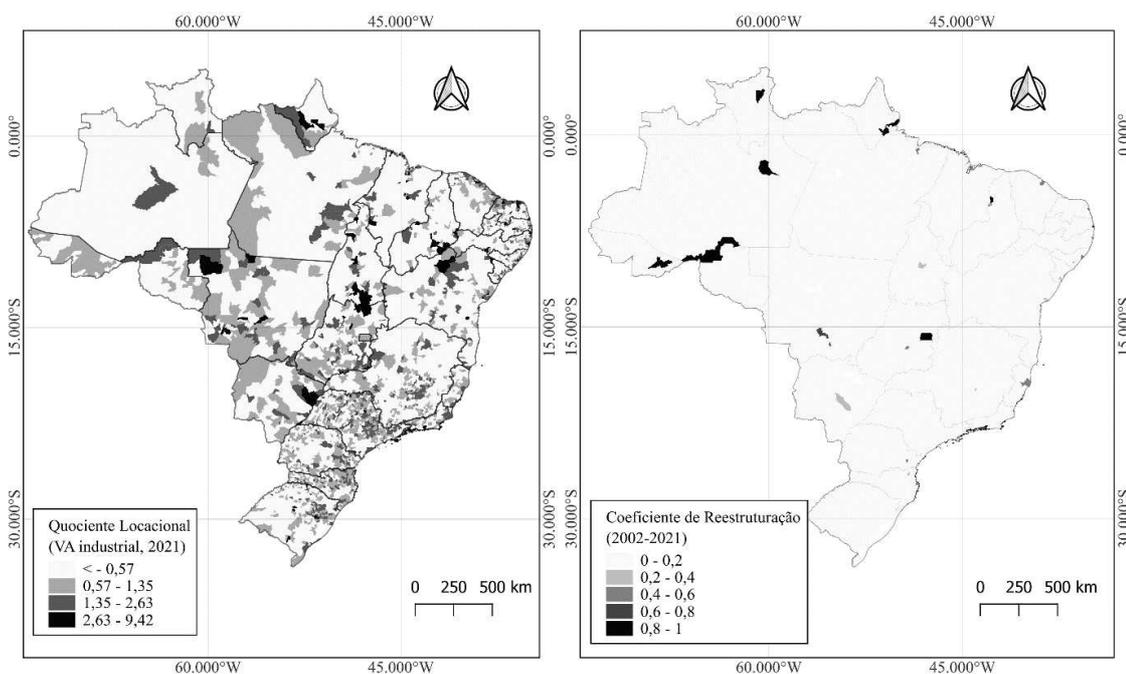
Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados da ABDI (2018).

A Figura 1 ilustra a localização espacial das empresas montadoras de aerogeradores e as fabricantes de pás, torres e demais subcomponentes. Com a distribuição espacial é perceptível dois grandes polos produtivos: um concentrado na região Nordeste e o outro no Sul-Sudeste do país. Explicado pelas teorias de localização e aglomeração (KRUGMAN, 1993), parte dessa distribuição tem como pano de fundo os seguintes fatores: i) proximidade aos parques eólicos e condições de infraestrutura de portos e rodovias; ii) proximidade da cadeia produtiva; e iii) aproveitamento de instalação fabril existente (ABDI, 2014; 2018). No caso do Rio Grande do Sul, por exemplo, o desenvolvimento das atividades de energia eólica foi motivado por vantagens comparativas do estado, ao apresentar uma fase madura de industrialização (metalmecânico, eletroeletrônico e de automação) e disponibilidade de empresas capacitadas (consultorias, engenharia e construção). Além disso, o estado se destaca pelas conexões com regiões de maior potencial eólico e disponibilidade de uma infraestrutura adequada de estradas, portos, aeroportos e telecomunicações (ADAMI *et al.*, 2017).

A produção de subcomponentes, como os insumos e elementos internos das torres, pás, cubo, rotor, *nacelle*, sistema de *yaw*, geradores, sistemas de travamento, conversor, transformador, eixo principal e demais acessórios, é majoritariamente realizada no estado de São Paulo, com um total de 157 empresas (incluindo 2 montadoras de aerogeradores, 3

fabricantes de pás e 2 fabricantes de torres). Em seguida, estão Santa Catarina, com um total de 20 empresas; Minas Gerais, com 12 empresas; Bahia e Ceará, com 11 empresas cada; e Rio Grande do Sul, com um total de 10 empresas (ABDI, 2014; 2018).

Figura 2 – Quociente Locacional do Valor Adicionado Industrial (2021) e Coeficiente de Reestruturação para as atividades do setor eólico (2002-2021)



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do IBGE (2024) e RAIS (2024).

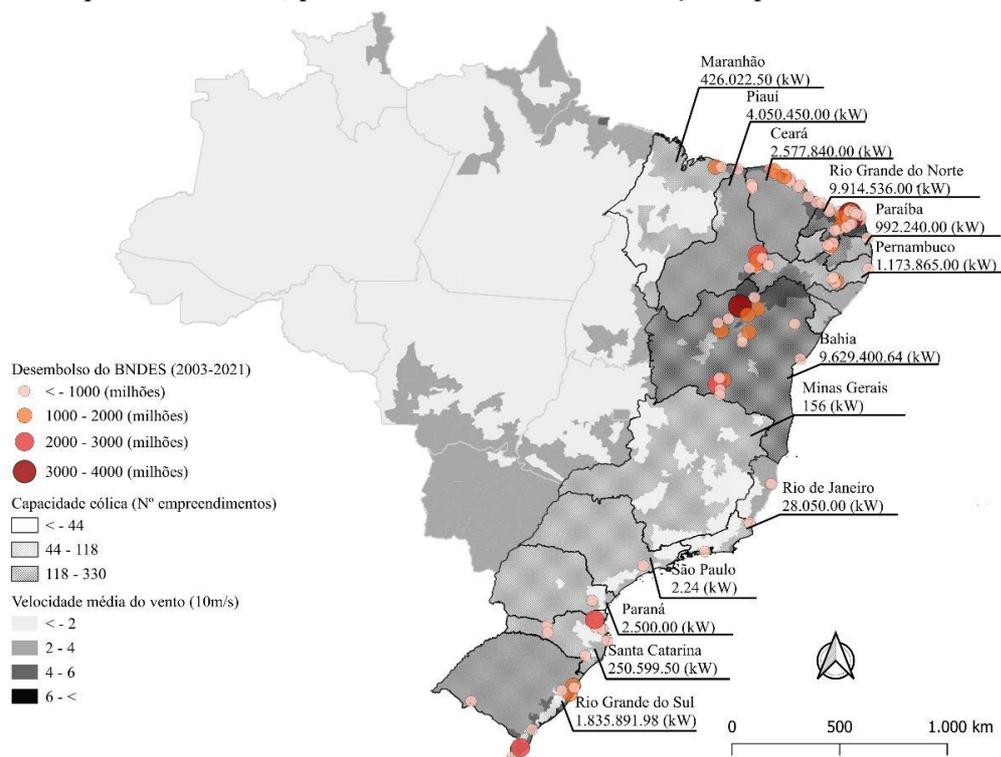
O Quociente Locacional (QL)⁵², a partir do VA da indústria total, destaca alguns municípios das regiões Sul e Sudeste e, em proporções menores, municípios nas regiões Centro Oeste e Nordeste com potencialidades industriais, o que indica a importância da atividade industrial para essas regiões, conforme ilustra a Figura 2. A fim de identificar o grau de mudança da estrutura produtiva nessas localidades, a Figura 2 ainda ilustra os resultados obtidos com o indicador de Coeficiente de Reestruturação (CR)⁵³. Esse indicador relaciona a estrutura setorial dos municípios brasileiros entre dois períodos (2002-2021), a partir da distribuição do

⁵² Calculado pela razão entre VA industrial total e o VA total do município em relação ao VA industrial total e o VA total da região. Do mesmo modo, calculado a partir da razão entre o Emprego na atividade eólica e o Emprego industrial total do município em relação ao Emprego na atividade eólica e o Emprego industrial total da região. Os resultados com $QL > 1$ indicam uma atividade importante para a economia (Ver HILDEBRAND; MACE, 1950; HADDAD *et al.*, 1989).

⁵³ Calculado a partir da diferença entre a razão da atividade industrial eólica do município e a atividade industrial total da região, para dois períodos t_1 e t_0 . Os resultados com $CR = 0$, indicam que não ocorreu modificações na estrutura setorial do município e $CR \geq 1$, indicam que ocorreu uma reestruturação substancial na composição setorial dos municípios (MATTEI; MATTEI, 2017).

emprego para um conjunto de atividades industriais desenvolvidas no setor eólico⁵⁴. Os resultados apontam que poucos municípios tiveram uma mudança na sua estrutura produtiva nas duas últimas décadas, dentre esses destacam-se: Brasília (DF), Boa Vista (RR), Manaus (AM), Rio Branco (AC), Macapá (AP), Porto Velho (RO), Teresina (PI), Cuiabá (MT), Natal (RN) e Rio de Janeiro (RJ), com indicadores de reestruturação $0,62 \leq CR \leq 1$.

Figura 3 – Capacidade eólica, potencial do vento e distribuição espacial do financiamento



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados da ANEEL (2024), COPERNICUS (2024) e BNDES (2024).
 Nota¹: Potência outorgada (kW).

Atualmente, no Brasil, há um total de 1.053 empreendimentos de geração de energia eólica *onshore* em operação, parte desses empreendimentos se concentram na região Nordeste do país, que se caracteriza como uma região de elevado potencial devido à velocidade média de ventos (10m/s), conforme ilustra a Figura 3. Dentre os principais estados com capacidade

⁵⁴ A partir dos dados obtidos na RAIS (2024): vínculo empregatícios de 2002 e 2021 (geração; distribuição, fabricação de aparelhos e equipamentos para distribuição e controle de energia elétrica; fabricação de geradores de corrente contínua e alternada, peças e acessórios; fabricação de motores e turbinas, peças e acessórios, exceto para aviões e veículos rodoviários; fabricação de motores elétricos, peças e acessórios; fabricação de máquinas e equipamentos para uso industrial específico não especificados anteriormente, peças e acessórios; fabricação de outras máquinas e equipamentos de uso geral não especificados anteriormente, peças e acessórios; fabricação de transformadores, indutores, conversores, sincronizadores e semelhantes, peças e acessórios; geração de energia elétrica transmissão de energia elétrica).

eólica instalada, destacam-se o Rio Grande do Norte, com 302 empreendimentos e uma potência outorgada em operação de 9,9 GW, e a Bahia, com 330 empreendimentos e uma potência de 9,06 GW. Ambos os estados também apresentam o maior número de empreendimentos nas fases de construção e de construção não iniciada, especialmente a Bahia (ANEEL, 2024).

No que se refere ao financiamento do BNDES (Finame, Finem, debêntures e empréstimos-ponte) destinado às atividades eólicas, a região Nordeste do Brasil também apresenta o maior volume de desembolsos obtidos entre 2002 e 2021, conforme ilustra a Figura 3. Novamente, liderados pelo Rio Grande do Norte e Bahia, com destinação para a atividade de geração de energia elétrica. Cabe ressaltar que além da atividade de geração de energia, parte dos recursos nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina é destinada às atividades de fabricação de geradores, peças e equipamentos eólicos, sendo estes os principais polos de fabricação do país, conforme apontado anteriormente.

Embora seja um setor com elevado potencial de crescimento, no Brasil ainda persistem alguns desafios, entre os quais se destacam: os altos custos de impostos, mão de obra e transporte; a ausência e/ou a limitação da capacidade produtiva local; a existência de capacidade ociosa em outros países; a preferência por fornecedores globais; a dificuldade logística promovida pelo tamanho/peso dos componentes; e a concentração dos fornecedores de insumos e subcomponentes na região Sudeste (ABDI, 2014; GOUVÊA; SILVA, 2018; TOSTA *et al.*, 2019). Esses são alguns dos desafios que precisam ser superados e encarados como oportunidades, a fim de promover um ambiente compatível as projeções de potencial crescimento do setor. Para Aiginger e Rodrik (2020), nos países retardatários são necessários avanços para segmentos com um grau maior de sofisticação da atividade econômica, tanto no âmbito industrial quanto na disponibilidade de serviços.

Nessa perspectiva, para fortalecer sua competitividade em relação às tecnologias tradicionais de energia, destaca-se a importância do fomento e incentivo destinado ao desenvolvimento das capacitações científicas e tecnológicas do Brasil, bem como dos investimentos em infraestrutura de pesquisa e a intensificação da articulação universidade e empresa. Além disso, considerando que as tecnologias de fontes renováveis envolvem um certo grau de incerteza intrínseca (MAZZUCATO, 2014), a articulação entre as políticas energética, industrial e de ciência e tecnologia (C&T), bem como a participação das instituições de fomento, torna-se essencial para promover a maturidade e a competitividade dessas tecnologias. Tal articulação é fundamental para direcionar e atrair a participação do setor privado no processo de transição energética.

4.4. Dados e método

Esta seção apresenta a descrição dos dados e o arcabouço metodológico utilizados para atender ao objetivo proposto do presente trabalho. No primeiro momento, descrevem-se as fontes dos dados, as respectivas estatísticas descritivas das variáveis e a estratégia de seleção para a definição dos grupos e amostras. Posteriormente, apresenta-se o método tradicional de avaliação de impacto, seguido pelos avanços recentes da literatura no tratamento de dados escalonados e heterogêneos, assim como a estratégia empírica adotada neste trabalho.

4.4.1. Descrição e estatísticas dos dados

Para modelar o efeito causal do financiamento destinado às atividades de energia eólica sobre a estrutura produtiva dos municípios contemplados pelos investimentos, este trabalho compila um conjunto de dados de painel, em nível municipal. Cabe ressaltar que o uso de dados em painel permite acompanhar a mesma unidade ao longo do tempo, isto é, investigar as relações dinâmicas, diferentemente do uso de dados transversal. Além disso, permite também controlar heterogeneidade não observada.

As variáveis do modelo apresentam as características de natureza socioeconômica e física/natural para uma amostra de 5.160 observações⁵⁵, durante o período de 2002-2021, conforme apresentada na Tabela 1. Os dados advêm de fontes oficiais, a saber: i) Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2024); ii) Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2024); iii) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024); iv) Relação Anual de Informações Sociais (RAIS, 2024); e v) Copernicus (2024).

⁵⁵ Com base na matriz de vizinhança dos primeiros k-vizinhos, detalhado posteriormente.

Tabela 1 – Descrição das variáveis do modelo

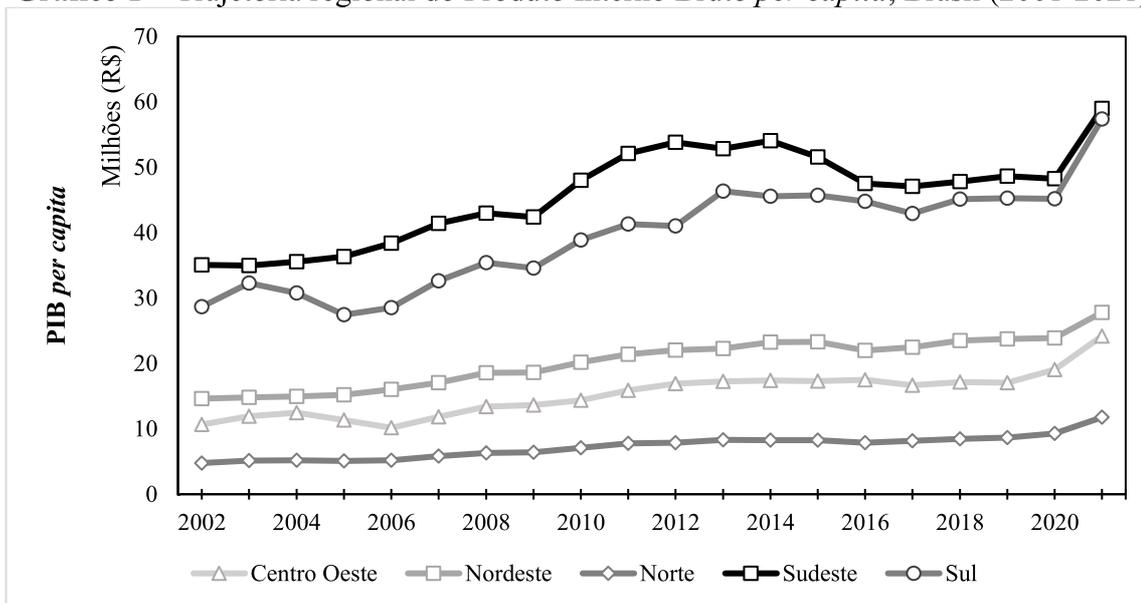
Variável	Natureza	Unidade	Fonte
Financiamento para atividade eólica ¹	Econômica	Monetária (R\$)	BNDES
Valor Adicionado da Indústria ¹			
Valor Adicionado da Agropecuária ¹			
Valor Adicionado Serviços	Econômica	Monetária (R\$)	IBGE
Valor Adicionado Administração e outros			
Valor Adicionado Total ¹			
Emprego Industrial			
Emprego Agropecuária			
Emprego Construção			
Emprego Comércio e Serviços	Social	Numeral (quant.)	RAIS
Emprego Administração e outros			
Emprego Total			
Emprego por escolaridade			
Densidade Populacional		Numeral (quant.)	
Macroregiões	Social	Numeral (<i>Dummy</i>)	IBGE
Região Metropolitana			
Velocidade do Vento	Física	Metros por segundo (m/s)	Copernicus
Potência Instalada	Física	Gigawatt (kW)	ANEEL
Área	Física	Quilômetro (km)	IBGE

Fonte: Elaboração própria, 2024. Nota: Deflacionado pelo Índice de Preço do Consumidor (IPCA) com ano base de 2023.

A partir da matriz de correlação entre as variáveis do modelo, observa-se que tanto o VA Industrial quanto o emprego industrial apresentam uma relação negativa com o desembolso financeiro do BNDES, o capital humano de média qualificação (medido pela participação relativa de trabalhadores com ensino fundamental e médio completo), a velocidade média do vento e a localização na região Nordeste do país. Em contrapartida, o desembolso do BNDES apresenta correlação positiva entre essas variáveis (capital humano, velocidade média do vento e localização na região Nordeste), assim como com o VA Agropecuário e os indicadores de Quociente Locacional (QL), conforme descreve a Tabela C2 no Apêndice.

O Brasil é um país marcado por intensas disparidades regionais, com elevada concentração econômica nas regiões Sul e Sudeste. Parte disso pode ser atribuída ao processo de industrialização do país (SUZIGAN *et al.*, 2020). Conforme ilustra o Gráfico 1, ao longo dos anos houve um crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*, especialmente nessas regiões. Embora o Nordeste seja a segunda região com o maior volume populacional, ainda assim mantém-se economicamente abaixo das regiões mencionadas anteriormente e com a maior taxa de desocupação do Brasil (IBGE, 2024).

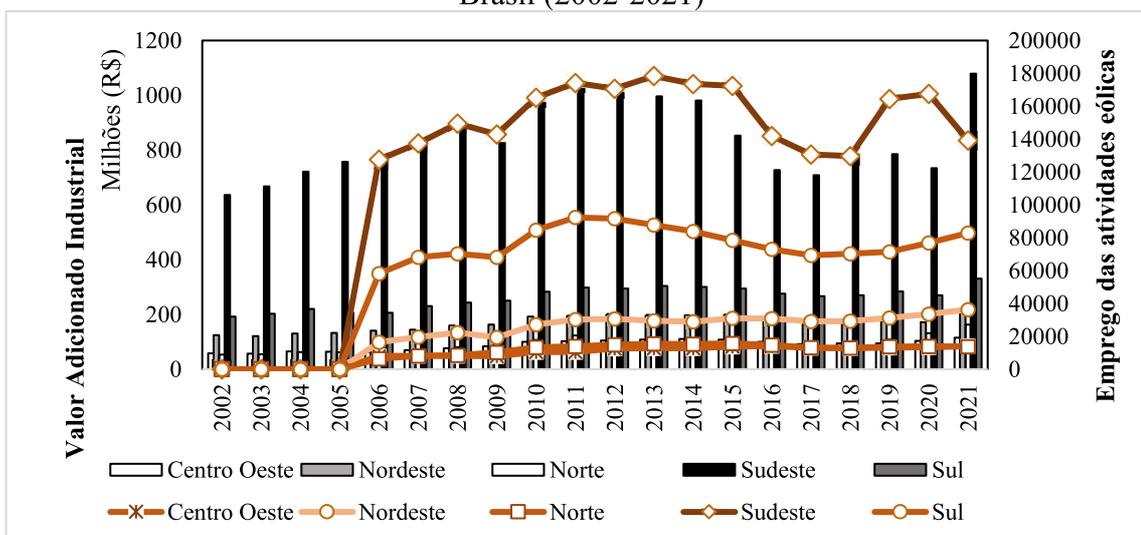
Gráfico 1 – Trajetória regional do Produto Interno Bruto *per capita*, Brasil (2001-2021)



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do IBGE (2024).

A trajetória regional do VA industrial segue a mesma tendência mencionada para a atividade econômica (PIB *per capita*) nas regiões. Destaca-se a elevada concentração na região Sudeste do país, especialmente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Em seguida, a região Sul, nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Essas regiões concentram o maior volume de emprego nas atividades relacionadas à energia eólica, com picos de oferta registrados entre os anos de 2010 e 2015. Conforme ilustra o Gráfico 2.

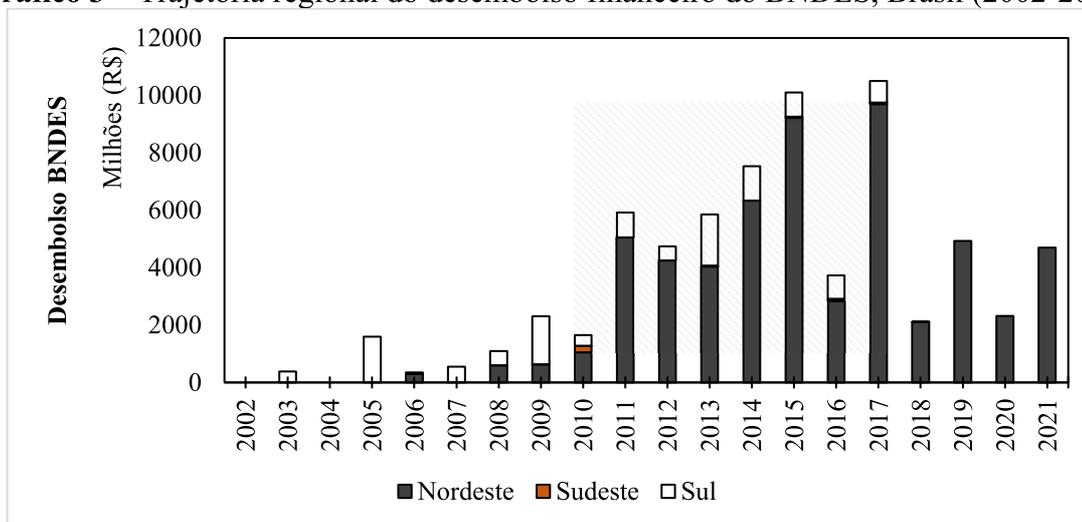
Gráfico 2 – Trajetória regional do Valor Adicionado Industrial e da oferta de emprego eólica, Brasil (2002-2021)



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do IBGE (2024) e RAIS (2024).

A partir da visualização da trajetória do desembolso do BNDES destinado para o setor eólico, é possível identificar um *boom* nos investimentos entre os anos de 2011 e 2017, majoritariamente para a região Nordeste, conforme ilustra o Gráfico 3. Além disso, nos últimos três anos da amostra (2019-2021), os recursos foram direcionados exclusivamente para a atividade de geração de energia eólica no Nordeste. Esse padrão pode sugerir um possível desinvestimento, por parte da instituição, nas atividades industriais associadas à energia eólica, tradicionalmente concentrada espacialmente nas regiões Sul e Sudeste.

Gráfico 3 – Trajetória regional do desembolso financeiro do BNDES, Brasil (2002-2021)



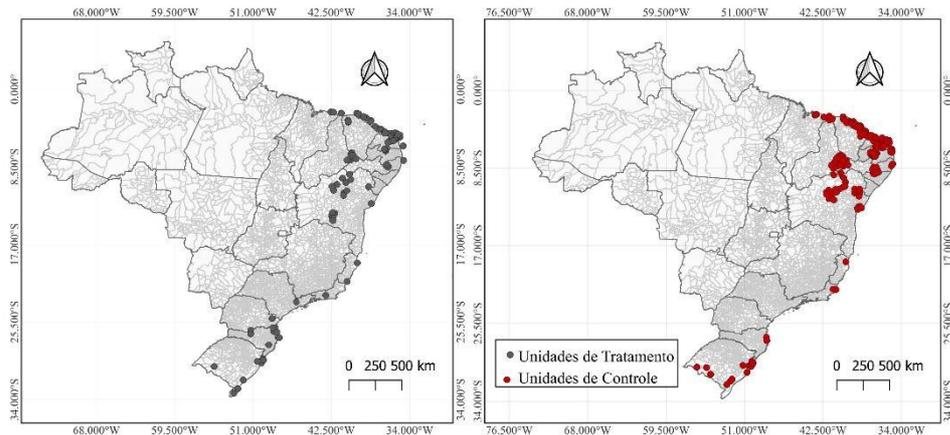
Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BNDES (2024).

Devido às preferências locacionais, a disponibilidade de financiamento pode apresentar endogeneidade em relação aos determinantes do desenvolvimento local da energia eólica. Dessa forma, é necessária a construção de uma estratégia de identificação robusta, que permita recuperar o efeito causal do financiamento eólico sobre os resultados das atividades industriais em nível municipal. Além de lidar com esse potencial endogeneidade, a abordagem empírica também requer atenção para a definição adequada dos grupos de “tratamento” *versus* “controle”, dado as repercussões e as possíveis externalidade associadas às atividades do setor.

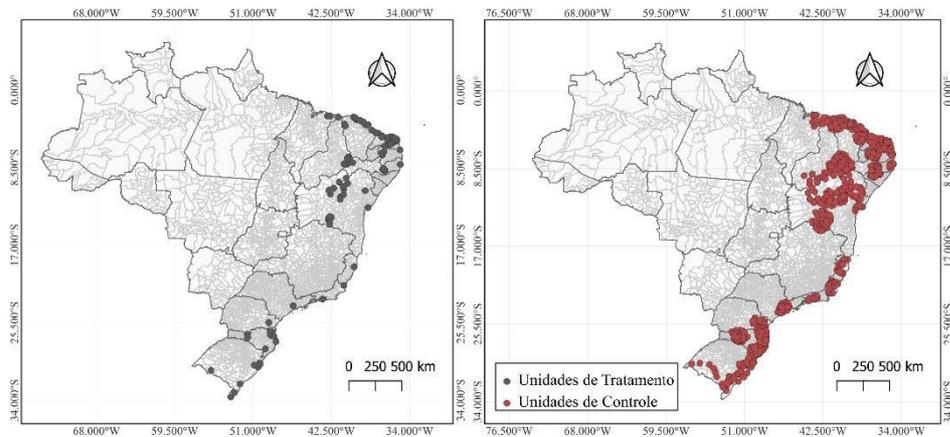
Para estimar os parâmetros do efeito médio do tratamento (antes e depois do início dos investimentos), foram definidos dois grupos e três amostras: i) Grupo 1, refere-se aos municípios que receberam o financiamento em algum momento do tempo no período analisado (grupo de tratamento); e ii) Grupo 2, refere-se aos municípios vizinhos que não receberam o financiamento em nenhum momento durante o período analisado (grupo de controle). A definição desses municípios de controle foi realizada com base em uma matriz de ponderação

espacial (W) de contiguidade do tipo rainha (*queen contiguity*), considerando diferentes ordens de proximidade: municípios vizinhos de primeira ordem (Amostra 1), municípios vizinhos de segunda ordem (Amostra 2) e municípios vizinhos terceira ordem (Amostra 3), conforme ilustra a Figura 4.

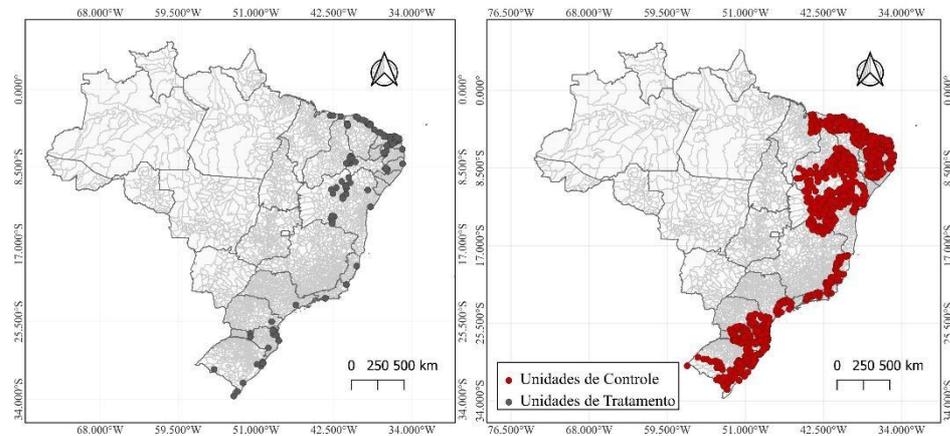
Figura 4 – Unidades de tratamento e controle



a. Amostra 1



b. Amostra 2

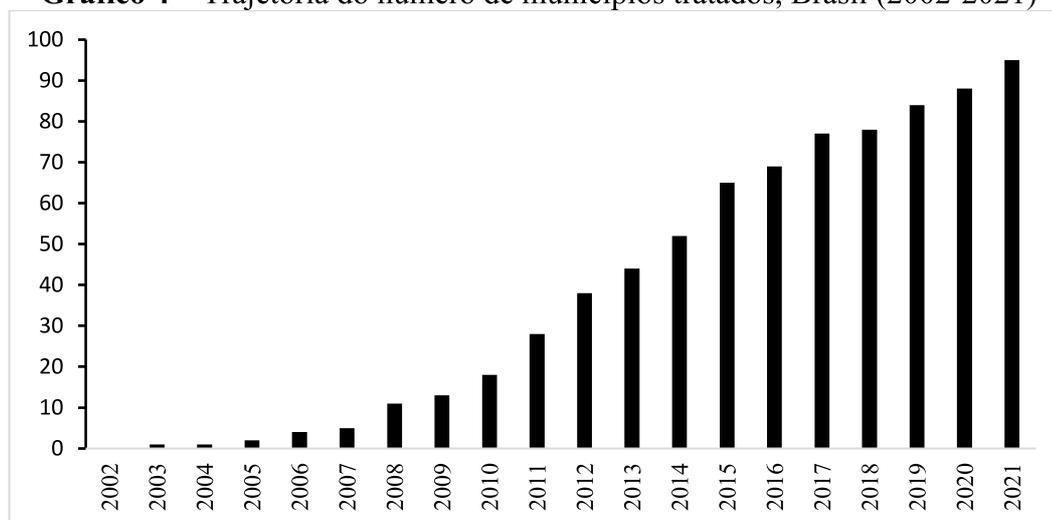


c. Amostra 3

Fonte: Elaboração própria, a partir do *software* QGIS (2024).

Cabe ressaltar que para as especificações do modelo base será utilizada a Amostra 1 com os vizinhos de primeira ordem que apresentam potencial para receber o financiamento, isto é, municípios que possuem características semelhantes da velocidade média do vento e/ou do potencial produtivo indicado pelo Quociente Locacional (QL). Conforme ilustrado na Figura 4, em todas as amostras (primeiro, segunda e terceira vizinhança) as unidades (controle e tratamento) se encontram predominantemente nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste, respectivamente.

Gráfico 4 – Trajetória do número de municípios tratados, Brasil (2002-2021)



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BNDES (2024).

O Gráfico 4 ilustra a trajetória anual do número de tratados da Amostra 1, entre 2002 e 2021. Cabe destacar que, embora o PROINFA (instituído em 2002) e o sistema de leilões (instituído em 2009) tenham iniciado as atividades do setor eólico durante a primeira década dos anos 2000, foi a política de conteúdo local – implementada em 2012 pelo BNDES – o principal instrumento propulsor de política industrial destinado ao desenvolvimento da cadeia de produção eólica. Esta política viabilizou a internalização de atividades tecnológicas de maior complexidade – até então inexistentes – e a gradual incorporação de novos componentes da atividade eólica no mercado doméstico. De acordo com IEDI (2018), em 2017, os empréstimos já registravam recordes e representavam mais da metade do total destinado pelo BNDES para a área de energia, com um valor aproximado de 7 bilhões de reais.

4.4.2. Abordagem do método de Diferença em Diferença (DiD)

Uma parte das aplicações empíricas que avaliam os efeitos causais das intervenções políticas tem utilizado o desenho quase-experimental de Diferença em Diferenças (DiD⁵⁶) em sua forma canônica. A essência desse método é que, na ausência de tratamento, as tendências dos resultados tanto do grupo de tratamento quanto do grupo de controle seriam semelhantes, isto é, apresentariam “tendências paralelas”. Além disso, o método assume que o tratamento não tem efeito causal antes de sua implementação, isto é, não há um “efeito antecipação”. Essas são as duas principais premissas do modelo (CALLAWAY; SANT'ANNA, 2021; ROTH *et al.*, 2022; FABRA *et al.*, 2023; DONG *et al.*, 2023; BRUNNER *et al.*, 2024).

Em linhas gerais, o DiD em seu formato canônico se caracteriza por um modelo com dois períodos t e dois grupos i : no período $t = 1$ nenhuma unidade é tratada, $Y_{it}(0) = Y_{it}(0, 0)$; mas no período $t = 2$ algumas unidades são tratadas (grupo de tratamento), enquanto outras não são (grupo de controle), $Y_{it}(1) = Y_{it}(0, 1)$. A Equação 1 identifica o resultado observado e codifica implicitamente a suposição de valor de tratamento unitário estável (SUTVA), de que os resultados na unidade de controle i não são afetadas pelo tratamento $j \neq i$ (ROTH *et al.*, 2022; CHAISEMARTIN; D'HAULTFOEUILLE, 2023).

$$Y_{it} = D_i Y_{it}(1) + (1 - D_i) Y_{it}(0) \quad (1)$$

O interesse primário no DiD canônico é estimar o efeito médio do tratamento sobre os tratados (ATT⁵⁷) no período $t = 2$, considerando as duas premissas mencionadas (tendências paralelas e não antecipação) (ROTH *et al.*, 2022; CHAISEMARTIN; D'HAULTFOEUILLE, 2023), respectivamente:

$$\text{Premissa 1: } \mathbb{E}[Y_{i2}(0) - Y_{i1}(0) \mid D_i = 1] = \mathbb{E}[Y_{i2}(1) - Y_{i1}(0) \mid D_i = 0]$$

$$\text{Premissa 2: } Y_{i1}(0) = Y_{i1}(1)$$

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[DID] &= \mathbb{E}[Y_{i2} - Y_{i1} - (Y'_{i2} - Y'_{i1})] \\ \mathbb{E}[DID] &= \mathbb{E}[Y_{i2}(1) - Y_{i1}(0) - (Y'_{i2}(0) - Y'_{i1}(0))] \\ \mathbb{E}[DID] &= \mathbb{E}[Y_{i2}(1) - Y_{i2}(0)] + \mathbb{E}[Y_{i2}(0) - Y_{i1}(0)] - \mathbb{E}[(Y'_{i2}(0) - Y'_{i1}(0))] \end{aligned}$$

Logo,

$$\begin{aligned} ATT &= \mathbb{E}[Y_{i2}(1) - Y_{i2}(0) \mid D_i = 1] \\ ATT &= \underbrace{\mathbb{E}[Y_{i2} - Y_{i1} \mid D_i = 1]}_{\text{Diferença para } D_i=1} - \underbrace{\mathbb{E}[Y_{i2} - Y_{i1} \mid D_i = 0]}_{\text{Diferença para } D_i=0} \end{aligned} \quad (2)$$

⁵⁶ Difference-in-differences (DiD).

⁵⁷ Average Treatment Effect of the Treated (ATT).

Uma técnica comumente usada para medir o efeito de um tratamento sobre um resultado é a regressão de efeitos fixos bidirecionais (TWFE⁵⁸) de estado e ano, essa técnica se assemelha aos estimadores DiD canônico e tem sido utilizada também em casos mais complexos, como nos casos com mais grupos, períodos, variação no tempo de tratamento, ativação e desativação e/ou tratamentos não binários. No entanto, estudos recentes apontam limitações do método em cenários com efeitos de tratamento heterogêneos. Nessas situações, os estimadores podem identificar uma média ponderada dos parâmetros de efeito do tratamento que não corresponde ao ATT, ou até mesmo, ter um sinal diferente do verdadeiro ATT. Nesse sentido, o uso do TWFE é recomendado apenas para contextos que apresentam homogeneidade do efeito do tratamento (CALLAWAY; SANT'ANNA, 2021; GOODMAN-BACON, 2021; ROTH *et al.*, 2022; CHAISEMARTIN; D'HAULTFOEUILLE, 2023; DESCHENES *et al.*, 2023).

Para resolver esse problema, estudos recentes têm relaxado os pressupostos básicos e utilizado diferentes estimadores, conforme apontado por Roth *et al.* (2022): Chaisemartin e D'Haultfoeuille (2023) propõem um estimador que pode ser aplicado quando o tratamento é ativado e desativado; Wooldridge (2021) propõe um procedimento alternativo de ajuste de regressão que é adequado para configurações escalonadas, com informações adicionais dos períodos de pré-tratamento; Sant'Anna e Zhao (2020), Callaway e Sant'Anna (2021), Sun e Abraham (2021) e Callaway *et al.* (2024) propõem estimadores robustos à heterogeneidade do efeito do tratamento e específicos para pesquisas de adoção escalonada e indicador de tratamento binário, sendo este último, o estimador utilizado no presente trabalho.

Os estimadores propostos por Sun e Abraham (2021) utilizam grupos nunca tratados como controles ou, na ausência desses, os últimos grupos tratados. Por outro lado, Callaway e Sant'Anna (2021) utilizam como controle os ainda não tratados, em vez dos nunca tratados. Esses autores propõem estimadores baseados na suposição de tendências paralelas condicionais, que são robustos aos efeitos heterogêneos.

No modelo de efeitos dinâmicos quando o tratamento é binário e o desenho de adoção é escalonado, para qualquer $t \in \{1, \dots, T\}$, permite-se que o resultado do grupo g no tempo t dependa dos seus tratamentos anteriores, seja $Y_{g,t}(d_1, \dots, d_t)$ o resultado potencial do grupo g no período t com tratamentos (d_1, \dots, d_t) , assumindo uma suposição de tendências paralelas $Y_{g,t}(0_t)$ em para todo $g \neq g'$ e $t \geq 2$ (CHAISEMARTIN; D'HAULTFOEUILLE, 2023).

⁵⁸ *Two-Way Fixed Effects* (TWFE).

$$\mathbb{E}[Y_{g,t}(0_t) - Y_{g,t-1}(0_{t-1})] = \mathbb{E}[Y_{g',t}(0_t) - Y_{g',t-1}(0_{t-1})] \quad (3)$$

A estimativa do efeito médio do tratamento no tempo do grupo⁵⁹, a partir de Callaway e Sant'Anna (2021) assume irreversibilidade do tratamento e aleatoriedade da amostragem. A primeira suposição afirma que nenhuma unidade é tratada no período $t = 1$. Porém, uma vez tratada, essa unidade permanecerá tratada no período seguinte (adoção escalonada). A segunda suposição impõe que cada unidade i seja sorteada aleatoriamente de uma grande população de interesse. Definindo G como o período em que uma unidade é tratada pela primeira vez, G_g como uma variável binária igual a um se uma unidade for tratada primeiro no período e C como uma variável binária igual a um para unidades que não participam do tratamento em nenhum período. Os resultados observados e potenciais para cada unidade i podem ser identificados por:

$$Y_{i,t} = Y_{i,t}(0) + \sum_{g=2}^T (Y_{i,t}(g) - Y_{i,t}(0)) \cdot G_{i,g} \quad (4)$$

Para encontrar o $ATT(g, t)$, Callaway e Sant'Anna (2021) adicionalmente impõem algumas suposições: i) antecipação limitada do tratamento que permite um comportamento de antecipação, desde que haja uma compreensão do horizonte de antecipação; ii) tendências paralelas condicionais baseadas em um grupo “nunca tratados”; iii) tendências paralelas condicionais baseadas em grupos “ainda não tratados”; e iv) sobreposição, isto é, a configuração de múltiplos grupos e múltiplos períodos. Em linhas gerais, o efeito médio da participação no tratamento entre as unidades do grupo g , em todos em todos os seus períodos pós-tratamento, pode ser identificado em:

$$\theta_{sel}(\tilde{g}) = \frac{1}{T - \tilde{g} + 1} \sum_{t=\tilde{g}}^T ATT(\tilde{g}, t) \quad (5)$$

$$\theta_{sel}^0 = \sum_{g \in \mathcal{G}} \theta_{sel}(g) P(G = g | G \leq T) \quad (6)$$

⁵⁹ $ATT(g, t) = \mathbb{E}[Y_t(g) - Y_t(0) | G_g = 1]$.

$$\theta_{es}^0 = \frac{1}{T-1} \sum_{e=0}^{T-2} \theta_{es}(e) \quad (7)$$

$$\theta_c^0 = \frac{1}{T-1} \sum_{t=2}^T \theta_c(t) \quad (8)$$

A partir da Equação 5 é possível modelar as agregações em parâmetros gerais de efeito do tratamento, isto é, identificar o efeito global da participação no tratamento com efeitos heterogêneos entre grupos (Equação 6). Do mesmo modo, definir os parâmetros gerais do efeito do tratamento, a partir da média de $\theta_{es}(e)$ e $\theta_c(t)$, Equação 7 e 8, respectivamente.

Por fim, os benefícios para esse estimador são múltiplos, especialmente em contextos nos quais: i) a suposição de tendências paralelas se mantém somente após condicionamento em covariáveis; ii) a existência de diferentes grupos de comparação, como “nunca tratados” ou “ainda não tratados”; e iii) as unidades podem antecipar a participação no tratamento e ajustar seu comportamento antes que o tratamento seja implementado (CALLAWAY; SANT'ANNA, 2021).

4.4.3. Estratégia empírica

O objetivo deste trabalho é estimar o efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica sobre o setor industrial dos municípios contemplados pelos investimentos. A abordagem base consiste em estimar os efeitos do VA Industrial (VAI) e do Emprego Industrial (EI) em nível municipal; porém, também se investigam os efeitos sobre o VA de outros setores e do mercado de trabalho, como agropecuária, construção, comércio e serviços e outros. Parte dos estudos anteriores de efeito causal utilizaram o método de DiD com um estimador de TWFE, de estado/região e ano (ver NUNES *et al.*, 2022; FABRA *et al.*, 2023 e GILBERT *et al.*, 2023). A equação de regressão canônica para tais modelos é representada pela Equação 9:

$$Y_{it} = \alpha + \beta Fin_{it} + X'_{it} \theta + \gamma_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

Onde, Y_{it} denota o logaritmo natural de VAI – ou VA Agropecuária (VAA), VA Serviços (VAS), VA Administração, Saúde e outros (VAAdm), VA Total (VAT), Emprego

Industrial (EI), Emprego Agropecuária (EA), Emprego Construção (EC), Emprego Comércio e Serviços (ECS), Emprego Administração, Saúde e outros (EAdm) e Emprego Total (ET) – no município i e ano t . Fin_{it} é a variável binária que assume valor 1 (um) para todos os anos após o desembolso do BNDES. X'_{it} é um vetor de variáveis de controle específicas para o município i e ano t . Os efeitos fixos de município γ_i capturam as características invariantes no tempo, enquanto os efeitos fixos δ_t controlam os choques anuais que são comuns a todos os municípios e que podem estar correlacionados tanto com a probabilidade de obter o financiamento do BNDES quanto com o VA ou emprego. Nesse contexto, o coeficiente de interesse β mensura o efeito médio do tratamento sobre o tratado (ATT) do financiamento do BNDES sobre os seus principais resultados de interesse (VAI, VAT, EI e ET).

Do mesmo modo, a Equação 9 pode ser aplicada nas estimações em Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) de forma direta. No entanto, conforme discutido anteriormente, na presença de heterogeneidade do efeito do tratamento – em que β pode variar ao longo do tempo ou entre as unidades transversais – o estimador TWFE pode identificar uma média ponderada dos efeitos que não corresponde ao verdadeiro ATT (ROTH *et al.*, 2022; DESCHENES *et al.*, 2023).

Para se obter resultados robustos à heterogeneidade do ATT, utiliza-se o estimador proposto por Callaway e Sant'Anna (2021), de adoção escalonada com indicador de tratamento binário, expressa na Equação 10. Nessa Equação, G_g é uma variável indicadora igual a um se um município recebeu o financiamento pela primeira vez no período g . Y_t denota o resultado potencial no período do evento t , e Y_{g-1} denota o resultado potencial no período $g - 1$. Portanto, o $ATT_{g,t}$ compara os resultados diferenciais dos municípios na *coorte* de adoção g entre o período t e o período anterior $t-1$ à implementação e os municípios que ainda não são tratados pelo período g .

$$ATT_{g,t} = \mathbb{E} \left[\frac{G_g}{\mathbb{E}(G_g)} (Y_t - Y_{g-1} - \mathbb{E}[Y_t - Y_{g-1} | X, G_g = 0]) \right] \quad (10)$$

Cabe ressaltar que o financiamento para as atividades eólicas é implementado nos municípios em momentos distintos (de forma escalonada) e que, uma vez recebido o financiamento, o município permanecerá exposto ao tratamento, caracterizando a irreversibilidade da intervenção. Diante disso, deduz-se a importância de utilizar os estimadores de DiD com múltiplos períodos e variações no tempo de tratamento (com sobreposição entre grupos), a fim de capturar adequadamente os efeitos heterogêneos ao longo do tempo, como

proposto por Callaway e Sant'Anna (2021), Sant'Anna e Zhao (2020), Sun e Abraham (2021) e Callaway *et al.* (2024). A Equação 11 descreve o Estudo de Evento⁶⁰, no qual permite identificar o efeito pré-tratamento e pós-tratamento a partir do ATT.

$$Y_{it} = \alpha + \sum_{i=1}^I \beta_{pre,i} WFin_{i,t+1} + \sum_{i'=0}^{I'} \beta_{i'} WFin_{i,t-1} + \mathcal{X}'_{it}\theta + \gamma_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

Onde, $WFin_{i,t+1}$ denota se o município i recebeu o financiamento implementado no período t e em período futuros, enquanto $WFin_{i,t-1}$ denota se o município i recebeu o financiamento no período $t-1$. Além disso, muitos fatores podem influenciar a difusão das atividades nos municípios. Assim, faz-se imprescindível controlar a influência desses outros fatores e, para tal, é incluído efeito fixo de municípios $Z_{h,i}$, efeito fixo de ano $Y_{h,t}$ e um vetor de covariáveis $\mathcal{X}_{i,t}$ para dois conjuntos de controles: variáveis socioeconômicas e variáveis de dotações físicas/naturais, conforme a Equação 12.

$$\mathcal{X}_{i,t} = \begin{cases} \text{Densidade populacional} \\ \text{Escolaridade} \\ \text{Região Metropolitana} \\ \text{Quociente Locacional} \end{cases} \quad (12)$$

Onde, a densidade populacional é mensurada pela razão entre a população e a área de cada município (km²); a força de trabalho por escolaridade é mensurada pela razão de trabalhadores com nível de escolaridade superior completo, mestrado e doutorado em relação ao número total de trabalhadores; a identificação para municípios localizados em regiões metropolitanas consiste em uma variável *dummy*, que corresponde a 1 se localizado na área, 0 caso contrário; a densidade média do vento corresponde a velocidade média por segundo (m/s); e o Quociente Locacional (QL) corresponde à produção das atividades de energia eólica⁶¹.

Para fins comparativos, além dessas variáveis utilizadas no modelo base, também foram utilizados em modelos de robustez as seguintes variáveis de controle: i) a participação da força de trabalho por nível de escolaridade fundamental e médio em relação ao número total; ii) a identificação regional, que corresponde a 1 se localizado no Nordeste, 0 caso contrário; e iii) a

⁶⁰ *Event Study*.

⁶¹ Para os modelos de Valor Adicionado utiliza-se o QL de emprego, enquanto para os modelos de Emprego utiliza-se o QL de Valor Adicionado.

capacidade de geração em operação, que corresponde a 1 se aerogeradores (kW) > 0, 0 caso contrário.

Em linhas gerais, é imprescindível verificar os aspectos de natureza social, pois áreas com maior densidade populacional, ou áreas em regiões metropolitanas, por exemplo, podem apresentar uma economia local forte, com elevada renda e oferta de emprego, e, portanto, atrair mais investimentos do setor (MAURITZEN, 2020). Do mesmo modo, é essencial controlar o modelo a partir de variáveis de dotações física/naturais, pois a geração eólica a partir dos moinhos de vento ocorre no local onde os recursos serão extraídos – diferentemente de outras tecnologias, como combustíveis fósseis e energia nuclear –, isto é, em áreas determinadas pela velocidade média do vento, latitude e/ou condições de relevo (MAURITZEN, 2020; CURTIS; MARINESCU, 2022; FABRA *et al.*, 2023). Portanto, justifica-se a importância dessas variáveis para o modelo.

4.5. Resultados e discussões

Esta seção apresenta os resultados estimados e as principais discussões relacionadas à temática. Em um primeiro momento, analisam-se os resultados obtidos com as especificações no modelo DiD escalonado, utilizando como grupo de controle os municípios definidos a partir da matriz de vizinhança de primeira ordem (Amostra 1). Posteriormente, para fins de robustez das análises, utilizam-se como grupo de controle a matriz de vizinhança de segunda ordem (Amostra 2) e de terceira ordem (Amostra 3), respectivamente. Além disso, são apresentadas especificações adicionais e seus respectivos resultados.

Em princípio, o modelo DiD captura o efeito do que aconteceu e o que teria acontecido na ausência do tratamento. Portanto, a fim de estimar o efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica sobre o setor industrial, a partir do VA e da oferta de emprego em nível municipal utilizam-se o uso dos estimadores de DiD⁶², com múltiplos períodos e variações no tempo de tratamento, exposto na subseção seguinte.

4.5.1. O efeito do financiamento com modelos de Diferença em Diferença (DiD)

⁶² Como estimador utiliza-se o Standard IPW (*Inverse Probability Weighting*) indicado para dados em painel. Refere-se à aplicação básica do método IPW; porém, os pesos inversos das probabilidades são calculados e aplicados para corrigir vieses e tornar as estimativas mais representativas (Ver Abadies, 2005).

A Tabela 2 apresenta a diferença de médias das variáveis do grupo de controle e de tratamento acompanhadas de suas respectivas significâncias estatísticas (Teste T de *Student*). Esse teste avalia se as médias das variáveis são estatisticamente diferentes entre os dois grupos (tratamento *versus* controle), cuja Hipótese nula (H0) supõe que os grupos não apresentam diferença na média. Percebe-se que embora o número de municípios no grupo de controle seja superior ao número de municípios no grupo de tratamento, as médias das variáveis são estatisticamente significativas e mais elevadas para o grupo de tratamento, sendo este o grupo com maior densidade populacional e maior Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*.

Tabela 2 – Diferença de médias entre grupos e significância do teste T (Amostra 1)

	Grupo		Diferença (T-C)	Teste T
	Tratamento (T)	Controle (C)		
Valor Adicionado				
Industrial (VAI)	10,77	9,80	-0,98	-13,93***
Agropecuária (VAA)	10,02	9,68	-0,34	-8,79***
Serviços (VAS)	11,66	11,02	-0,63	-10,38***
Administração, saúde e out. (VAAdm)	11,72	11,31	-0,41	-10,27***
Total (VAT)	12,90	12,27	-0,63	-12,33***
Obs.	1900	3260		
Emprego				
Industrial (EI)	5,50	4,80	-0,70	-7,67***
Agropecuária (EA)	4,39	3,77	-0,62	-7,50***
Construção (EC)	4,63	3,85	-0,77	-7,47***
Comércio e Serviços (ECS)	5,80	5,09	-0,69	-0,54***
Administração, saúde e out. (EAdm)	7,16	6,74	-0,42	-8,37***
Total	7,83	7,32	-0,50	-9,31***
Obs.	1899	3260		

Fonte: Elaboração própria, 2024. Nota: Com estatísticas significativas a ***99% ao nível de confiança e todos os valores transformados em logaritmo natural.

Portanto, preliminarmente, é possível identificar que a dinâmica (social e econômica) dos municípios financiados é maior do que a dinâmica dos seus municípios vizinhos de primeira ordem. Essas diferenças entre as médias podem ser investigadas a partir do Gráfico C3 no Apêndice. Percebe-se que, até 2005, as médias de emprego industrial, agropecuário, construção, comércio e serviços eram zero para os grupos de controle e tratamento. Parte da média do emprego total nesse período pode ser atribuída aos setores: transporte, alojamento, atividades financeiras, administração pública, serviços domésticos e outros serviços⁶³. Cabe destacar que, embora o objetivo do presente trabalho seja investigar o setor industrial, o financiamento destinado às atividades eólicas pode, ainda assim, impulsionar outros setores e/ou atividades.

⁶³ Cabe ressaltar que a falta de informações no período mencionado não significa necessariamente a inexistência das atividades.

Portanto, também são investigados os efeitos sobre os respectivos setores: agropecuária, administração, saúde, comércio e serviços, por exemplo⁶⁴.

A partir da Equação 10, estima-se o efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica, para um painel com 258 municípios, entre 2002 e 2021. O efeito médio do tratamento sobre os tratados (ATT) aponta um resultado positivo e estatisticamente significativo sobre o VAI, o VAA e o VAT dos municípios, conforme descritos na Tabela 3. Para as variáveis de emprego, não há significância estatísticas dos coeficientes estimados, embora os efeitos sejam positivos para o EI, EA, EC, EAdm e ET.

O coeficiente positivo e estatisticamente significativo do ATT sinaliza um aumento de aproximadamente 74% do VAI em comparação aos municípios que não receberam o financiamento. O erro padrão de 0,15 associado ao coeficiente reforça a precisão da estimativa, isto é, os resultados apontam uma baixa variabilidade do coeficiente estimado. O coeficiente do VAI para o efeito médio do tratamento com controle de efeitos fixos e características observáveis (ATTC) também se mantém positivo e estatisticamente significativo, com um aumento de aproximadamente 39% do VAI.

Com relação aos efeitos dinâmicos do tratamento, a Tabela 3 ainda apresenta o antes e depois para cada grupo da amostra, totalizando quatorze anos posteriores e quatorze anos anteriores. Os resultados para o VAI sinalizam que embora no período corrente o efeito seja positivo, não é estatisticamente significativo. No entanto, até o décimo ano subsequente o efeito é positivo e estatisticamente significativo. Esses resultados apontam que o financiamento não teve um efeito imediato sobre o VAI; porém, começa a ser percebido após o primeiro ano e aumenta progressivamente até o sexto ano, conforme ilustra o Gráfico 5. Nos períodos posteriores esse efeito desacelera e chega ser negativo no décimo quarto ano; porém, não apresenta um coeficiente estatisticamente significativo. As estatísticas do evento por grupo e período podem ser visualizadas no Gráfico C4 no Apêndice.

⁶⁴ De acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) 2.0.

Tabela 3 – Efeito do financiamento e estudos de evento, Amostra 1 (2002-2021)

	Logaritmo Natural do Valor Adicionado					Logaritmo Natural do Emprego					
	VAI	VAA	VAAdm	VAS	VAT	EI	EA	EC	ECS	EAdm	ET
ATT	0,74*** (0,157)	0,084* (0,046)	0,011 (0,021)	0,052 (0,036)	0,204*** (0,062)	0,063 (0,087)	0,024 (0,097)	0,088 (0,162)	-0,024 (0,047)	0,039 (0,037)	0,042 (0,030)
ATTC	0,392*** (0,105)	0,034** (0,037)	0,007 (0,010)	0,050* (0,026)	0,091*** (0,035)	0,056 (0,068)	0,053 (0,062)	0,000 (0,175)	0,004 (0,029)	-0,003 (0,044)	-0,012 (0,031)
T-14	-0,037 (0,134)	0,035 (0,100)	-0,015 (0,046)	-0,067 (0,052)	-0,001 (0,033)	-0,113 (0,179)	0,100 (0,322)	0,510 (0,395)	-0,140 (0,149)	0,101 (0,065)	0,059 (0,050)
T-13	0,043 (0,222)	-0,048 (0,132)	0,008 (0,043)	0,040 (0,037)	-0,005 (0,040)	-0,136 (0,214)	-0,185 (0,155)	-3,427 (3,419)	-0,013 (0,069)	-0,049 (0,050)	-0,064 (0,052)
T-12	0,110 (0,078)	-0,004 (0,061)	0,019 (0,038)	-0,004 (0,035)	0,026 (0,027)	0,132 (0,137)	-0,485 (0,280)	1,397 (0,871)	-0,053 (0,145)	0,049 (0,060)	0,099 (0,075)
T-11	0,163 (0,282)	-0,033 (0,070)	-0,035* (0,021)	-0,026 (0,040)	0,016 (0,059)	-0,260 (0,133)	0,067 (0,270)	-0,632 (1,155)	0,031 (0,141)	0,139 (0,188)	0,150 (0,168)
T-10	-0,210*** (0,073)	-0,019 (0,044)	-0,012 (0,015)	0,034 (0,024)	-0,010 (0,019)	0,173 (0,177)	0,211 (0,101)	-0,750 (0,450)	0,148 (0,095)	-0,341 (0,345)	-0,175 (0,156)
T-9	-0,012 (0,089)	0,059 (0,061)	0,007 (0,009)	0,031 (0,020)	0,003 (0,020)	-0,105 (0,161)	-0,086 (0,101)	-0,328 (0,395)	-0,060 (0,070)	0,040 (0,355)	-0,072 (0,202)
T-8	0,015 (0,063)	-0,022 (0,051)	-0,013 (0,013)	-0,011 (0,017)	-0,009 (0,013)	0,003 (0,073)	0,011 (0,101)	0,118 (0,359)	-0,033 (0,055)	0,166 (0,144)	0,079 (0,119)
T-7	0,072 (0,067)	-0,015 (0,044)	0,004 (0,009)	0,020 (0,017)	0,018 (0,013)	-0,088 (0,096)	-0,035 (0,094)	0,360 (0,313)	0,033 (0,087)	0,002 (0,028)	0,025 (0,025)
T-6	-0,091* (0,048)	-0,035 (0,036)	-0,020*** (0,007)	0,010 (0,014)	-0,003 (0,012)	-0,089 (0,110)	-0,002 (0,075)	-0,089 (0,286)	0,008 (0,040)	-0,005 (0,056)	0,019 (0,049)
T-5	-0,001 (0,04)	-0,005 (0,041)	-0,010 (0,007)	-0,012 (0,016)	-0,019 (0,012)	-0,067 (0,079)	0,032 (0,084)	0,012 (0,189)	0,010 (0,044)	-0,107 (0,119)	-0,074 (0,066)
T-4	0,062 (0,043)	-0,017 (0,025)	-0,011* (0,007)	0,009 (0,013)	-0,007 (0,013)	-0,081 (0,066)	-0,022 (0,065)	-0,200 (0,219)	0,037 (0,036)	0,013 (0,091)	-0,003 (0,047)
T-3	0,019 (0,064)	0,015 (0,029)	0,008 (0,006)	0,002 (0,011)	-0,002 (0,013)	0,018 (0,081)	-0,006 (0,060)	0,294 (0,179)	-0,072 (0,070)	0,047 (0,066)	0,056 (0,036)
T-2	0,035 (0,070)	-0,026 (0,034)	0,000 (0,005)	0,020 (0,014)	0,012 (0,014)	-0,098* (0,053)	-0,033 (0,072)	0,264 (0,196)	-0,026 (0,037)	-0,138 (0,098)	-0,046 (0,038)
T-1	-0,018 (0,046)	0,014 (0,035)	-0,004 (0,006)	0,020 (0,020)	0,005 (0,023)	0,022 (0,050)	-0,117* (0,065)	0,110 (0,187)	-0,044** (0,022)	0,065 (0,101)	0,034 (0,039)

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA.

Tabela 3 – Efeito do financiamento e estudos de evento, Amostra 1 (2002-2021) (Continuação)

	Logaritmo Natural do Valor Adicionado					Logaritmo Natural do Emprego					
	VAI	VAA	VAAdm	VAS	VAT	EI	EA	EC	ECS	EAdm	ET
T	0,138 (0,095)	-0,016 (0,039)	0,004 (0,008)	0,027 (0,031)	0,026 (0,033)	0,048 (0,057)	0,052 (0,062)	-0,101 (0,167)	0,024 (0,023)	0,031 (0,043)	0,010 (0,023)
T+1	0,423*** (0,143)	0,043 (0,039)	0,007 (0,012)	0,028 (0,031)	0,077* (0,043)	0,085 (0,097)	0,092 (0,068)	0,092 (0,195)	0,006 (0,039)	-0,016 (0,078)	-0,004 (0,057)
T+2	0,648*** (0,143)	0,083 (0,046)	0,010 (0,011)	0,098* (0,039)	0,179*** (0,051)	0,035 (0,081)	0,012 (0,093)	0,017 (0,263)	-0,022 (0,044)	-0,028 (0,058)	-0,046 (0,048)
T+3	0,774*** (0,166)	0,076* (0,045)	0,007 (0,016)	0,063 (0,039)	0,183*** (0,056)	0,055 (0,095)	0,040 (0,092)	0,041 (0,220)	0,022 (0,059)	0,078 (0,062)	0,047 (0,032)
T+4	0,920*** (0,191)	0,086* (0,047)	0,006 (0,016)	0,040 (0,035)	0,217*** (0,059)	0,059 (0,098)	0,153 (0,095)	0,198 (0,268)	0,031 (0,055)	-0,027 (0,121)	0,025 (0,071)
T+5	1,104*** (0,218)	0,165** (0,071)	0,010 (0,019)	0,083* (0,050)	0,286*** (0,080)	0,027 (0,117)	0,026 (0,100)	0,171 (0,253)	-0,028 (0,061)	0,050 (0,039)	0,088** (0,041)
T+6	1,193*** (0,242)	0,144** (0,073)	0,015 (0,021)	0,108** (0,053)	0,346*** (0,094)	0,036 (0,132)	0,059 (0,115)	0,195 (0,252)	-0,030 (0,060)	0,074 (0,046)	0,087** (0,036)
T+7	1,096*** (0,294)	0,152** (0,072)	0,014 (0,027)	0,055 (0,059)	0,337*** (0,106)	0,128 (0,160)	0,074 (0,142)	0,137 (0,212)	-0,085 (0,071)	0,077 (0,065)	0,112** (0,048)
T+8	0,862** (0,320)	0,070 (0,071)	0,015 (0,027)	0,043 (0,065)	0,284** (0,123)	0,093 (0,164)	0,002 (0,171)	-0,006 (0,230)	-0,059 (0,090)	0,041 (0,079)	0,093* (0,056)
T+9	1,015*** (0,367)	0,031 (0,090)	0,023 (0,045)	0,028 (0,089)	0,346** (0,160)	0,212 (0,185)	-0,123 (0,197)	0,116 (0,251)	-0,063 (0,104)	0,104* (0,060)	0,140* (0,081)
T+10	0,864* (0,447)	0,071 (0,169)	0,025 (0,069)	0,036 (0,098)	0,307 (0,191)	0,121 (0,169)	-0,210 (0,242)	0,135 (0,284)	-0,096 (0,114)	0,158*** (0,060)	0,086* (0,049)
T+11	0,462 (0,500)	0,174 (0,189)	0,000 (0,111)	-0,077 (0,106)	0,194 (0,170)	0,043 (0,227)	-0,188 (0,298)	-0,103 (0,360)	-0,196 (0,120)	0,086 (0,067)	0,001 (0,060)
T+12	0,455 (0,643)	0,198 (0,204)	0,030 (0,171)	-0,017 (0,105)	0,171 (0,132)	-0,120 (0,189)	-0,110 (0,450)	0,450 (0,404)	-0,252 (0,135)	0,130 (0,118)	0,042 (0,082)
T+13	0,065 (0,225)	0,268 (0,076)	0,029 (0,049)	-0,070 (0,114)	0,075 (0,100)	-0,273 (0,265)	-0,450* (0,235)	0,464 (0,397)	-0,267 (0,186)	0,123 (0,131)	-0,043 (0,098)
T+14	-0,034 (0,198)	0,201 (0,104)	0,282 (0,031)	0,033 (0,096)	0,090 (0,097)	0,590** (0,294)	-0,238* (0,128)	0,329 (0,341)	-0,335 (0,225)	0,576** (0,283)	0,415*** (0,139)
Controles	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pré-tendência	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Obs.	5160	5160	5160	5160	5160	3617	3296	2840	4057	4124	5159

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA.

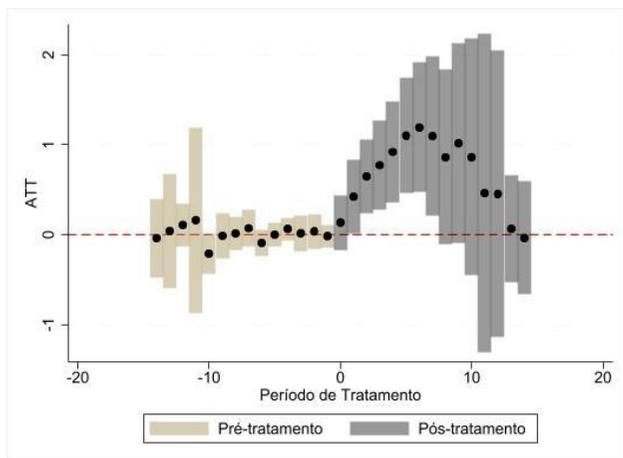
Em magnitudes menores, o ATT sinaliza um aumento de aproximadamente 8,4% do VAA e de 3,4% no ATTC quando controlados por efeitos fixos e variáveis observáveis. O efeito positivo do financiamento é percebido a partir do primeiro ano sobre o setor; porém, estatisticamente significativo apenas entre o terceiro e sétimo ano. Do mesmo modo, os resultados para o VAT são semelhantes aos identificados no VAI, com um efeito positivo do ATT de aproximadamente 20% e do ATTC de 9% quando controlados por efeitos fixos e variáveis observadas. Com relação aos efeitos dinâmicos, o efeito positivo e estatisticamente significativo se mantém do primeiro até o nono ano posterior ao tratamento.

Embora os resultados para o VAdm e VAS não apresentem valores estatisticamente significativos, ainda assim são positivos no ATT, no ATTC e nos efeitos dinâmicos, cujos coeficientes são positivos entre o período corrente e o décimo ano posterior. Em linhas gerais, os resultados encontrados para o valor adicionado dos diferentes setores sinalizam a expansão da produtividade local com o desenvolvimento das atividades do setor eólico, o que mostra seu potencial para promover o desenvolvimento econômico nessas localidades.

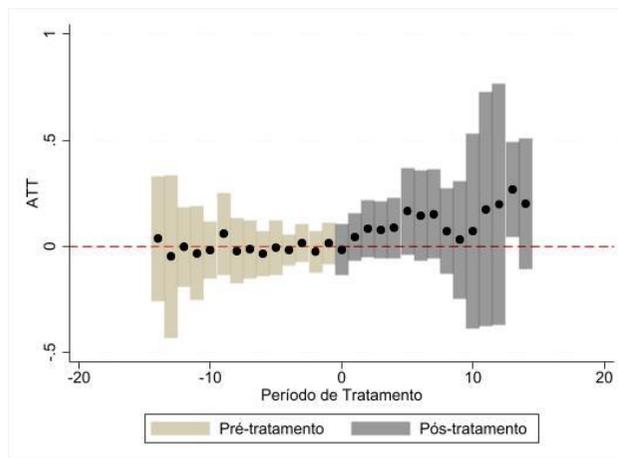
Quanto à oferta de emprego local, ainda na Tabela 3, o ATT foi positivo para todos os setores, com exceção apenas do ECS. Para a indústria, esse efeito foi de aproximadamente 6,3%, enquanto no ATTC foi de 5,6%. No efeito dinâmico, no EI, os coeficientes foram positivos no período anterior ao tratamento (T-1) até o décimo primeiro ano posterior; no entanto, apenas no décimo quarto ano o efeito se mostrou estatisticamente significativo. Para EAdm, o ATT foi de aproximadamente 3,9% e, no emprego total, cerca de 4,2%, sendo ambos estatisticamente significativos apenas no efeito dinâmico observado no décimo quarto ano após o financiamento. Esses resultados podem ser visualizados no Gráfico 6. Para o EA e EC, os efeitos do ATT foram de aproximadamente 2,4% e 8,8%, respectivamente; porém, em ambos os casos, os coeficientes não apresentaram significância estatística.

Cabe mencionar que esses resultados para o mercado de trabalho se mantêm mesmo quando se utiliza a participação do emprego setorial em relação ao total, embora com magnitudes menores. O efeito para o EI é de aproximadamente 1,3% no ATT e 7,1% no ATTC, ambos sem significância estatística. Da mesma forma, os resultados para as variáveis de participação no emprego total dos setores agropecuária, construção, comércio e serviços, também não apresentaram significância estatística, conforme pode ser visualizado no Gráfico C7 no Apêndice.

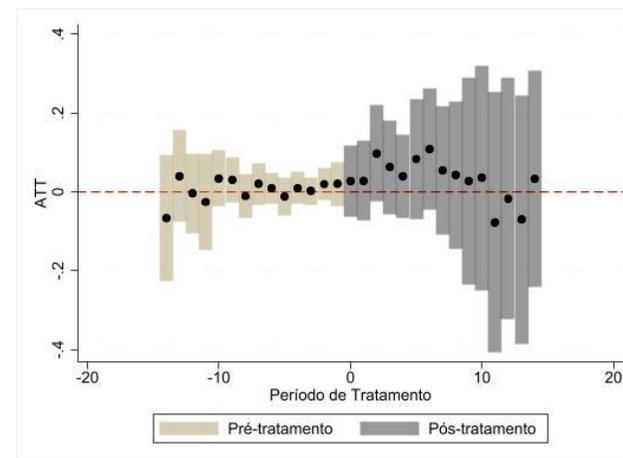
Gráfico 5 – Efeito Médio do Tratamento para o Valor Adicionado, Amostra 1 (2002-2021)



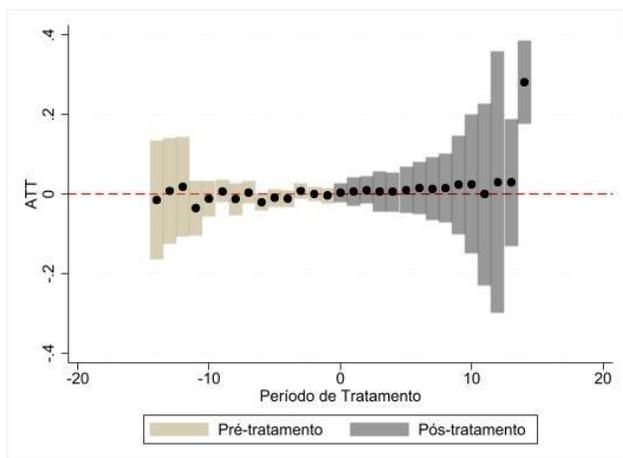
a. Valor Adicionado Industrial



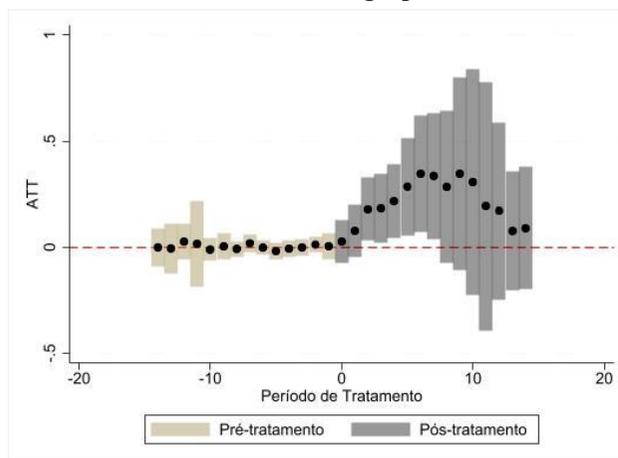
b. Valor Adicionado Agropecuária e outros



c. Valor Adicionado Serviços



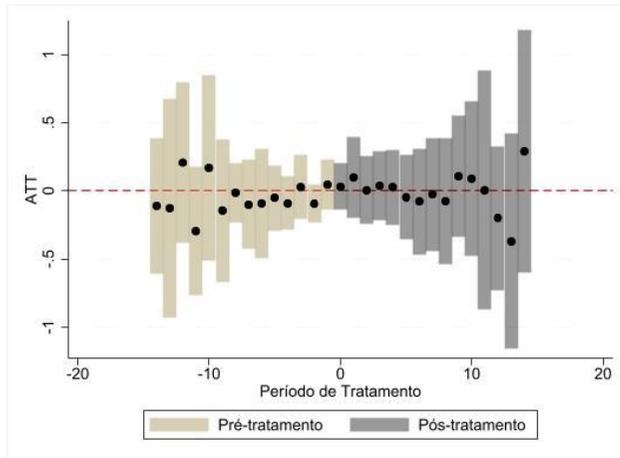
d. Valor Adicionado Administração, saúde e outros



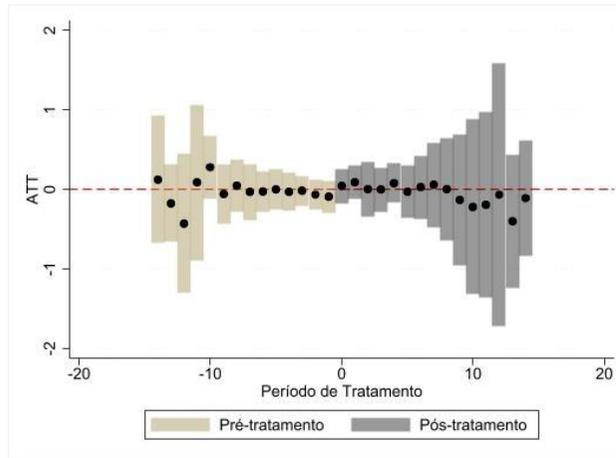
e. Valor Adicionado Total

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

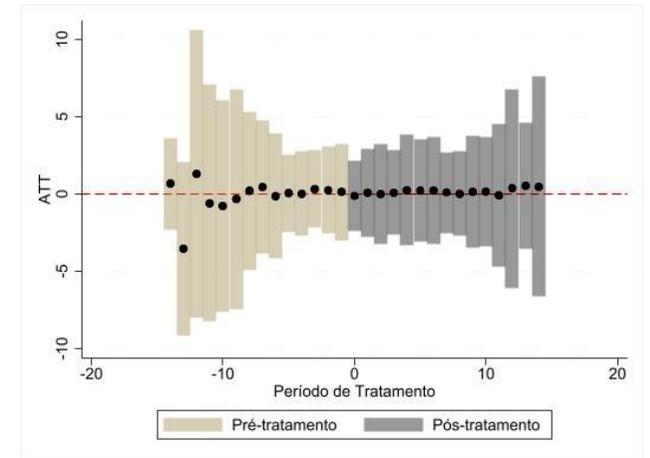
Gráfico 6 – Efeito Médio do Tratamento para o Emprego, Amostra 1 (2002-2021)



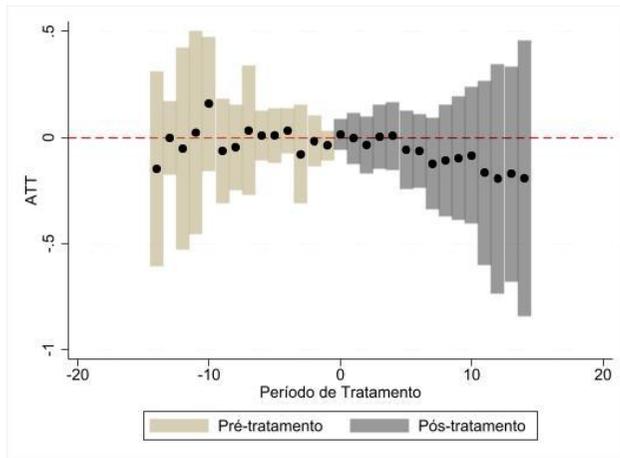
a. Emprego Industrial



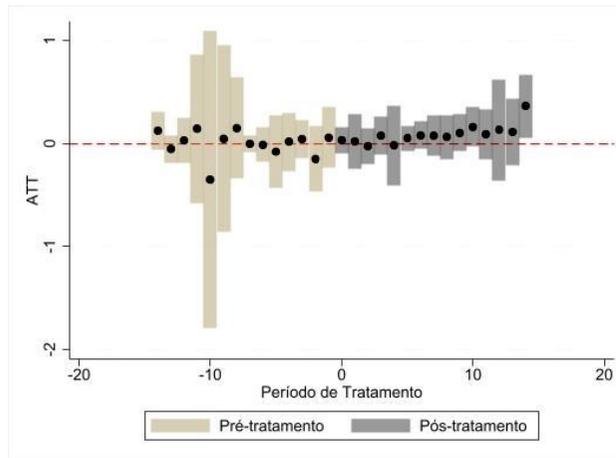
b. Emprego Agropecuária e outros



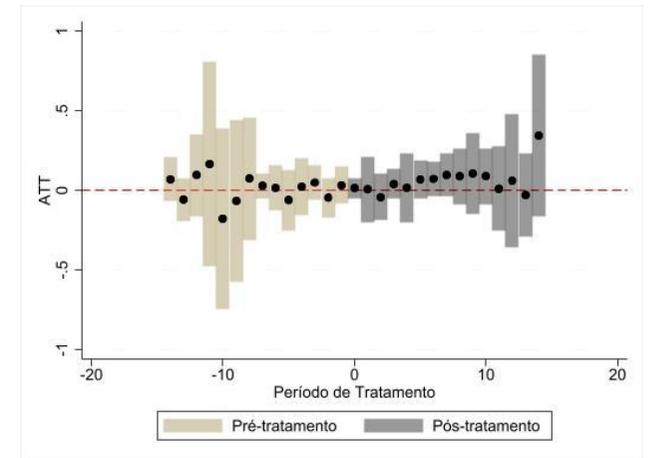
c. Emprego Construção



d. Emprego Comércio e Serviços



e. Emprego Administração, saúde e outros



f. Emprego Total

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Portanto, de acordo com os resultados obtidos, é possível concluir que o financiamento para as atividades eólicas teve um efeito positivo sobre o VA industrial nos municípios por, em média, dez períodos subsequentes (T+10). Esse efeito é semelhante aos resultados encontrados por Brunner e Schwegman (2022), que identificaram aumentos no PIB *per capita* das economias locais. Da mesma forma, os resultados também se assemelham aos impactos econômicos positivos encontrados por Gavard *et al.* (2022) para os EUA, sobre a renda pessoal, o orçamento público e o emprego no nível municipal, que se mantém nos anos subsequentes.

Embora o efeito sobre o EI não seja claro, os resultados se assemelham aos encontrados por Mauritzen (2020), especialmente por não saber até que ponto o aumento da demanda do setor levaria a um aumento líquido no emprego local. De todo modo, compreende-se que as condições geográficas necessárias para a instalação de um polo eólico são, em geral, peculiares – com altos relevos, grandes extensões de áreas e baixa densidade populacional. Adicionalmente, alguns componentes são fabricados ou montados localmente devido às dificuldades logísticas decorrentes do peso e/ou tamanho (ABDI, 2014; 2018).

Nessa perspectiva, municípios vizinhos poderiam apresentar impactos maiores do que aqueles diretamente contemplados pelo financiamento, especialmente em contextos com dotações produtivas pré-existent; pois, segundo Fabra *et al.* (2023), os efeitos multiplicadores tendem a ser reduzidos nos próprios municípios dos empreendimentos. Assim, como robustez dos resultados apresentados, verifica-se a variação na magnitude do efeito, se este aumenta, diminui ou se mantém, à medida que a distância em relação ao local do empreendimento aumenta.

4.5.2. Análises de Robustez

A fim de investigar o efeito do financiamento utilizando diferentes grupos de controle, realizam-se as estimações com municípios de segunda (Amostra 2) e terceira (Amostra 3) ordem, respectivamente, obtidos a partir da matriz de contiguidade do tipo “rainha” (*Queen*). A Tabela 4 apresenta a diferença entre as médias das variáveis do grupo de controle e de tratamento, acompanhadas de suas respectivas significâncias estatísticas (Teste T de *Student*), para as Amostras 2 e 3.

Os resultados seguem apontando uma diferença entre as médias, mesmo com um número superior de observações para as unidades de controle. Percebe-se que, à medida que aumenta a amostra e a distância entre os municípios, as diferenças de médias também aumentam. Essas diferenças podem ser observadas nos Gráficos C8 e C10, no Apêndice. Em

linhas gerais, na média, os municípios da unidade de tratamento apresentam maior densidade populacional e maior PIB *per capita* em relação aos municípios da unidade de controle.

Tabela 4 – Diferença de médias entre grupos e significância do Teste T (Amostra 2 e 3)

	Grupo		Diferença (T-C)	Teste T
	Tratamento (T)	Controle (C)		
Amostra 2				
Valor Adicionado				
Industrial (VAI)	10,77	9,34	-1,42	-24,63***
Agropecuária (VAA)	10,02	9,67	-0,34	-10,00***
Serviços (VAS)	11,66	10,67	-0,98	-0,88***
Administração, saúde e out. (VAAdm)	11,72	11,09	-0,62	-19,67***
Total (VAT)	12,90	11,98	-0,92	-22,33***
Obs.	1900	6200		
Emprego				
Industrial (EI)	5,50	4,35	-1,14	-14,27***
Agropecuária (EA)	4,38	3,57	-0,81	-11,25***
Construção (EC)	4,63	3,40	-1,22	-14,47***
Comércio e Serviços (ECS)	5,79	4,70	-1,08	-16,51***
Administração, saúde e out. (EAdm)	7,16	6,51	-0,64	-0,56***
Total	7,83	7,02	-0,80	-18,49***
Obs.	1899	6200		
Amostra 3				
Valor Adicionado				
Industrial (VAI)	10,77	9,15	-1,61	-30,29***
Agropecuária (VAA)	10,02	9,55	-0,46	-14,48***
Serviços (VAS)	11,66	10,53	-1,12	-24,86***
Administração, saúde e out. (VAAdm)	11,72	10,97	-0,75	-25,85***
Total (VAT)	12,90	11,85	-1,05	-28,31***
Obs.	1900	8500		
Emprego				
Industrial (EI)	5,50	4,19	-1,30	-16,95***
Agropecuária (EA)	4,38	3,30	-1,08	-15,79***
Construção (EC)	4,63	3,27	-1,35	-16,85***
Comércio e Serviços (ECS)	5,79	4,54	-1,24	-20,15***
Administração, saúde e out. (EAdm)	7,16	6,37	-0,78	-22,05***
Total	7,83	6,87	-0,95	-24,13***
Obs.	1899	8500		

Fonte: Elaboração própria, 2024. Nota: Com estatísticas significativas a ***99% ao nível de confiança e todos os valores transformados em logaritmo natural.

Cabe destacar que, do total de 8100 observações na Amostra 2 (2002-2021), apenas 85 pertencem às regiões metropolitanas, sendo 26 da unidade de tratamento e 59 da unidade de controle. Para a Amostra 3, do total de 10400 observações (2002-2021), apenas 110 pertencem às regiões metropolitanas, sendo 26 da unidade de tratamento e 84 da unidade de controle. Ou seja, em ambas as amostras, há mais municípios do grupo de controle pertencentes às regiões metropolitanas.

Ainda em relação à caracterização desses grupos, percebe-se que, em média, as atividades de administração, saúde, educação e outros exercem a maior participação no valor

adicionado e na oferta de emprego dos municípios, seguidas pelas atividades no comércio, serviços e indústrias. No que se refere à participação das atividades eólicas no total das atividades industriais a nível regional, percebe-se uma maior participação dessas atividades nas regiões Norte e Nordeste, que são regiões com baixa participação do emprego industrial em relação ao total. Portanto, mesmo que em valores absolutos menores, é possível destacar a contribuição que as atividades eólicas têm exercido sobre o setor industrial nessas regiões.

Diante desse contexto, tanto para a Amostra 2 quanto para a Amostra 3, os resultados do ATT apontam um efeito positivo e estatisticamente significativo do financiamento para as atividades eólicas sobre o VAI, o VAA, o VAAdm, e o VAT dos municípios, conforme descritos nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. Enquanto para as variáveis de emprego, embora o efeito seja positivo para o EI, o EA, o EC, o EAdm e o ET, ainda assim, não apresentam coeficientes com estatísticas significativas.

No caso da Amostra 2, o coeficiente positivo e estatisticamente significativo do ATT sinaliza um aumento de aproximadamente 75% do VAI em comparação aos municípios que não receberam o financiamento. Do mesmo modo, o ATT para o VAI com a Amostra 3 sinaliza um aumento de aproximadamente 76%, em relação aos municípios que não receberam o financiamento. Em ambos os casos, o efeito positivo e estatisticamente significativo se mantém quando controlados por variáveis observadas e os efeitos fixos.

Com relação aos efeitos dinâmicos do tratamento, a Tabela 5 apresenta o antes e depois para cada grupo da Amostra 2. Os resultados para o VAI apontam um efeito positivo no período corrente; porém, os coeficientes são estatisticamente significativos apenas do primeiro até o sétimo ano subsequente, ilustrados no Gráfico 7. Do mesmo modo, os resultados dinâmicos para VAT sinalizam um efeito positivo e estatisticamente significativos do primeiro ao nono ano. No entanto, para o nível de emprego na atividade industrial e total, embora sejam positivos os efeitos desde um período anterior ao financiamento, apenas no décimo quarto ano há efeitos positivos e estatisticamente significativos.

Tabela 5 – Efeito do financiamento e estudos de evento, Amostra 2 (2002-2021)

	Logaritmo Natural do Valor Adicionado					Logaritmo Natural do Emprego					
	VAI	VAA	VAA _{adm}	VAS	VAT	EI	EA	EC	ECS	EAdm	ET
ATT	0,751*** (0,154)	0,122** (0,0487)	0,020* (0,012)	0,050** (0,028)	0,203*** (0,057)	0,086 (0,078)	0,012 (0,103)	0,098 (0,151)	-0,032 (0,0436)	0,009 (0,035)	0,035 (0,028)
ATTC	0,405*** (0,101)	0,0457 (0,037)	0,010 (0,007)	0,053** (0,024)	0,091*** (0,034)	0,082 (0,066)	0,049 (0,068)	-0,010 (0,162)	-0,001 (0,027)	-0,011 (0,043)	-0,006 (0,030)
T-14	-0,065 (0,125)	0,032 (0,094)	0,0005 (0,042)	-0,064 (0,045)	-0,001 (0,029)	-0,0918 (0,112)	-0,016 (0,2438)	0,441 (0,262)	-0,141 (0,144)	-0,0005 (0,127)	0,0163 (0,056)
T-13	0,029 (0,218)	-0,042 (0,124)	0,010 (0,040)	0,036 (0,034)	-0,004 (0,037)	-0,145 (0,198)	-0,204 (0,1313)	-3,424 (3,134)	0,024 (0,051)	-0,062 (0,047)	-0,076 (0,050)
T-12	0,062 (0,069)	-0,013 (0,056)	0,033 (0,035)	-0,004 (0,032)	0,027 (0,025)	0,160 (0,115)	-0,490** (0,235)	0,894 (0,733)	0,020 (0,139)	0,036 (0,056)	0,085 (0,067)
T-11	0,191 (0,241)	-0,006 (0,065)	-0,022 (0,017)	-0,017 (0,037)	0,030 (0,053)	-0,286 (0,116)	0,1026 (0,2804)	-0,845 (1,095)	0,008 (0,134)	0,2008 (0,187)	0,186 (0,166)
T-10	-0,209*** (0,066)	-0,007 (0,040)	-0,001 (0,014)	0,0394* (0,020)	-0,004 (0,016)	0,192 (0,187)	0,1724 (0,087)	-0,661 (0,4876)	0,125 (0,087)	-0,351 (0,328)	-0,186 (0,151)
T-9	-0,001 (0,088)	0,068 (0,058)	0,010 (0,008)	0,033* (0,0189)	0,010 (0,020)	-0,125 (0,165)	-0,067 (0,0846)	-0,298 (0,345)	-0,062 (0,061)	0,050 (0,341)	-0,063 (0,199)
T-8	-0,004 (0,060)	-0,033 (0,050)	-0,008 (0,012)	-0,010 (0,016)	-0,011 (0,013)	-0,0116 (0,065)	-0,0029 (0,0972)	0,159 (0,358)	0,012 (0,050)	0,149 (0,1445)	0,068 (0,119)
T-7	0,058 (0,064)	-0,016 (0,042)	0,005 (0,009)	0,021 (0,016)	0,019 (0,012)	-0,062 (0,078)	-0,003 (0,0932)	0,339 (0,262)	0,030 (0,084)	0,0004 (0,027)	0,026 (0,024)
T-6	-0,111 (0,048)	-0,029 (0,037)	-0,019** (0,006)	0,010 (0,013)	-0,006 (0,012)	-0,074 (0,102)	-0,004 (0,079)	-0,090 (0,261)	0,0166 (0,037)	-0,0240 (0,0519)	0,010 (0,046)
T-5	0,008 (0,037)	0,010 (0,038)	-0,006 (0,006)	-0,010 (0,015)	-0,016 (0,011)	-0,060 (0,078)	0,021 (0,0834)	-0,040 (0,185)	0,0181 (0,042)	-0,0899 (0,105)	-0,052 (0,060)
T-4	0,051 (0,040)	-0,025 (0,024)	-0,006 (0,006)	0,009 (0,011)	-0,006 (0,012)	-0,091 (0,0619)	-0,066 (0,064)	-0,183 (0,1776)	0,047 (0,0322)	0,014 (0,086)	-0,001 (0,044)
T-3	0,022 (0,060)	0,023 (0,028)	0,010* (0,005)	0,002 (0,010)	-0,0003 (0,012)	0,034 (0,072)	-0,022 (0,0560)	0,3241 (0,1704)	-0,066 (0,0682)	0,042 (0,064)	0,053 (0,035)
T-2	0,030 (0,064)	-0,013 (0,033)	0,004 (0,005)	0,017 (0,013)	0,010 (0,012)	-0,075 (0,049)	-0,022 (0,079)	0,2313 (0,199)	-0,0299 (0,0340)	-0,127 (0,093)	-0,041 (0,036)
T-1	-0,015 (0,042)	0,029 (0,033)	-0,003 (0,006)	0,022 (0,016)	0,005 (0,019)	0,034 (0,054)	-0,089 (0,0625)	0,1105 (0,212)	-0,045 (0,020)	0,061 (0,098)	0,030 (0,037)

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA.

Tabela 5 – Efeito do financiamento e estudos de evento, Amostra 2 (2002-2021) (Continuação)

	Logaritmo Natural do Valor Adicionado					Logaritmo Natural do Emprego					
	VAI	VAA	VAA _{adm}	VAS	VAT	EI	EA	EC	ECS	EAdm	ET
T	0,151 (0,093)	-0,01696 (0,04)	0,005362 (0,0063)	0,025927 (0,030)	0,0253 (0,033)	0,064 (0,055)	0,051 (0,063)	-0,095 (0,160)	0,015 (0,022)	0,029 (0,041)	0,017 (0,022)
T+1	0,432*** (0,135)	0,058 (0,036)	0,010 (0,008)	0,034 (0,028)	0,078* (0,0409)	0,122 (0,094)	0,078 (0,073)	0,079 (0,186)	0,003 (0,037)	-0,021 (0,0742)	0,003 (0,053)
T+2	0,666*** (0,140)	0,103** (0,048)	0,016** (0,009)	0,103** (0,037)	0,180*** (0,050)	0,062 (0,079)	0,016 (0,099)	-0,004 (0,238)	-0,025 (0,0404)	-0,046 (0,054)	-0,042 (0,047)
T+3	0,803*** (0,164)	0,102** (0,043)	0,016 (0,011)	0,0703** (0,032)	0,188*** (0,0537)	0,087 (0,088)	0,057 (0,094)	0,068 (0,208)	0,028 (0,054)	0,055 (0,062)	0,0435 (0,032)
T+4	0,964*** (0,182)	0,123** (0,048)	0,018 (0,012)	0,0505** (0,029)	0,226*** (0,057)	0,074 (0,093)	0,103 (0,092)	0,2245 (0,2623)	0,031 (0,051)	-0,053 (0,114)	0,018 (0,069)
T+5	1,119*** (0,217)	0,218** (0,087)	0,023* (0,013)	0,086* (0,044)	0,289*** (0,076)	0,039 (0,105)	-0,014 (0,1057)	0,192 (0,249)	-0,033 (0,054)	0,015 (0,033)	0,077 (0,037)
T+6	1,194*** (0,242)	0,203** (0,091)	0,025* (0,015)	0,099* (0,047)	0,340*** (0,092)	0,039 (0,121)	0,027 (0,112)	0,180 (0,256)	-0,035 (0,054)	0,030 (0,044)	0,067 (0,032)
T+7	1,105*** (0,294)	0,220** (0,075)	0,027* (0,016)	0,048 (0,049)	0,333*** (0,101)	0,154 (0,143)	0,070 (0,146)	0,105 (0,2074)	-0,089 (0,065)	0,020 (0,060)	0,085 (0,044)
T+8	0,858 (0,314)	0,1249* (0,071)	0,028 (0,018)	0,032 (0,053)	0,276*** (0,116)	0,128 (0,140)	-0,013 (0,196)	-0,016 (0,225)	-0,071 (0,082)	-0,026 (0,073)	0,067 (0,053)
T+9	1,007 (0,349)	0,088 (0,083)	0,030 (0,025)	0,0062 (0,071)	0,331*** (0,147)	0,214 (0,160)	-0,149 (0,2256)	0,154 (0,260)	-0,083 (0,092)	0,040 (0,053)	0,119 (0,078)
T+10	0,843 (0,446)	0,146 (0,183)	0,034 (0,042)	0,001 (0,072)	0,285 (0,179)	0,082 (0,158)	-0,196 (0,238)	0,247 (0,271)	-0,130 (0,105)	0,099 (0,057)	0,065 (0,049)
T+11	0,387 (0,540)	0,265 (0,197)	0,022 (0,061)	-0,107 (0,0719)	0,1837 (0,161)	0,127 (0,213)	-0,168 (0,312)	-0,088 (0,326)	-0,264** (0,1332)	0,057 (0,054)	0,005 (0,060)
T+12	0,362 (0,728)	0,275 (0,263)	0,054997 (0,062)	-0,041 (0,166)	0,1706 (0,227)	-0,002 (0,202)	-0,075 (0,553)	0,551 (0,530)	-0,328** (0,157)	0,087 (0,105)	0,041 (0,078)
T+13	0,084 (0,199)	0,382*** (0,058)	0,0686 (0,046)	-0,077 (0,106)	0,100 (0,094)	-0,109 (0,2428)	-0,448 (0,277)	0,521 (0,325)	-0,320** (0,176)	0,1052 (0,1102)	-0,023 (0,083)
T+14	-0,0381 (0,111)	0,320** (0,164)	0,322 (0,056)	0,099 (0,158)	0,192 (0,128)	0,384*** (0,1467)	0,204 (0,4642)	0,930* (0,4296)	-0,509*** (0,115)	0,470*** (0,091)	0,380* (0,0519)
Controles	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pré-tendência	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA

Tabela 6 – Efeito do financiamento e estudos de evento, Amostra 3 (2002-2021)

	Logaritmo Natural do Valor Adicionado					Logaritmo Natural do Emprego					
	VAI	VAA	VAAdm	VAS	VAT	EI	EA	EC	ECS	EAdm	ET
ATT	0,765*** (0,150)	0,086* (0,046)	0,019 (0,016)	0,045 (0,041)	0,197*** (0,060)	0,079 (0,077)	0,048 (0,114)	0,054 (0,152)	-0,038 (0,043)	0,025 (0,034)	0,036 (0,028)
ATTC	0,415*** (0,100)	0,035 (0,035)	0,011 (0,009)	0,047* (0,027)	0,089** (0,036)	0,086 (0,066)	0,060 (0,072)	-0,038 (0,164)	0,001 (0,027)	-0,003 (0,043)	-0,003 (0,030)
T-14	-0,099 (0,123)	0,028 (0,101)	0,002 (0,044)	-0,052 (0,044)	0,005 (0,031)	-0,023 (0,112)	-0,005 (0,234)	0,412 (0,254)	-0,210 (0,151)	0,019 (0,097)	0,030 (0,046)
T-13	-0,005 (0,201)	-0,033 (0,126)	0,006 (0,042)	0,037 (0,035)	-0,010 (0,039)	-0,136 (0,237)	-0,22* (0,130)	-3,461 (3,046)	0,029 (0,050)	-0,050 (0,0427)	-0,062 (0,051)
T-12	0,069 (0,070)	-0,020 (0,055)	0,038 (0,035)	0,000 (0,033)	0,028 (0,026)	0,188 (0,103)	-0,466** (0,214)	1,076 (0,846)	0,002 (0,136)	0,038 (0,057)	0,084 (0,068)
T-11	0,181 (0,252)	-0,023 (0,066)	-0,028 (0,019)	-0,022 (0,039)	0,022 (0,056)	-0,265** (0,125)	0,113 (0,283)	-0,867 (1,066)	0,017 (0,143)	0,193 (0,197)	0,171 (0,173)
T-10	-0,210** (0,067)	-0,003 (0,040)	-0,002 (0,015)	0,045** (0,021)	-0,001 (0,017)	0,175 (0,176)	0,159 (0,097)	-0,782 (0,499)	0,116 (0,093)	-0,330 (0,335)	-0,185 (0,157)
T-9	0,000 (0,088)	0,064 (0,056)	0,007 (0,008)	0,036* (0,019)	0,011 (0,020)	-0,161 (0,160)	-0,040 (0,083)	-0,367 (0,327)	-0,070 (0,060)	0,057 (0,332)	-0,058 (0,197)
T-8	-0,012 (0,061)	-0,036 (0,048)	-0,007 (0,012)	-0,011 (0,016)	-0,015 (0,013)	-0,015 (0,063)	-0,011 (0,09)	0,192 (0,363)	-0,004 (0,054)	0,156 (0,145)	0,075 (0,122)
T-7	0,067 (0,063)	-0,008 (0,041)	0,005 (0,009)	0,022 (0,017)	0,020 (0,013)	-0,057 (0,080)	-0,011 (0,094)	0,315 (0,290)	0,013 (0,078)	-0,005 (0,031)	0,016 (0,027)
T-6	-0,105* (0,048)	-0,030 (0,035)	-0,017*** (0,007)	0,010 (0,013)	-0,005 (0,011)	-0,073 (0,104)	0,016 (0,078)	-0,100 (0,267)	0,014 (0,037)	-0,016 (0,045)	0,019 (0,045)
T-5	0,012 (0,035)	0,016 (0,038)	-0,006 (0,006)	-0,007 (0,015)	-0,010 (0,011)	-0,048 (0,078)	0,016 (0,079)	-0,064 (0,182)	0,010 (0,042)	-0,07049 (0,103)	-0,048 (0,060)
T-4	0,061 (0,040)	-0,028 (0,024)	-0,007 (0,006)	0,010 (0,011)	-0,004 (0,012)	-0,091 (0,063)	-0,050 (0,061)	-0,147 (0,181)	0,047 (0,031)	0,010 (0,090)	-0,001 (0,045)
T-3	0,023 (0,056)	0,024 (0,028)	0,010 (0,005)	0,004 (0,011)	0,003 (0,013)	0,040 (0,072)	-0,023 (0,058)	0,332* (0,170)	-0,061 (0,068)	0,046 (0,060)	0,056* (0,033)
T-2	0,038 (0,067)	-0,020 (0,035)	0,002 (0,005)	0,021 (0,014)	0,012 (0,013)	-0,071 (0,048)	-0,052 (0,071)	0,256 (0,203)	-0,036 (0,034)	-0,128 (0,092)	-0,042 (0,035)
T-1	-0,022 (0,042)	0,028 (0,036)	-0,002 (0,007)	0,020 (0,017)	0,006 (0,022)	0,027 (0,053)	-0,079 (0,062)	0,084 (0,183)	-0,046** (0,019)	0,067 (0,098)	0,033 (0,037)

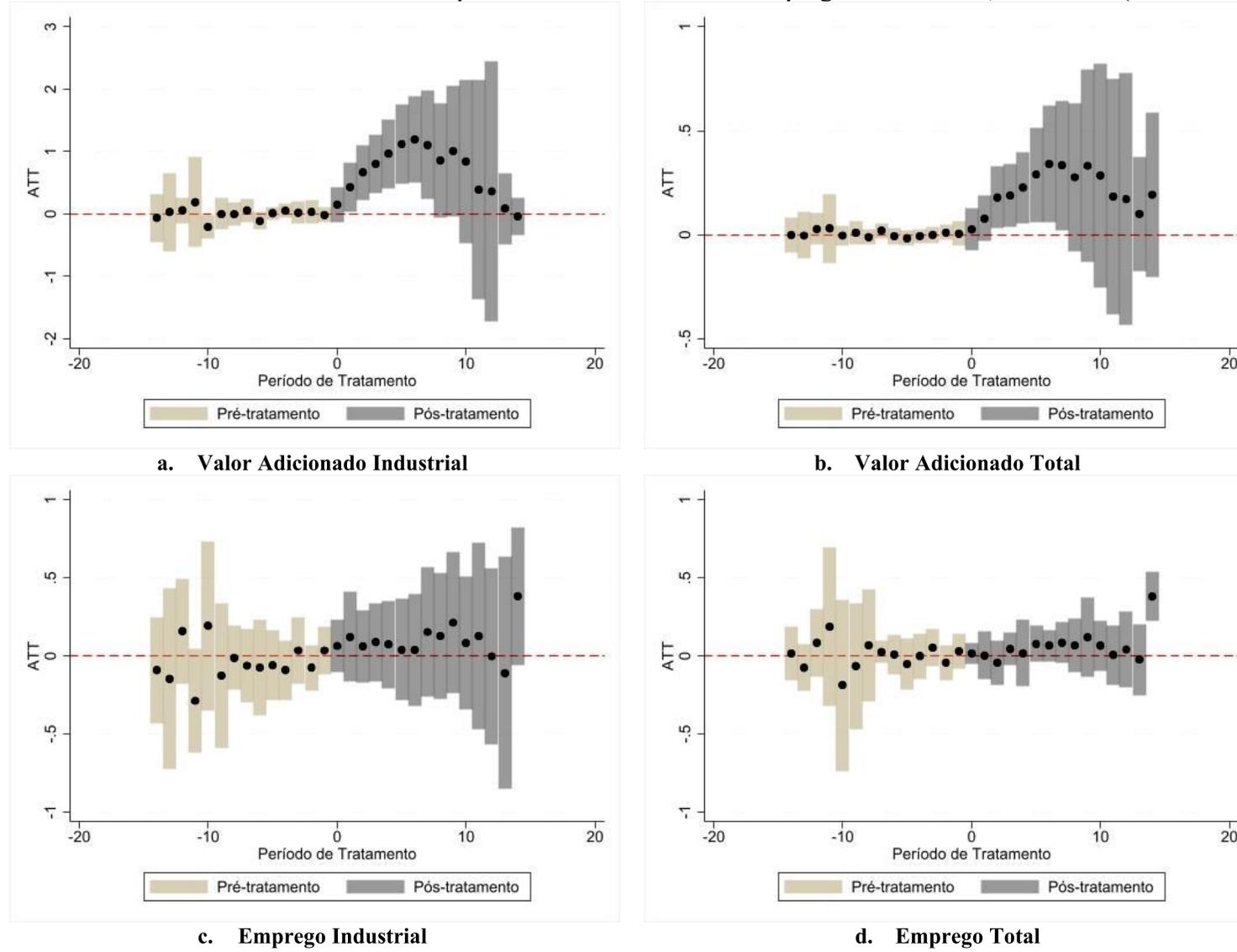
Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA.

Tabela 6 – Efeito do financiamento e estudos de evento, Amostra 3 (2002-2021) (Continuação)

	Logaritmo Natural do Valor Adicionado					Logaritmo Natural do Emprego					
	VAI	VAA	VAA _{adm}	VAS	VAT	EI	EA	EC	ECS	EAdm	ET
T	0,159*	-0,025	0,006	0,023	0,024	0,071	0,040	-0,120	0,017	0,040	0,02081
	(0,093)	(0,038)	(0,008)	(0,030)	(0,034)	(0,054)	(0,062)	(0,158)	(0,022)	(0,041)	(0,022)
T+1	0,445***	0,051	0,012	0,027	0,075*	0,125	0,101	0,064	0,006	-0,016	0,005
	(0,134)	(0,038)	(0,010)	(0,032)	(0,043)	(0,094)	(0,075)	(0,191)	(0,037)	(0,074)	(0,054)
T+2	0,676***	0,086**	0,016	0,094*	0,176***	0,061	0,040	-0,050	-0,022	-0,036	-0,040
	(0,141)	(0,044)	(0,011)	(0,042)	(0,052)	(0,078)	(0,109)	(0,234)	(0,040)	(0,053)	(0,047)
T+3	0,808***	0,086*	0,015	0,062	0,183***	0,074	0,101	0,011	0,027	0,068	0,044
	(0,162)	(0,045)	(0,013)	(0,038)	(0,054)	(0,088)	(0,099)	(0,202)	(0,054)	(0,061)	(0,031)
T+4	0,951***	0,093*	0,014	0,036	0,210***	0,062	0,138	0,190	0,034	-0,042	0,020
	(0,185)	(0,050)	(0,012)	(0,038)	(0,060)	(0,089)	(0,099)	(0,255)	(0,051)	(0,110)	(0,068)
T+5	1,111***	0,168***	0,018	0,070	0,269***	0,033	0,040	0,196	-0,039	0,030	0,078**
	(0,214)	(0,059)	(0,016)	(0,053)	(0,080)	(0,102)	(0,111)	(0,243)	(0,054)	(0,032)	(0,037)
T+6	1,206***	0,149*	0,022	0,088	0,325***	0,037	0,074	0,156	-0,038	0,044	0,070**
	(0,238)	(0,069)	(0,018)	(0,058)	(0,096)	(0,116)	(0,118)	(0,245)	(0,052)	(0,042)	(0,032)
T+7	1,138	0,152	0,027	0,047	0,328***	0,153	0,111	0,026	-0,096	0,038	0,086*
	(0,288)	(0,079)	(0,020)	(0,062)	(0,103)	(0,140)	(0,159)	(0,213)	(0,061)	(0,061)	(0,045)
T+8	0,900***	0,040	0,024	0,037	0,273**	0,116	0,019	-0,064	-0,083	0,005	0,071
	(0,305)	(0,082)	(0,019)	(0,064)	(0,118)	(0,137)	(0,211)	(0,226)	(0,080)	(0,071)	(0,054)
T+9	1,035***	0,026	0,030	0,004	0,329**	0,198	-0,090	0,101	-0,101	0,066	0,121
	(0,336)	(0,094)	(0,033)	(0,106)	(0,161)	(0,158)	(0,228)	(0,257)	(0,093)	(0,058)	(0,077)
T+10	0,875*	0,082	0,031	0,008	0,287	0,073	-0,145	0,234	-0,155	0,130	0,064
	(0,391)	(0,193)	(0,053)	(0,115)	(0,183)	(0,151)	(0,263)	(0,275)	(0,105)	(0,062)	(0,051)
T+11	0,406	0,175	0,018	-0,097	0,176	0,060	-0,097	-0,261	-0,310**	0,086	-0,028
	(0,681)	(0,219)	(0,096)	(0,154)	(0,164)	(0,204)	(0,342)	(0,296)	(0,133)	(0,058)	(0,063)
T+12	0,402	0,225	0,063	-0,015	0,179	-0,082	0,032	0,192	-0,384**	0,128	-0,008
	(0,982)	(0,223)	(0,102)	(0,111)	(0,191)	(0,181)	(0,525)	(0,412)	(0,172)	(0,096)	(0,074)
T+13	0,167	0,309**	0,072	-0,053	0,116	-0,225	-0,253	0,293	-0,381**	0,188	-0,058
	(0,199)	(0,133)	(0,047)	(0,116)	(0,092)	(0,223)	(0,209)	(0,337)	(0,180)	(0,149)	(0,079)
T+14	-0,001	0,262	0,333***	0,041	0,150***	0,211	-0,237	0,613	-0,696*	0,491*	0,222
	(0,092)	(0,062)	(0,038)	(0,057)	(0,048)	(0,154)	(0,167)	(0,428)	(0,390)	(0,101)	(0,153)
Controles	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pré-tendência	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Obs.	10400	10400	10400	10400	10400	6990	6152	5171	8214	8313	10399

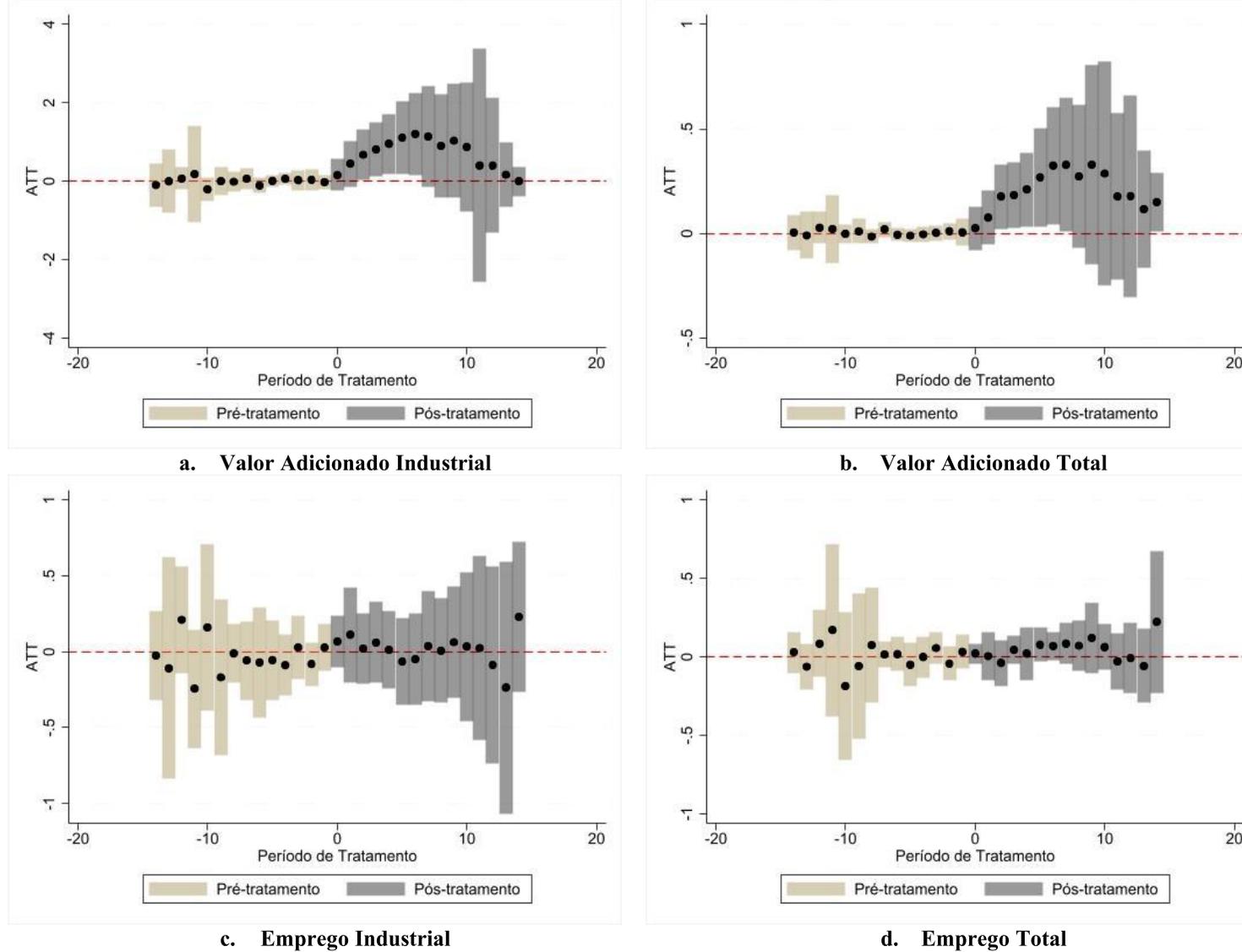
Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA

Gráfico 7 – Efeito Médio do Tratamento para o Valor Adicionado e Emprego da Industrial, Amostra 2 (2002-2021)



Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico 8 – Efeito Médio do Tratamento para o Valor Adicionado e Emprego da Industrial, Amostra 3 (2002-2021)



Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Ao comparar os resultados das Amostras 1, 2 e 3, observa-se um acréscimo na magnitude dos efeitos, ou seja, um maior impacto do financiamento no âmbito local. Para a Amostra 3, aqueles que obtiveram o financiamento apresentam um efeito positivo e significativo já no período corrente, quando comparados aos seus vizinhos de terceira ordem. Esse efeito se perpetua até o décimo ano posterior ao tratamento, atingindo seu ápice no sexto ano posterior, conforme ilustrada no Gráfico 8. Esse pico também é observado para o VAT e ET, com um crescimento do efeito entre o quinto e o sétimo ano após o financiamento, sendo essas estatísticas positivas e significativas, descritas na Tabela 6.

Desse modo, conclui-se que o financiamento às atividades de energia eólica gera efeitos locais sobre a estrutura produtiva industrial, investigada no âmbito do valor adicionado e da oferta de emprego setorial. Além disso, observa-se que essas atividades apresentam um efeito dinâmico, que persiste após o recebimento do financiamento e exerce impactos sobre outros setores da economia. É o caso do setor agropecuário, que apresentou estatísticas positivas e significativas no ATT em todas as amostras analisadas. Por fim, este trabalho contribui para a literatura sobre a importância das características físicas e produtivas em determinadas localidades para que se possa promover um ambiente compatível com o potencial do mercado eólico e absorver os benefícios associados às políticas de financiamento para o processo de transição energética em curso.

4.6. Considerações finais

Considerada uma atividade relativamente nova, intensiva em capital, com longos períodos de amortização e dependente de condições geográficas favoráveis, a capacidade de geração eólica global tem apresentado um crescimento exponencial nas duas últimas décadas. Apontada como uma “janela verde de oportunidade” para promover segurança energética, desenvolvimento econômico e descarbonização do setor, a atividade eólica, para atender à crescente demanda e conseguir dar saltos tecnológicos (*leapfrogging*), exige, primordialmente, o desenvolvimento de uma cadeia produtiva doméstica eficiente e de alto valor agregado, além da ampliação de investimentos no setor e da criação de um ambiente capaz de impulsionar essa transformação.

Atualmente, o Brasil apresenta a maior capacidade de geração eólica entre os países da América Latina e a sexta maior em nível global. O desenvolvimento da atividade eólica no país começou a ganhar fôlego a partir dos anos 2000, com um pacote de instrumentos direcionados

ao setor, tanto no lado da demanda, quanto do lado da oferta. Em 2023, o setor registrou um total de 1.053 empreendimentos de geração de energia eólica *onshore* em operação. Destes, 93% são provenientes dos sistemas *onshore* e 7% de sistema *offshore*, com parte significativa desses empreendimentos concentrada na região Nordeste do país, marcada por baixo desenvolvimento econômico.

Preliminarmente, os dados apontam dois principais polos produtivos da atividade eólica: um concentrado na região Nordeste e outro na região Sul-Sudeste do país. A produção de subcomponentes – incluindo os insumos e elementos internos das torres, pás, cubo, rotor, nacelle, geradores e demais acessórios –, é majoritariamente concentrada no estado de São Paulo, com um total de 157 empresas, seguido por Santa Catarina, Minas Gerais, Bahia, Ceará e Rio Grande do Sul. Essa distribuição, em parte, pode ser explicada pelas teorias de localização e aglomeração, que têm como pano de fundo os seguintes fatores: i) proximidade aos parques eólicos e condições de infraestrutura de portos e rodovias; ii) proximidade da cadeia produtiva; e iii) aproveitamento de instalação fabril existente.

Entre 2011 e 2017, o setor registrou um *boom* de investimentos. Com vultosos recursos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em 2017, as atividades eólicas representavam mais da metade do financiamento destinado ao setor de energia, em especial, à região Nordeste do país. Contudo, no ano subsequente, foi registrada uma abrupta redução dos investimentos do BNDES no setor, com recursos destinados apenas para a atividade de geração de energia eólica no Nordeste, o que sugere um desinvestimento nas atividades industriais eólicas por parte da instituição, especialmente concentrada nas regiões Sul e Sudeste.

Embora haja um grande interesse político na temática, poucos estudos empíricos têm investigado o efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica sobre a estrutura produtiva. Portanto, o objetivo deste trabalho consistiu em estimar o efeito do financiamento a partir do VA setorial e da oferta de emprego, em nível municipal, utilizando um modelo econométrico de Diferença em Diferenças (DiD) para o período de 2002 a 2021. Além da análise do setor industrial, a identificação estatística permitiu investigar repercussões sobre demais setores da economia, como os setores agrícola, da construção, do comércio e de serviços.

Os resultados encontrados indicam um efeito positivo dos investimentos em atividades de energia eólica sobre o logaritmo do Valor Adicionado Industrial (VAI) e do Valor Adicionado Total (VAT) dos municípios, tanto no efeito médio do tratamento (ATT) quanto no efeito agregado (ATTC). Ao analisar o efeito dinâmico dessas variáveis, observa-se que apenas

o efeito do VAI apresentou significância estatística no período corrente. Nos períodos subsequentes ao recebimento do financiamento, ambos os indicadores exibiram efeitos positivos e estatisticamente significativos.

Em relação ao efeito sobre o mercado de trabalho, os resultados não foram estatisticamente significativos para o logaritmo do Emprego Industrial (EI). Além disso, os resultados apresentaram um efeito negativo do financiamento em quase todos os períodos pré-tratamento (T-14) e pós-tratamento (T+14). Por outro lado, para o logaritmo do Emprego Total (ET), o financiamento apresentou um efeito positivo e estatisticamente significativo no ATT. No efeito dinâmico, destaca-se o efeito negativo e estatisticamente significativo nos três últimos períodos da amostra, indicando uma redução da oferta de emprego total no longo prazo.

Além desses resultados, setores que podem ser influenciados pela dinâmica das atividades de energia eólica também foram analisados: agropecuária, construção, comércio e serviços. Tanto o logaritmo do Valor Adicionado Agrícola (VAA) quanto o logaritmo do Emprego Agrícola (EA) apresentaram um efeito positivo; porém, não foram estatisticamente significativos. No efeito dinâmico, os resultados foram majoritariamente positivos, mas não significativos, assim como para o logaritmo do Emprego no setor de Construção (EC). De todo modo, esses resultados sinalizam que o desenvolvimento de atividades de energia eólica pode promover as atividades de setores adjacentes, especialmente por não serem atividades excludentes. Como por exemplo, o arrendamento de terras para a construção de parques eólicos pode representar uma fonte adicional para ampliar o VA do setor agropecuária local.

Diante do exposto, conclui-se que, no período analisado, o financiamento para as atividades de energia eólica aumentou o VA industrial e total dos municípios, promovendo, portanto, o desenvolvimento econômico local. Além disso, o financiamento também apresentou um efeito positivo sobre o emprego total dos municípios com atividade eólica, estimulando o desenvolvimento social. Tais resultados ressaltam a importância da destinação de recursos ao setor, a fim de fomentar atividades de maior valor agregado em regiões com elevado potencial, mas historicamente marcadas por desigualdades, como a região Nordeste do país.

Nessa linha, conclui-se que os municípios apresentaram capacidades locais físicas (como a velocidade média do vento) e produtivas (potencial produtivo industrial), as quais foram essenciais para absorver a demanda gerada pelas atividades fomentadas por instrumentos e políticas do setor. Contudo, os abruptos desinvestimentos nessas atividades podem provocar gargalos adicionais em cenários futuros, especialmente devido à crescente demanda pela capacidade de geração eólica e à necessidade de revitalização de algumas infraestruturas cuja vida útil se encontra próxima do fim. Isso reforça a importância da oferta contínua de recursos

para o setor, evidencia o papel fundamental do BNDES nessas atividades e ressalta a necessidade de uma articulação efetiva entre as políticas industrial e energética. Nesse último aspecto, a criação da política Nova Indústria Brasil (NIB) propõe essa articulação por meio de metas voltadas à bioeconomia, descarbonização, transição e segurança energética. No entanto, até o momento, as estratégias se configuram como ações amplas, o que pode resultar em multiplicidade de objetivos e baixa concentração em atividades nas quais o Brasil possui potencial para liderar o mercado e desenvolver cadeias produtivas de alto valor agregado.

Referências

- ABEEOLICA – Associação brasileira de energia eólica e novas tecnologias. **Boletim anual 2022**. ABEEOLICA, 2023.
- ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil**. Brasília: ABDI, 2014.
- ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Atualização do Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil**. Brasília: ABDI, 2018.
- ABRAMOVAY, Ricardo. Desenvolvimento sustentável: qual a estratégia para o Brasil? **Revista Novos Estudos**, n. 87, 2010.
- ADAMI, Vivian; *et al.* Regional industrial policy in the wind energy sector: The case of the State of Rio Grande do Sul, Brazil. **Energy Policy**, n. 111, p.18–27, 2017.
- ALTENBURG, Karl; RODRIK, Dani. Green industrial policy: accelerating structural change towards wealthy green economies. In: **Green industrial policy: concept, policies, country experiences**, UN Environment, 2017.
- ARAÚJO, Bruno; WILLCOX, Luiz. Reflexões críticas sobre a experiência brasileira de política industrial no setor eólico. **BNDES Setorial**, v. 47, p. 163-220, 2018.
- AISINGER, Karl; RODRIK, Dani. Rebirth of Industrial Policy and an Agenda for the Twenty-First Century. **Journal of Industry, Competition and Trade**, v. 20, p. 189–207, 2020.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Sistema de informações de geração da ANEEL - SIGA**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br>> Acesso em janeiro de 2023.
- BEZERRA, Francisco. Energia Eólica no Nordeste. **Caderno Setorial do ETENE**, n. 66, 2019.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Conjunto de Dados**. Disponível em: <<https://dadosabertos.bndes.gov.br/dataset>>. Acesso em fevereiro de 2024.

- BRASIL. **Medida Provisória nº 2.198-4 de 27 de julho de 2001**. Disponível em: <<https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=MPV&numero=2198-4&ano=2001&ato=01fEzZ610MNpWTb04>>. Acesso em: 12/06/2024.
- BRASIL. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm>. Acesso em junho de 2024.
- BRASIL. **Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2003/L10.762.htm>. Acesso em junho de 2024.
- BROWN, Jason; *et al.* Ex post analysis of economic impacts from wind power development in U.S. counties. **Energy Economics**, v. 34, p. 1743–1754, 2012.
- BRUNNER, Eric; SCHWEGMA, David. Commercial wind energy installations and local economic development: Evidence from U.S. counties. **Energy Policy**, v. 165, 112993, 2022.
- BRUNNER, Eric; *et al.* Commercial wind turbines and residential home values: New evidence from the universe of land-based wind projects in the United States. **Energy Policy**, v. 185, p. 113837, 2024.
- CALLAWAY, Brantly; *et al.* Difference-in-differences with a continuous treatment. **NBER Working Paper**, n. 32117, 2024.
- CALLAWAY, Brantly; SANT’ANNA, Pedro. Difference-in-Differences with multiple time periods. **Journal of Econometrics**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.12.001>
- CALLAWAY, Brantly; ZHAO, Jun. Doubly robust difference-in-differences estimators. **Journal of Econometrics**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.06.003>.
- CHAISEMARTIN, Clément; D’HAULTFÈUILLE, Xavier. Two-way fixed effects and differences-in-differences estimators with several treatments. **Journal of Econometrics**, v. 236, n. 2, p. 105480, 2023.
- CMMAD – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: FGV, 1991.
- CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Financiamento à nova indústria Brasil – NIB: conheça as linhas de financiamento disponível**. CNI, 2024.
- COPENICUS. **Datasets**. Disponível em: <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>>. Acesso em março de 2024.
- CURTIS, Mark; MARINESCU, Ioana. Green energy jobs in the us: what are they, and where are they? **NBER Working Paper**, 30332, 2022.

- DESCHENES, Olivier; *et al.* Causal effects of renewable portfolio standards on renewable investments and generation: the role of heterogeneity and dynamics. **NBER Working Paper**, 31568, 2023.
- DONG, Luran; *et al.* Property value impacts of onshore wind energy in New England: The importance of spatial heterogeneity and temporal dynamics. **Energy Policy**, v. 179, p. 113643, 2023.
- FABRA, Natalia; *et al.* **Do renewable energies create local jobs?** Banco de España, Madrid, 2023. DOI: <https://doi.org/10.53479/29475>.
- FABRIS, Leonardo. Instituições e Redes na Indústria de Aerogeradores: O Caso da Empresa WEG. **Revista Contraponto**, v. 7, n. 2, 2020.
- FEIJÓ, Carmen; *et al.* Perspectivas teóricas e analíticas sobre polarização, inovação e desenvolvimento. **BOLETIM GEEP**, v. 4 n. 1, 2024.
- FURTADO, André; PERROT, Radhika. Innovation dynamics of the wind energy industry in South Africa and Brazil: technological and institutional lock-ins. **Innovation and Development**, v. 5, n. 2, p. 263-278, 2015.
- GAVARD, Claire; *et al.* Local Economic Impacts of Wind Power Deployment in Denmark. **Discussion paper: ZEW – Leibniz Centre for European Economic Research**, v. 22, n. 058, 2022.
- GOUVÊA, Renato; SILVA, Paulo. Desenvolvimento do setor eólico no Brasil: Wind power sector development in Brazil. **Revista BNDES**, v. 25, n. 49, p. 81-118, 2018.
- GONÇALVES, Solange; *et al.* The impact of wind power on the Brazilian labor market. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 128, n. 109887, 2020.
- GOETZKE, Frank; RAVE, Tilmann. Exploring heterogeneous growth of wind energy across Germany. **Utilities Policy**, p. 1-13, 2016.
- GILBERT, Ben; *et al.* Distributional equity in the employment and wage impacts of energy transitions. **NBER Working Paper**, 31608, 2023.
- GUERRA, Adrian; *et al.* New industrial policy for a new world: Seizing Brazil's opportunities in the energy transition. **Geopolitical Brief**, n. 3, 2025.
- GWEC – Global Wind Energy Council. **Global Wind Report 2022**. GWEC, 2022.
- GWEC – Global Wind Energy Council. **Global Wind Report 2024**. GWEC, 2024.
- GOODMAN-BACON, Andrew. Difference-in-differences with variation in treatment timing. **Journal of Econometrics**, 2021.
- HADDAD, Paulo; *et al.* **Economia regional: teorias e métodos de análise**. Fortaleza: ETENE-BNB, 1989.

- HILDEBRAND, G.; MACE, A. The employment multiplier in an expanding industrial market: Los Angeles County, 1940-47. **Review of Economics and Statistics**, v. 32, p. 241-49, 1950.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Desemprego**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/desemprego.php>>. Acesso em junho de 2024.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados Abertos**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>>. Acesso em junho de 2024.
- IEDI – Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. **Políticas de conteúdo local: a experiência brasileira**. IEDI, 2018.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 7. **Energia Acessível e Limpa**. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/ods/ods7.html>>. Acesso em novembro de 2023.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Global landscape of renewable energy finance**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2023.
- IRFAN, Muhammad; *et al.* Critical factors influencing wind power industry: A diamond model-based study of India. **Energy Reports**, v. 5, p. 1222-1235, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.08.068>.
- KRUGMAN, Paul. First nature, second nature, and metropolitan location. **Journal of Regional Science**, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.1993.tb00217.x>.
- LI, Cun-Bin; *et al.* Comprehensive assessment of flexibility of the wind power industry chain. **Renewable Energy**, v. 74, p.18-26, 2015.
- MATTEI, Taise; MATTEI, Tatiane. Métodos de Análise Regional: um estudo de localização e especialização para a Região Sul do Brasil. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v. 38, n. 133, p. 227-243, 2017.
- MAURITZEN, Johannes. Will the locals benefit? The effect of wind power investments on rural wages. **Energy Policy**, v. 142, n. 111489, 2020.
- MAZZUCATO, Mariana. **O Estado Empreendedor: Desmascarando o Mito do Setor Público vs. Setor Privado**. São Paulo: Portfolio Perquin, 2014.
- NUNES, Anna; *et al.* Impact assessment of public policy in the municipalities covered by the incentive program for alternative energy sources – PROINFA. **Product & Services**, 2022. DOI: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4147125>.
- OECD – **Organisation for Economic Co-operation and Development**. Disponível em: <<https://www.oecd.org/>>. Acesso em novembro de 2023.
- PODCAMENI, Gabriella. Elementos para uma análise da inserção da energia eólica no Brasil a partir de uma perspectiva da política industrial. **Revista Econômica**, v.16, n.2, p. 51-76, 2014.

- RAIS – Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). **Dados Abertos**. Disponível em: <<http://pdet.mte.gov.br/aceso-online-as-bases-de-dados>>. Acesso em fevereiro de 2023.
- REN21 – Renewables Now. **Renewables 2023: Global Status Report Collection, Global Overview**. REN21, 2023. Disponível em: <www.ren21.net/gsr-2023>. Acesso em novembro de 2023.
- RODRIK, Dani. Green Industrial Policy. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 30, n. 3, p. 469–49, 2014.
- RODRIGUES, Thiago; PAREDA, Paula. Sun, Wind, and Sweat: Local Labor Impacts of Renewable Energy Investments. **ANPEC**, 2023.
- RODRIGUES, Thiago; *et al.* Wind power and the labor market in the brazilian northeast: a spatial propensity score matching approach. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 13, n. 3, p. 357-378, 2019.
- ROTH, Jonathan; *et al.* What’s Trending in Difference-in-Differences? A Synthesis of the Recent Econometrics Literature. **Cornell University**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.01194>.
- SANT’ANNA, Pedro; ZHAO, Jun. Doubly robust difference-in-differences estimators. **Journal of Econometrics**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.06.003>.
- SUZIGAN, Wilson; *et al.* Institutions and industrial policy in Brazil after two decades: have we built the needed institutions? **Economics of Innovation and New Technology**, 2020.
- SUN, Liyang; ABRAHAM, Sarah. Estimating dynamic treatment effects in event studies with heterogeneous treatment effects. **Journal of Econometrics**, v. 225, n. 2, p. 175-199, 2021.
- TOSTA, Eduardo; *et al.* A cadeia produtiva da indústria nacional em energia eólica: identificação de gargalos produtivos e oportunidades. In: TONI, J (Org). **Os desafios da Política Industrial Brasileira: Uma contribuição da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial**. Brasília: ABDI, 2016.
- UYARRA, Elvira; *et al.* Exploring the normative turn in regional innovation policy: responsibility and the quest for public value. **European Planning Studies**, v. 27, n. 12, p. 2359–2375, 2019.
- UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development. **Technology and innovation report 2023. Opening green windows Technological opportunities for a low-carbon world**. United Nations Conference on Trade and Development, 2023.
- VEIGA, José. **Meio ambiente e desenvolvimento**. 4. ed. São Paulo: Senac, 2006.
- WBG – World Bank Group. **Energy**. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/topic/energy/overview>> 08 de janeiro de 2023.

WOOLDRIDGE, Jeffrey; *et al.* Two-Way Fixed Effects, the Two-Way Mundlak Regression, and Difference-in-Differences Estimators. **Social Science Research Network**, 2021.
DOI:10.2139/ssrn.3906345.

CONCLUSÃO

Há um extenso debate sobre os riscos associados à iminente escassez de recursos naturais, ao aquecimento global e às condições climáticas extremas e imprevisíveis, o que requer um esforço global pautado em inovações disruptivas e em grande escala. A criação de novos caminhos para substituir as atividades “*carbon lock-in*” tem sido cada vez mais viabilizadas a partir do desenvolvimento de iniciativas que promovem tanto o dinamismo econômico quanto benefícios ambientais e climáticos.

Dentre as tecnologias de fontes renováveis (como hídrica, solar, eólica, geotérmica e hidrogênio), a fonte eólica é a que mais cresce no mundo. Identificada como uma “janela de oportunidade”, essa tecnologia tem apresentado o maior crescimento no processo de transição energética, contando com o engajamento de diferentes setores e *stakeholders* (público, privado e cívico). Parte dessa atratividade pode ser atribuída à disponibilidade de recursos naturais (velocidade média do vento e extensão de área) e à redução dos custos associados a essa tecnologia. Diante desse contexto, a presente tese foi subdividida em três ensaios e teve como objetivo principal discutir a capacidade produtiva e tecnológica no desenvolvimento da indústria de energia, além do imprescindível papel das políticas de financiamento destinadas a essa tecnologia, especialmente nos países em desenvolvimento.

O primeiro ensaio teve como objetivo discutir os mecanismos associados à criação do desenvolvimento industrial eólico, em cenários com e sem precedentes imediatos. Com ênfase nas evidências sobre as colaborações multissetoriais e pré-existentes ancoradas nas capacidades produtivas e tecnológicas de diferentes economias. A partir de uma revisão crítica e sistemática da literatura.

Após os procedimentos metodológicos da revisão sistemática, o estudo reuniu uma amostra final de 64 artigos revisados por pares. Os estudos apontam dois principais mecanismos para um novo caminho de desenvolvimento industrial eólico: as ramificações e as criações de novos caminhos. As experiências também destacam a existência de dois tipos de interações: competitiva (efeito negativo) e complementar (efeito positivo).

As ramificações são definidas como o aproveitamento de habilidades, competências e/ou infraestruturas das indústrias existentes em novas. Quando bem aproveitadas, podem promover oportunidades de “*leapfrogging*”, como demonstram as experiências dos seguintes países: Dinamarca, com seu *know-how* em engenharia de equipamentos agrícolas; Brasil, com indústrias nas áreas de metalmeccânica, eletrônica e automação; Noruega, com empresas de

petróleo e gás; e Alemanha, com indústrias tradicionais de pesca, construção naval e automotiva. Contudo, há contextos em que as trajetórias estabelecidas anteriormente reforçam certos padrões que geram bloqueio ou inflexibilidade para o desenvolvimento industrial eólico, como nos casos da Polônia, África do Sul e Brasil (este último nos estágios iniciais do mercado).

A tecnologia eólica requer a combinação da base de conhecimento de diferentes tecnologias industriais de maior e menor grau de complexidade, abrangendo tanto o conhecimento codificado quanto tácito, como as atividades de engenharia mecânica e elétrica, *software*, aerodinâmica, ciência de materiais e outras. Portanto, é de se esperar que a estrutura anterior possibilite sinergias e complementaridades para a expansão e difusão da tecnologia eólica. Contudo, para que haja uma fertilização cruzada entre os setores e/ou empresas (do mesmo setor e/ou estrangeiras), a literatura destaca a importância da atuação de múltiplos *stakeholders*. Isto é, não apenas a colaboração entre os setores adjacentes, mas também a colaboração entre os agentes dominantes nas regiões (público, privado e civil), também chamada de colaboração multissetorial.

Os principais vínculos de cooperação envolvem *joint ventures*, cooperação *offshoring*, fusões e aquisições transversais, licenciamento, engenharia reversa, assistência de consultores estrangeiros e redes de produção. A espanhola Gamesa, por exemplo, que é considerada uma das empresas líderes do mercado, consolidou-se por meio de cooperação com a dinamarquesa Vestas. Do mesmo modo, a indiana Suzlon estabeleceu centros de P&D na Holanda, Alemanha e Dinamarca, com apoio de parcerias corporativas e acadêmicas. Assim, o conhecimento externo tem sido um insumo relevante para a inovação, especialmente quando há instituições facilitadoras, como universidades, centros de pesquisa e agências governamentais. No entanto, a absorção desses benefícios depende da capacidade local de interpretar e aplicar esse conhecimento; pois, sem essas capacidades, os fluxos de transbordamento podem não resultar em benefícios percebidos.

No que se refere à criação de caminhos, embora esses casos sejam exceções e não a regra, o surgimento de indústrias inteiramente novas pode ocorrer tanto a partir de habilidades regionais pré-existentes quanto em cenários sem precedentes regionais imediatos, como no caso da China e da Índia. Apesar da entrada tardia no mercado, ambos os países aproveitaram uma “janela de oportunidade” no mercado doméstico, com forte coordenação e elevada cooperação entre os *stakeholders* locais e estrangeiros.

Na Índia, o mercado doméstico foi impulsionado por iniciativas governamentais e estratégias de *learning-by-interacting* com atores internacionais. A produção começou com itens de menor complexidade, incorporando progressivamente componentes de maior

complexidade, apoiada pelo crescimento do mercado interno e pela política de conteúdo local. Do mesmo modo, na China, o desenvolvimento da indústria eólica ocorreu gradualmente, com forte apoio governamental e participação de subsidiárias de grandes empresas do setor. Inicialmente, a estratégia do mercado chinês foi baseada na importação tecnológica e estratégias de inovação imitativa. Nas fases posteriores, a estratégia chinesa evoluiu para inovação cooperativa e internacionalização, com destaque para a cooperação *offshoring*, fusões, aquisições transversais, assistência de consultores estrangeiros e redes de produção entre universidades e centros de pesquisa.

Apesar dos avanços, países com pequeno estoque inicial de conhecimento enfrentam dificuldades para superar ou alcançar nações tecnicamente mais avançadas. A China, embora tenha se tornado um *player* relevante no setor e construído capacidades técnicas em comercialização e expansão, a capacidade tecnológica do mercado chinês não se desenvolveu tão rapidamente quanto a formação do mercado doméstico. A escassez de inovação e de recursos humanos qualificados permanece como um desafio crônico a ser enfrentado. Não obstante, a limitada atenção aos padrões internacionais de qualidade tem comprometido sua competitividade frente às líderes europeias. No que se refere à construção de uma cadeia industrial *offshore*, os obstáculos são ainda maiores, devido à baixa inovação e aos elevados custos. Assim, destaca-se a necessidade do fortalecimento de políticas mais orientadas, tanto para o impulso tecnológico quanto para a formação de demanda.

Para cenários que apresentam a ausência de capacidades produtivas e tecnológicas, o conhecimento externo tende a não ser absorvido, e as oportunidades não são plenamente percebidas – como no caso da África do Sul, cuja matriz energética ainda é intensiva em combustíveis fósseis. Além do “aprisionamento” ao sistema energético vigente, parte da fabricação local do mercado sul-africano tem se concentrado em componentes de menor complexidade, como torres e pás. Portanto, mesmo com avanços no setor, é provável que os financiamentos continuem sendo direcionados à importação de componentes tecnológicos estrangeiros.

No que se refere às implicações políticas do primeiro ensaio, as experiências analisadas indicam que o desenvolvimento de uma indústria eólica doméstica requer mais do que a elaboração de políticas de conteúdo local. É necessário criar estratégias voltadas à construção de sistemas de inovação, incluindo investimentos na produção de conhecimento, ativação de redes de colaboração e estímulos a atividades empreendedoras. Ademais, os governos podem estimular o desenvolvimento do mercado por meio de um conjunto articulado de políticas, alinhadas às competências locais e em sinergia com os múltiplos *stakeholders*. Assim, a

principal contribuição desse ensaio foi reunir as experiências e ampliar a compreensão sobre os mecanismos que sustentam o desenvolvimento da indústria eólica, destacando como os caminhos adotados anteriormente podem influenciar as possibilidades atuais, sendo este um aspecto ainda pouco explorado na literatura sobre o setor industrial de energia.

O segundo ensaio teve como objetivo identificar os fatores associados e os caminhos condicionantes para a especialização no setor eólico, à luz da perspectiva comparativa entre os países da América do Sul e os *players* do mercado *onshore*. A partir da construção de indicadores que combinam o método de Quociente Locacional (QL) com técnicas de análise multivariada, a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise Qualitativa Comparativa (QCA).

Sob o arcabouço da política industrial em uma abordagem moderna, as políticas não devem ser feitas de forma isolada. Além disso, devem corrigir não só as falhas de mercado, mas também orientar a mudança tecnológica frente aos desafios contemporâneos. No contexto da política industrial verde, é necessário ir além dos instrumentos tradicionais, conciliando objetivos de descarbonização e bem-estar social. Contudo, esse modelo enfrenta inúmeros desafios, entre os quais se destacam a direção da mudança tecnológica, a necessidade de experimentação e a adoção crescente de inovações verdes.

A escolha e combinação de instrumentos, portanto, dependem do estágio de desenvolvimento de cada país. No contexto do desenvolvimento industrial eólico, a formulação de uma política industrial justifica-se pela necessidade de reduzir a dependência externa, desenvolver cadeias produtivas de bens e serviços, atrair tecnologias voltadas à descarbonização, promover a segurança energética, gerar empregos e ampliar a competitividade econômica frente às tecnologias convencionais.

A China, os Estados Unidos, a Alemanha e a Índia são os principais países *players* do mercado *onshore*, especialmente devido à capacidade instalada e às projeções de expansão do setor. Em 2020, a China e a Índia registraram os menores custos médios de instalação *onshore* e concentraram quase metade da oferta de emprego eólico global. Na América do Sul, o Brasil se destaca como o sexto país de maior capacidade eólica instalada globalmente, resultado de diferentes estratégias industriais e políticas de desenvolvimento. Já a Argentina aumentou sua produção de 593 GWh (2015) para 9.412 GWh (2020). O Chile passou de 7 GWh (2010) para 7.222 GWh (2021), e o Uruguai, de 70 GWh (2010) para 5.476 GWh (2020), alcançando mais de 40% da matriz energética. Ainda assim, muitos países sul-americanos mantêm significativa dependência de fontes não renováveis.

Com condições naturais favoráveis, como a velocidade média do vento adequada e grandes extensões de área, os resultados do QL indicaram especialização e indícios de especialização em energia eólica para o Uruguai, o Brasil, o Chile e a Argentina. Entre os países da América do Sul, apenas a Argentina e o Chile adotaram todas as políticas regulatórias (instrumento indireto) e incentivos fiscais e de financiamento (instrumento direto) com metas para a fonte eólica. No Brasil, o sistema de leilões (indireto) e a política de requisito de conteúdo local (direto) promovida pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), têm sido os principais instrumentos de estímulo para o setor.

Diferentes fatores econômicos, políticos e naturais podem estar influenciando o desenvolvimento da atividade eólica. A partir da PCA, foram extraídos dois fatores: o primeiro componente definido como “*carbon lock-in*” e composto pelas variáveis de “produção de energia por combustíveis fósseis”, “emissões de CO₂ das atividades industriais”, “densidade populacional”, “PIB” e “patentes em energia”; e o segundo componente definido como “dependência e investimento energético” e composto pelas variáveis “importação de combustíveis fósseis” e “investimento no setor de energia”. Esses fatores foram, posteriormente, aplicados na QCA com a condição adicional da variável “velocidade média do vento”.

Os principais resultados indicam que altos níveis de “*carbon lock-in*” e “dependência e investimento energético”, quando combinados à “velocidade média do vento”, podem configurar caminhos favoráveis ao desenvolvimento da energia eólica. Além disso, a alta “velocidade média do vento”, por sua vez, revelou-se condição necessária para a especialização eólica, mas insuficiente isoladamente, exigindo articulação com outros fatores. O Brasil e o Chile apresentaram indícios de especialização, com configurações marcadas, em 2010 e 2015, por alto “*carbon lock-in*” combinado a outras condições. Já na China e na Alemanha, observou-se um padrão em que a alta “velocidade média do vento” e a alta “dependência e investimento energético”, combinadas à ausência de “*carbon lock-in*”, impulsionam a especialização do país na atividade eólica.

Esses resultados sugerem não apenas a maturidade do setor nos países *players*, mas também a presença de um *portfólio* consistente de instrumentos de longo prazo. O que reforça a importância da formulação de políticas industriais e energéticas orientadas para metas de curto, médio e longo prazo, em articulação com outras políticas. O ensaio conclui que diferentes países têm impulsionado o desenvolvimento das atividades eólicas (*onshore* e *offshore*) por meio de incentivos dirigidos tanto à oferta quanto à demanda. O debate atual sugere que a especialização nessa atividade é um fenômeno multidimensional. No entanto, poucos estudos

discutem quais são os fatores que têm sido associados ao desenvolvimento no setor eólico, especialmente para as economias com menor grau de desenvolvimento econômico. Essa foi a principal contribuição do segundo ensaio.

O terceiro ensaio teve como objetivo estimar o efeito local do financiamento nas atividades de energia eólica sobre o setor industrial no Brasil a partir do Valor Adicionado (VA) setorial e da oferta de emprego, em nível municipal. Para tal, foi utilizado o método de Diferença em Diferença (DiD), com avanços projetados para abordar os efeitos de tratamentos dinâmicos e heterogêneos, para o período entre 2002 e 2021.

O desenvolvimento da atividade eólica no país foi impulsionado por um conjunto de instrumentos e políticas tanto no âmbito energético quanto industrial a partir dos anos 2000. No entanto, a articulação explícita entre essas políticas só se consolidou após 2012, com a criação do Plano de Nacionalização Progressivo (PNP), regulado pelo BNDES.

A distribuição espacial das empresas montadoras e fabricantes de pás, torres e componentes concentra-se em dois grandes polos produtivos: na região Nordeste e no Sul-Sudeste do país. Essa configuração reflete fatores como proximidade dos parques eólicos, infraestrutura logística, presença da cadeia produtiva e aproveitamento de estruturas industriais existentes. Embora a geração eólica esteja fortemente presente no Nordeste – região de baixo desenvolvimento econômico e alta densidade populacional – os resultados do QL para o VA industrial mostram maior relevância da atividade industrial em municípios das regiões Sul e Sudeste e, em menor grau, no Centro-Oeste e Nordeste. Entretanto, entre 2002 e 2021, poucos municípios efetivamente apresentaram sinais de reestruturação produtiva nas atividades eólicas.

O BNDES é o principal agente de fomento à energia eólica no país. Em 2017, mais da metade do seu financiamento para o setor foi direcionado à geração eólica, principalmente no Nordeste. Considerando o escalonamento dos municípios contemplados, as preferências locais e possíveis problemas de endogeneidade, adotou-se o modelo DiD, robusto à heterogeneidade e à adoção escalonada. Para estimar o efeito médio do tratado, foram definidos dois grupos: i) tratados, com municípios que receberam o financiamento ao longo do tempo; e ii) controle, construído a partir da matriz de vizinhança dos municípios financiados, com amostras de primeira, segunda e terceira ordem.

Os resultados indicaram um efeito positivo dos investimentos em energia eólica sobre o logaritmo do Valor Adicionado Industrial (VAI) e do Valor Adicionado Total (VAT) dos municípios, tanto no efeito médio quanto no efeito agregado. Na análise dinâmica, apenas o VAI apresentou impacto estatisticamente significativo no período corrente, com efeitos positivos e significativos nos períodos subsequentes ao financiamento.

Em relação ao mercado de trabalho, não houve efeito estatisticamente significativo sobre o logaritmo do Emprego Industrial (EI), com resultados negativos em quase todos os períodos pré-tratamento e pós-tratamento. Para o Emprego Total (ET), o efeito médio do financiamento foi positivo e significativo. No entanto, a análise de eventos revelou um impacto negativo e estatisticamente significativo nos três últimos períodos, sugerindo queda na oferta de empregos no longo prazo. Além disso, observou-se impacto positivo nos setores de agricultura e construção, enquanto os efeitos sobre o setor de comércio e serviços foram predominantemente negativos, tanto no efeito médio quanto na dinâmica temporal. Tais evidências indicam que o desenvolvimento da energia eólica pode gerar efeitos de transbordamento para setores produtivos adjacentes. Nesse sentido, reforça-se a importância de políticas industriais integradas, que considerem a atividade eólica não como uma atividade isolada, mas como parte de uma estratégia ampla de transformação produtiva, com foco em cadeias de alto valor agregado.

No que se refere às implicações políticas do terceiro ensaio, os resultados destacam a importância do financiamento direcionado às atividades eólicas em regiões historicamente marcadas por desigualdades, mas com elevado potencial de geração. Esse instrumento cumpre um duplo objetivo: reduzir os níveis de emissões CO₂ e gerar benefícios socioeconômicos, como segurança energética, geração de empregos e crescimento econômico – elementos que estão no cerne da política industrial verde.

Por fim, esta pesquisa contribui para a literatura ao combinar diferentes métodos e abordagens para analisar a capacidade produtiva, capacidade tecnológica e políticas de financiamento da indústria eólica, do nível global ao local. Os resultados dessa tese revelam o *status* atual, os desafios e as perspectivas do setor, oferecendo subsídios para que governos e *stakeholders* compreendam a dinâmica da especialização em energia eólica e formulem estratégias que acelerem a transição energética em andamento.

Com as devidas cautelas analíticas, os formuladores de políticas podem desenvolver instrumentos para: i) fortalecer capacidades locais e a gestão do território, mitigando impactos socioambientais negativos; ii) ampliar a flexibilidade da cadeia eólica, aumentando a resiliência a choques internos e externos por meio da redução/substituição de materiais críticos e da diversificação de fornecedores; iii) incentivar a flexibilidade tecnológica, a propriedade intelectual e a formação de talentos, por meio de políticas de P&D e qualificação do capital humano; e iv) promover a articulação entre as políticas públicas e os principais *stakeholders*. Essas mudanças podem reduzir a dependência tecnológica externa, ampliar a capacidade interna e fomentar uma cadeia produtiva integrada, sustentável e de alto valor agregado. Embora essas

mudanças possam elevar custos no curto prazo, no longo prazo podem contribuir para maior autonomia, desenvolvimento de novos submercados e avanço na descarbonização da economia.

REFERÊNCIAS

- ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica. **Boletim anual 2022**. ABEEOLICA, 2023.
- BALLAND, Pierre; *et al.* Smart specialization policy in the European Union: relatedness, knowledge complexity and regional diversification. **Regional Studies**, v. 53, n. 9, p. 1252–1268, 2019. DOI: 10.1080/00343404.2018.1437900
- BALLAND, Pierre.; RIGBY, David. The Geography of Complex Knowledge. **Economic Geography**, v. 93, n. 1, p. 1–23, 2017. DOI: 10.1080/00130095.2016.1205947
- BINZ, Christian; *et al.* Geographies of transition—From topical concerns to theoretical engagement: A comment on the transitions research agenda. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 34, p. 1–3, 2020. DOI: 10.1016/j.eist.2019.11.002
- BINZ, Christian; TRUFFER, Bernhard. Global Innovation Systems—A conceptual framework for innovation dynamics in transnational contexts. **Research Policy**, v. 46, n. 7, p. 1284–1298, 2017. DOI: 10.1016/j.respol.2017.05.012
- BOSCHMA, Ron; *et al.* Towards a theory of regional diversification: combining insights from Evolutionary Economic Geography and Transition Studies. **Regional Studies**, v. 51, n. 1, p. 31–45, 2017. DOI: 10.1080/00343404.2016.1258460
- CALVERT, Kirby. From ‘energy geography’ to ‘energy geographies’: Perspectives on a fertile academic borderland. **Progress in Human Geography**, v. 40, n. 1, p. 105–125, 2016. DOI: 10.1177/0309132514566343
- COENEN, Lars; *et al.* Regional foundations of energy transitions. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, v. 14, n. 2, p. 219–233, 2021. DOI: 10.1093/cjres/rsab010
- COENEN, Lars; *et al.* Local niche experimentation in energy transitions: A theoretical and empirical exploration of proximity advantages and disadvantages. **Technology in Society**, v. 32, n. 4, p. 295–302, 2010. DOI: 10.1016/j.techsoc.2010.10.006
- FAGERBERG, Jan. Mobilizing innovation for sustainability transitions: A comment on transformative innovation policy. **Research Policy**, v. 47, n. 9, p. 1568–1576, 2018. DOI: 10.1016/j.respol.2018.08.012
- GONÇALVES, Arthur. Perspectivas de futuro para a política energética chinesa e suas implicações nas relações sino-brasileiras. **Petrel (54)**, v.03, n. 05, 2021.
- GRAFSTRÖM, Jonas. International knowledge spillovers in the wind power industry: evidence from the European Union. **Economics of Innovation and New Technology**, v. 27, n. 3, p. 205–224, 2018. DOI: 10.1080/10438599.2017.1328778

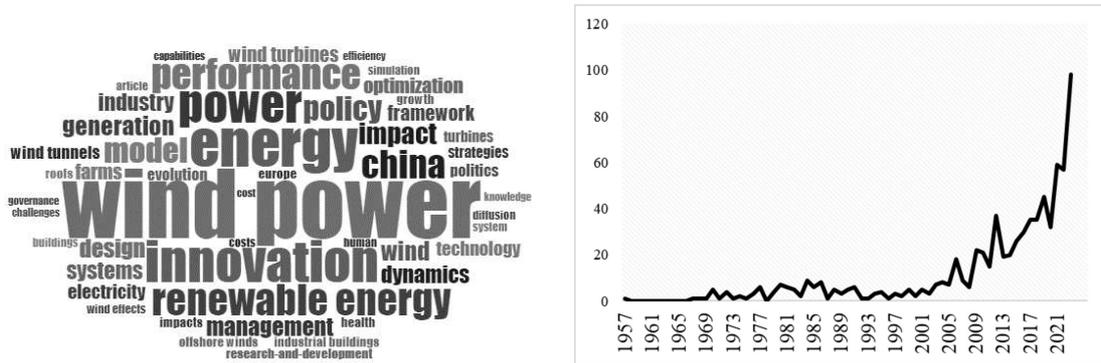
- HANSEN, Ulrich; *et al.* Innovation capability building in subsidiaries of multinational companies in emerging economies: Insights from the wind turbine industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, p. 118746, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118746
- HOCHSTETLER, Kathryn; KOSTKA, Genia. Wind and Solar Power in Brazil and China: Interests, State–Business Relations, and Policy Outcomes. **Global Environmental Politics**, v. 15, n. 3, 2015. DOI: https://doi.org/10.1162/GLEP_
- IEA – International Energy Agency. **Renewables: Wind**. IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/wind>. Acesso em janeiro de 2025.
- IEA – International Energy Agency. **Renewables 2024 Analysis and forecasts to 2030**. IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2024>. Acesso em janeiro de 2025.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. IPEA, 2023. Disponível: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods7.html>. Acesso em janeiro de 2023.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty**. 1. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2022.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper)**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019a.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Hydrogen: A renewable energy perspective**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019b.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ed. 2020a.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Wind Electricity**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ed. 2020b.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2021a.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Offshore renewables: An action agenda for deployment**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2021b.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Global landscape of renewable energy finance**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2023a.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Sources of Investment**. IRENA, 2023b. Disponível em: <https://www.irena.org/financeinvestment>. Acesso em março de 2023.

- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Statistics Data**. IRENA, 2024. Disponível em: <https://www.irena.org/Data>. Acesso em janeiro de 2025.
- JANSSEN, Matthijs; ABBASIHAROFTEH, Milad. Boundary spanning R&D collaboration: Key enabling technologies and missions as alleviators of proximity effects? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 180, p. 121689, 2022. DOI: 10.1016/j.techfore.2022.121689
- KÖHLER, Jonathan; *et al.* An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 31, p. 1–32, 2019. DOI: 10.1016/j.eist.2019.01.004
- LEÃO, Rafael. A AGENDA 2030 DAS NAÇÕES UNIDAS E AS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL. **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, n. 60, p. 7–11, 2019.
- LUNDVALL, Bengt-Åke. National Innovation Systems—Analytical Concept and Development Tool. **Industry & Innovation**, v. 14, p. 95–119, 2007. DOI: 10.1080/13662710601130863
- MAZZUCATO, Mariana. **O Estado Empreendedor: Desmascarando o Mito do Setor Público vs. Setor Privado**. São Paulo: Portfolio Perguin, 2014.
- MAZZUCATO, Mariana. Mission-oriented innovation policies: challenges and opportunities. **Industrial and Corporate Change**, v. 27, n. 5, p. 803–815, 2018. DOI: 10.1093/icc/dty034
- MAZZUCATO, Mariana; PEREZ, Carlota. **Redirecting Growth: Inclusive, sustainable and innovation led**. UCL Institute for Innovation and Public Purpose, Working Paper Series (IIPP WP 2022-16), 2022.
- MAZZUCATO, Mariana; PENNA, Caetano. The Rise of Mission-Oriented State Investment Banks: The Cases of Germany’s KfW and Brazil’s BNDES. **University of Sussex**, 2015. DOI: 10.2139/ssrn.2744613
- MATHIAS, João; *et al.* Green new deal como estratégia de desenvolvimento pós-pandemia: lições da experiência internacional. **Revista Tempo do Mundo**, n. 26, 2021. DOI: 10.38116/rtm26art4
- MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Neoindustrialização: Brasil ganha nova política industrial com metas e ações para o desenvolvimento até 2033**. MDIC, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/vice-presidencia/central-de-conteudo/noticias/brasil-ganha-nova-politica-industrial-com-metas-e-acoes-para-o-desenvolvimento-ate-2033>. Acesso em janeiro de 2025.
- PORCILE, Gabriel; *et al.* An Evolutionary Theory of Economic Change. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 3, 2004. DOI: 10.20396/rbi.v3i2.8648898

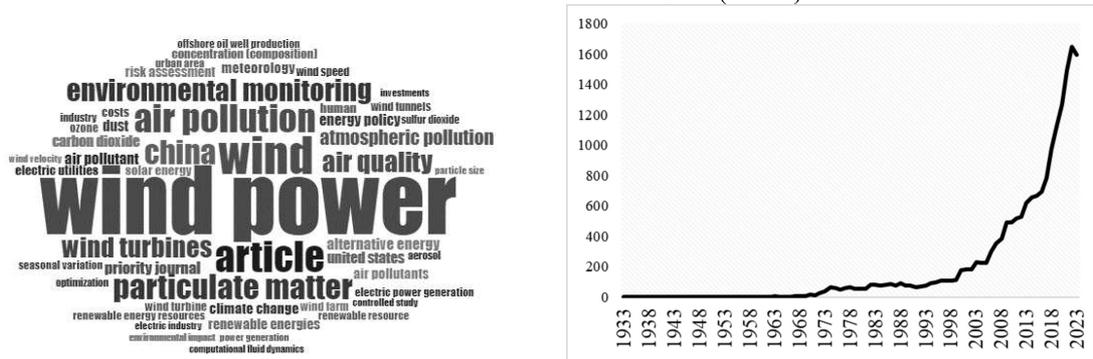
- RODRIK, Dani. Green Industrial Policy. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 30, n. 3, p. 469–49, 2014. DOI: 10.1093/oxrep/gru025
- SPÄTH, Philipp; ROHRACHER, Harald. Local Demonstrations for Global Transitions—Dynamics across Governance Levels Fostering Socio-Technical Regime Change Towards Sustainability. **European Planning Studies**, v. 20, n. 3, p. 461–479, 2012. DOI: 10.1080/09654313.2012.651800
- STEEN, Markus. Reconsidering path creation in economic geography: aspects of agency, temporality and methods. **European Planning Studies**, v. 24, n. 9, p. 1605–1622, 2016. DOI: 10.1080/09654313.2016.1204427
- SUITNER, Johannes; *et al.* Social innovation for regional energy transition? An agency perspective on transformative change in non-core regions. **Regional Studies**, v. 57, n. 8, p. 1–13, 2023. DOI: 10.1080/00343404.2022.2053096
- UNEP – United Nations Environment Programme. **Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies**. Nairobi, 2022.
- UYARRA, Elvira; *et al.* Exploring the normative turn in regional innovation policy: responsibility and the quest for public value. **European Planning Studies**, v. 27, n. 12, p. 2359–2375, 2019. DOI: 10.1080/09654313.2019.1609425
- XIAO, Jing; *et al.* Industrial Diversification in Europe: The Differentiated Role of Relatedness. **Economic Geography**, v. 94, n. 5, p. 514–549, 2018. DOI: 10.1080/00130095.2018.1444989
- WBG – World Bank Group. **Energy**. WORLD BANK, 2023. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/overview>. Acesso em janeiro de 2023.

APÊNDICE A

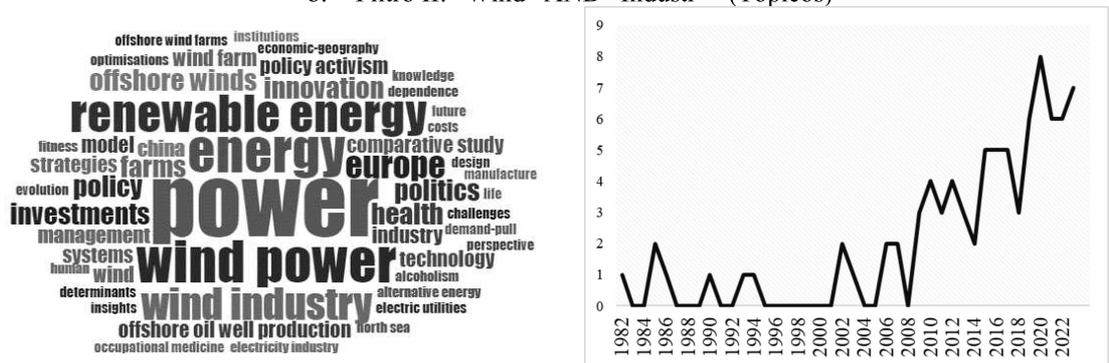
Figura A1 – Nuvem de palavras-chave primárias e volume de publicações de cada filtro¹



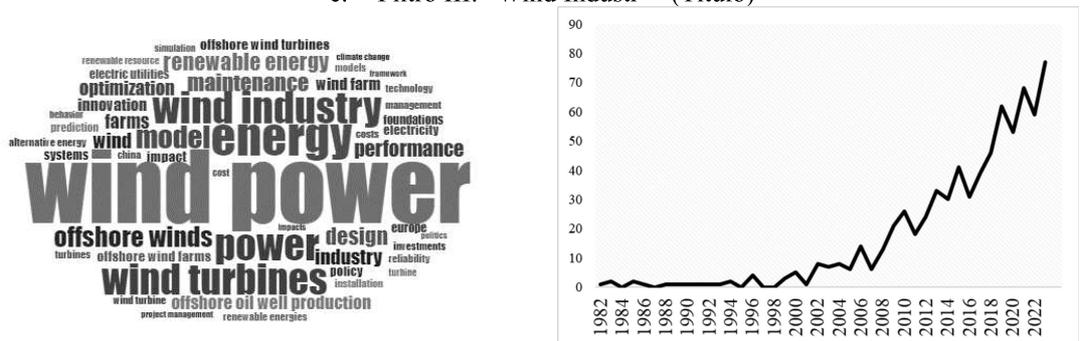
a. Filtro I: “Wind” AND “Industr*” (Título)



b. Filtro II: “Wind” AND “Industr*” (Tópicos)



c. Filtro III: “Wind Industr*” (Título)



d. Filtro IV: “Wind Industr*” (Tópicos)

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados da CAPES (2024). Nota¹: Filtro I: “Wind” AND “Industr*” (Título), Filtro II: “Wind” AND “Industr*” (Tópicos), Filtro III: “Wind Industr*” (Título) e Filtro IV: “Wind Industr*” (Tópicos).

Tabela A1 – Os 10 principais artigos de cada filtro por número de citações

Autores(as)	Ano	Jornal	DOI	Citação
<i>Filtro I</i>				
Lewis J.	2007	Energy Policy	10.1016/j.enpol.2006.06.005	373
Awate S.	2012	Glob Strateg J.	10.1111/j.2042-5805.2012.01034.x	220
Alleman L.	2010	Atmos Res.	10.1016/j.atmosres.2010.02.008	177
Bagal H.	2018	Sol Energy	10.1016/j.solener.2018.05.003	174
Alleman L.	2010	Atmos Res.	10.1016/j.atmosres.2010.02.008	167
Simmie J.	2012	Eur Plan Stud.	10.1080/09654313.2012.667924	166
Pegels A.	2014	Energy Policy	10.1016/j.enpol.2014.06.031	122
Wang Z.	2012	Energy Policy	10.1016/j.enpol.2012.06.067	118
Lee T.	2007	Ieee Trans Energy Convers.	10.1109/TEC.2006.878239	115
Nissenbaum M.	2012	Noise Health	10.4103/1463-1741.102961	110
<i>Filtro II</i>				
Kouro S	2010	IEEE Trans Ind Electron.	10.1109/TIE.2010.2049719	3530
Wäcstenhagen R.	2007	Energy Policy	10.1016/j.enpol.2006.12.001	1972
Abernathy Wj.	1985	Res Policy	10.1016/0048-7333(85)90021-6	1691
Takahashi T.	2009	Oceanogr	10.1016/j.dsr2.2008.12.009	1653
Moreau E.	2007	J Phys. D.	10.1088/0022-3727/40/3/S01	1478
Guo S.	2014	Proc Natl. Acad Sci. USA	10.1073/pnas.1419604111	1415
Nriagu J.	1989	Nature	10.1038/338047a0	1355
Kim P.	2012	Acs. Nano	10.1021/nm302310q	1163
Olah G.	2011	J Am Chem. Soc.	10.1021/ja202642y	1117
Soong T.	2002	Eng. Struct.	10.1016/S0141-0296(01)00092-X	1089
<i>Filtro III</i>				
Lewis J.	2007	Energy Policy	10.1016/j.enpol.2006.06.005	373
Dechezlepretre A.	2014	Environ Resour Econ.	10.1007/s10640-013-9705-4	101
Buen J.	2006	Energy Policy	10.1016/j.enpol.2005.09.003	70
Rabe W.	2017	Energy Policy	10.1016/j.enpol.2016.09.019	70
Lam L.	2017	Energy Policy	10.1016/j.enpol.2017.03.023	60
Akbari N.	2017	Renew Energy	10.1016/j.renene.2016.10.035	46
Karnãe P.	1990	Entrep Reg Dev.	10.1080/08985629000000008	42
Bett P.	2017	Theor Appl Climatol	10.1007/s00704-015-1591-y	41
Wiser R.	2019	Renew Energy Focus	10.1016/j.ref.2019.05.003	39
Mendoza J.	2022	Renew Sust Energ Ver.	10.1016/j.rser.2022.112523	33
<i>Filtro IV</i>				
Spinato F.	2009	Iet Renew Power Gener	10.1049/iet-rpg.2008.0060	470
Roddiar D.	2010	J Renew Sustain Energy	10.1063/1.3435339	406
Lewis J.	2007	Energy Policy	10.1016/j.enpol.2006.06.005	373
Yang W.	2014	Wind Energy	10.1002/we.1508	321
Esteban M.	2012	Appl Energy	10.1016/j.apenergy.2011.06.011	243
Hall N.	2013	Energy Policy	10.1016/j.enpol.2013.03.009	205
Zhou L.	2012	Nat Clim Chang	10.1038/NCLIMATE1505	201
Feng Y.	2013	Wind Energy	10.1002/we.1521	176
Kallehave D.	2015	Eng Sci.	10.1098/rsta.2014.0100	165
Wais P.	2017	Renew Energy	10.1016/j.renene.2016.10.041	157

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados da CAPES (2024). Nota¹: Filtro I: “Wind” AND “Industr*” (Título), Filtro II: “Wind” AND “Industr*” (Tópicos), Filtro III: “Wind Industr*” (Título) e Filtro IV: “Wind Industr*” (Tópicos).

Tabela A2 – Artigos selecionados para a revisão crítica e sistemática da literatura

Autor(a)	Ano	Título	DOI	Jornal
AFEWERKI S.;STEEN M.	2023	Gaining lead firm position in an emerging industry a global production networks analysis of two Scandinavian energy firms in offshore wind power	10.1177/10245294221103072	Competition & Change
CARPENTER J.; <i>et al.</i>	2012	Innovation and new path creation the role of niche environments in the development of the wind power industry in Germany and the UK	10.2478/v10105-012-0016-5	European Spatial Research and Policy
CHEN Y.; <i>et al.</i>	2014	Evolution of collaborative innovation network in Chinas wind turbine manufacturing industry	10.1504/IJTM.2014.060954	International Journal of Technology Management
FURTADO A.; PERROT R.	2015	Innovation dynamics of the wind energy industry in south africa and Brazil technological and institutional lockins	10.1080/2157930X.2015.1057978	Innovation and Development
GARSOU G.; WORACK S.	2022	Technological expertise as a driver of environmental technology diffusion through trade evidence from the wind turbine manufacturing industry	10.1016/j.enpol.2022.112799	Energy Policy
GIBBS D.; JENSEN P.	2022	Chasing after the wind green economy strategies path creation and transitions in the offshore wind industry	10.1080/00343404.2021.2000958	Regional Studies
GRAFSTROM J.	2018	International knowledge spillovers in the wind power industry evidence from the European Union	10.1080/10438599.2017.1328778	Economics of Innovation and New Technology
HAAKONSSON S.; SLEPNIOV D.	2018	Technology transmission across national innovation systems the role of Danish suppliers in upgrading the wind energy industry in China	10.1057/s41287-018-0128-5	European Journal of Development Research
HANSEN U.; <i>et al.</i>	2020	Innovation capability building in subsidiaries of multinational companies in emerging economies insights from the wind turbine industry	10.1016/j.jclepro.2019.118746	Journal of Cleaner Production
HAYASHI D.	2018	Knowledge flow in lowcarbon technology transfer a case of Indias wind power industry	10.1016/j.enpol.2018.08.040	Energy Policy
HAYASHI D.	2020	Harnessing innovation policy for industrial decarbonization capabilities and manufacturing in the wind and solar power sectors of China and India	10.1016/j.erss.2020.101644	Energy Research & Social Science
HAYASHI D.; <i>et al.</i>	2018	Gone with the wind a learning curve analysis of Chinas wind power industry	10.1016/j.enpol.2018.05.012	Energy Policy
HEIDENREICH M.; MATTES J.	2022	Knowledge generation and diffusion in the German wind energy industry	10.1093/icc/dtac022	Industrial and Corporate Change
IRFAN M.; <i>et al.</i>	2019	Critical factors influencing wind power industry a diamond model-based study of India	10.1016/j.egyrs.2019.08.068	Energy Reports
JIANG Z.; LIU Z.	2022	Policies and exploitative and exploratory innovations of the wind power industry in china the role of technological path dependence	10.1016/j.techfore.2022.121519	Technological Forecasting And Social Change
JIANG Z.; <i>et al.</i>	2024	Policy innovation and total factor productivity of the chinese wind power industry does dynamic capability matter	10.1109/TEM.2022.3214435	Ieee Transactions on Engineering Management
KARNØE P.	1990	Technological innovation and industrial organization in the Danish wind industry	10.1080/08985629000000008	Entrepreneurship and Regional Development

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

Tabela A2 – Artigos selecionados para a revisão crítica e sistemática da literatura (continuação)

KOLAKOWSKI P.; RUTKOWSKI G.	2022	The analysis of offshore industry transition acceleration from oil gas to wind	10.12716/1001.1 6.02.20	Transnav
KRISTINSSON K.; RAO R.	2008	Interactive learning or technology transfer as a way to catchup analysing the wind energy industry in Denmark and india	10.1080/1366271 0802040903	Industry and Innovation
LAI M.	2023	Using patent data to evaluate the knowledge dissemination of the offshore wind power industry	10.1109/TEM.20 23.3277481	Ieee Transactions on Engineering Management
LEWIS J.	2014	Industrial policy politics and competition assessing the postcrisis wind power industry	10.1515/bap- 2014-0012	Business and Politics
MÄKITIE T.	2020	Corporate entrepreneurship and sustainability transitions resource redeployment of oil and gas industry firms in floating wind power	10.1080/0953732 5.2019.1668553	Technology Analysis & Strategic Management
MÄKITIE T.; <i>et al.</i>	2018	Established sectors expediting clean technology industries the norwegian oil and gas sectors influence on offshore wind power	10.1016/j.jclepro. 2017.12.209	Journal of Cleaner Production
NAHM J.	2017	Renewable futures and industrial legacies wind and solar sectors in China Germany and the United States	10.1017/bap.201 6.5	Business and Politics
PEUCKERT J.; <i>et al.</i>	2016	The role of international trade for the global buildup of innovation capabilities in the wind industry	10.1080/2157930 X.2015.1116965	Innovation and Development
PUEYO A.; <i>et al.</i>	2011	The role of technology transfer for the development of a local wind component industry in Chile	10.1016/j.enpol.2 011.04.045	Energy Policy
QUITZOW R.; <i>et al.</i>	2017	Development trajectories in chinas wind and solar energy industries how technologyrelated differences shape the dynamics of industry localization and catching up	10.1016/j.jclepro. 2017.04.130	Journal of Cleaner Production
RU P.; <i>et al.</i>	2012	Behind the development of technology, the transition of innovation modes in chinas wind turbine manufacturing industry	10.1016/j.enpol.2 011.12.025	Energy Policy
SILVA P.; KLAGGE B.	2013	The evolution of the wind industry and the rise of chinese firms from industrial policies to global innovation networks	10.1080/0965431 3.2012.756203	European Planning Studies
SIMMIE J.; <i>et al.</i>	2014	New technological path creation evidence from the British and German wind energy industries	10.1007/s00191- 014-0354-8	Journal of Evolutionary Economics
SURANA K.; <i>et al.</i>	2020	Effects of technology complexity on the emergence and evolution of wind industry manufacturing locations along global value chains	10.1038/s41560- 020-00685-6	Nature Energy
TANG T.	2018	Explaining technological change in the us wind industry energy policies technological learning and collaboration	10.1016/j.enpol.2 018.05.016	Energy Policy
ZHOU Y.; <i>et al.</i>	2018	Comparing the international knowledge flow of Chinas wind and solar photovoltaic pv industries patent analysis and implications for sustainable development	10.3390/su10061 883	Sustainability
ZHOU Y.; <i>et al.</i>	2012	Joint rd in lowcarbon technology development in China a case study of the windturbine manufacturing industry	10.1016/j.enpol.2 012.03.037	Energy Policy

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

Tabela A2 – Artigos selecionados para a revisão crítica e sistemática da literatura (continuação)

SIMMIE J.	2012	Path dependence and new technological path creation in the Danish wind power industry	10.1080/09654313.2012.667924	European Planning Studies
ADAMI V.; <i>et al.</i>	2022	Public policies and their influence on the development of the wind industry comparisons between Brazil and China	10.1007/s10098-022-02341-x	Clean Technologies and Environmental Policy
ADAMI V.; VALLE A.	2017	Regional industrial policy in the wind energy sector the case of the state of Rio Grande do Sul Brazil	10.1016/j.enpol.2017.08.050	Energy Policy
ANDERSEN P.; <i>et al.</i>	2017	Industry evolution submarket dynamics and strategic behavior among firms in offshore wind energy	10.1177/1024529416689793	Competition & Change
AWATE S.; <i>et al.</i>	2012	Emne catchup strategies in the wind turbine industry is there a tradeoff between output and innovation capabilities	10.1111/j.2042-5805.2012.01034.x	Global Strategy Journal
BAKER L.; SOVACOO B.	2017	The political economy of technological capabilities and global production networks in South Africa's wind and solar photovoltaic pv industries	10.1016/j.polgeo.2017.03.003	Political Geography
BENTO N.; FONTES M.	2019	Emergence of floating offshore wind energy technology and industry	10.1016/j.rser.2018.09.035	Renewable & Sustainable Energy Reviews
BERROCAL G.; <i>et al.</i>	2021	Opportunities for cross fertilization between the shipbuilding industry and the emergent offshore wind energy sector in Colombia an overview of floating platform technologies	10.16925/2357-6014.2021.02.05	Ingenieria Solidaria
BUEN J.	2006	Danish and Norwegian wind industry the relationship between policy instruments innovation and diffusion	10.1016/j.enpol.2005.09.003	Energy Policy
GILMANOVA A.; <i>et al.</i>	2021	Building an internationally competitive concentrating solar power industry in China lessons from wind power and photovoltaics	10.1080/15567249.2021.1931563	Energy Sources Part B- Economics Planning And Policy
HAAKONSSON S.; KIRKEGAARD J.	2016	Configuration of technology networks in the wind turbine industry a comparative study of technology management models in European and Chinese lead firms	10.1504/IJTM.2016.075892	International Journal of Technology Management
JI J.; <i>et al.</i>	2024	The blue treasure of hydrogen energy a research of offshore wind power industry policy in china	10.1016/j.ijhyden.2024.03.009	International Journal of Hydrogen Energy
JIANG Z.; <i>et al.</i>	2024	Digitalization and productivity in the Chinese wind power industry the serial mediating role of reconfiguration capability and technological innovation	10.1108/BPMJ-12-2023-0943	Business Process Management Journal
JOLLY S.; <i>et al.</i>	2023	Renewable energy and industrial development in pioneering and lagging regions the offshore wind industry in southern Denmark and normandy	10.1093/ooenergy/oia010	Oxford Open Energy
KARLSEN A.	2018	Framing industrialization of the offshore wind value chain a discourse approach to an event	10.1016/j.geoforum.2017.11.018	Geoforum
KELLER M.; NEGOITA M.	2013	Correcting network failures the evolution of us innovation policy in the wind and advanced battery industries	10.1179/1024529413Z.000000000041	Competition and Change

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

Tabela A2 – Artigos selecionados para a revisão crítica e sistemática da literatura (continuação)

LACAL-ARANTEGUI R.	2019	Globalization in the wind energy industry contribution and economic impact of European companies	10.1016/j.renene.2018.10.087	Renewable Energy
LAM L.; <i>et al.</i>	2017	Chinas wind industry leading in deployment lagging in innovation	10.1016/j.enpol.2017.03.023	Energy Policy
LARSEN T.;HANSEN U.	2022	Sustainable industrialization in Africa the localization of wind turbine component production in South Africa	10.1080/2157930X.2020.1720937	Innovation and Development
LIU W.; <i>et al.</i>	2021	Exploring the patent collaboration network of Chinas wind energy industry a study based on patent data from CNIPA	10.1016/j.rser.2021.110989	Renewable & Sustainable Energy Reviews
MÄKITIE T.; <i>et al.</i>	2019	The green flings Norwegian oil and gas industry’s engagement in offshore wind power	10.1016/j.enpol.2018.12.015	Energy Policy
MOLDVAY J;HAMANN R;FAY J	2013	Assessing opportunities and constraints related to different models for supplying wind turbines to the South African wind energy industry	10.1080/0376835X.2013.817305	Development Southern Africa
NILSEN T.; NJOS R.	2022	Emergence of new industries in peripheral regions the role of narratives in delegitimation of onshore wind in the arctic Finnmark region	10.1080/21681376.2022.2122863	Regional Studies Regional Science
NOWAKOWSKI G.; LOOMIS D.	2023	The power of economies of scale a wind industry case study	10.13052/speel048-5236.4234	Strategic Planning for Energy and the Environment
PANDIT R.; <i>et al.</i>	2021	Operational variables for improving industrial wind turbine yaw misalignment early fault detection capabilities using data driven techniques	10.1109/TIM.2021.3073698	IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement
STOERRING D.; HVELPLUND F.	2007	Wind energy development as a part of Poland industrial development	10.2298/TSCI0703101S	Thermal Science
VAN D.; <i>et al.</i>	2022	Developing local industries and global value chains the case of offshore wind	10.1016/j.techfore.2021.121248	Technological Forecasting and Social Change
WANG Y.;	2023	Sustainable development pathways of Chinas wind power industry under uncertainties perspective from economic benefits and technical potential	10.1016/j.enpol.2023.113737	Energy Policy
WU L.; LI H.	2017	Analysis of the development of the wind power industry in China from the perspective of the financial support	10.1186/s13705-017-0140-1	Energy Sustainability and Society
YU S.; <i>et al.</i>	2021	Determinants of overcapacity in Chinas renewable energy industry evidence from wind photovoltaic and biomass energy enterprises	10.1016/j.eneco.2020.105056	Energy Economics
YUSTA J.; LACAL-ARANTEGUI R.	2020	Measuring the internationalization of the wind energy industry	10.1016/j.renene.2020.05.053	Renewable Energy
ZHANG J.; GUAN J.	2019	The impact of competition strength and density on performance the technological competition networks in the wind energy industry	10.1016/j.indmarman.2019.01.011	Industrial Marketing Management

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

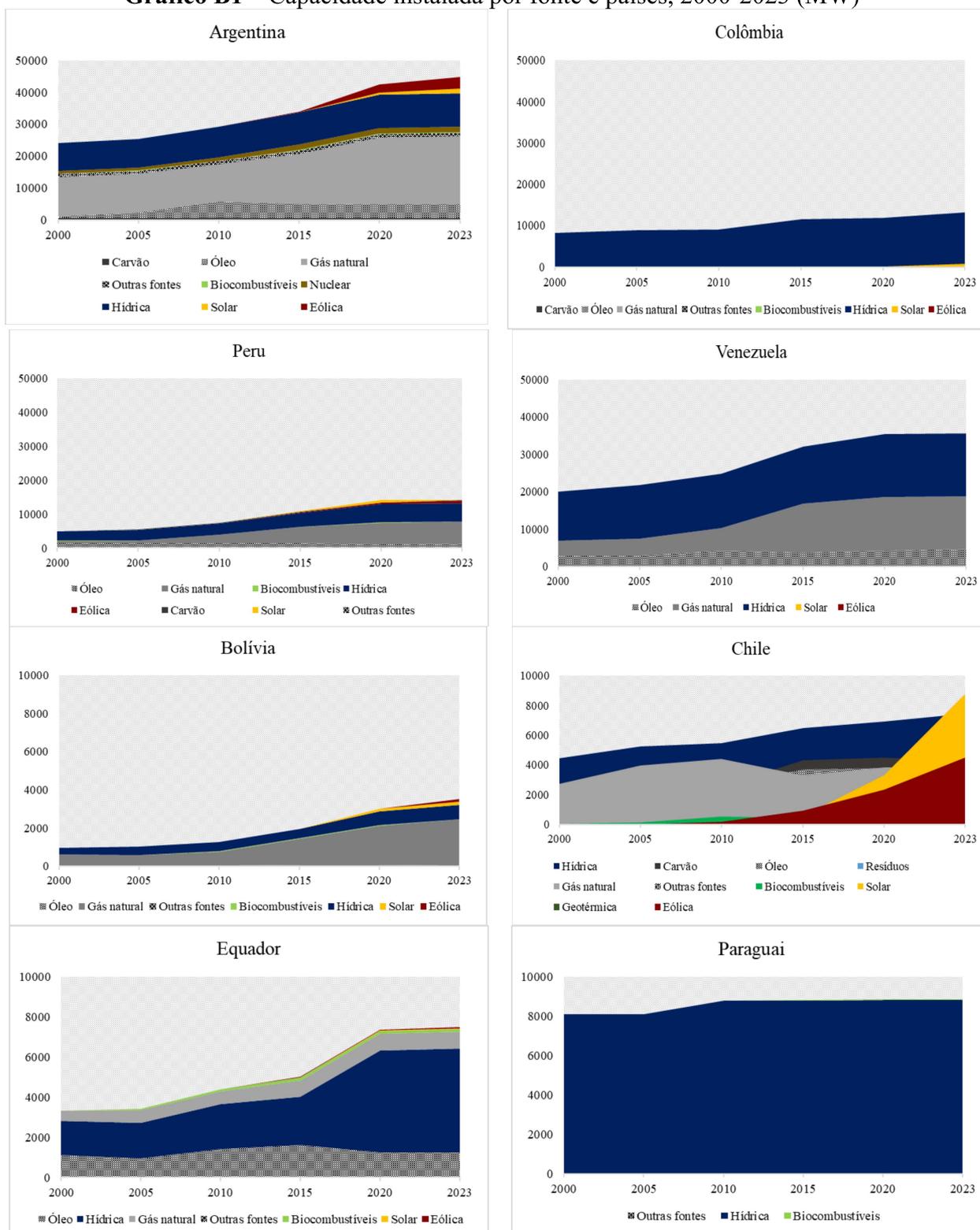
Tabela A2 – Artigos selecionados para a revisão crítica e sistemática da literatura (continuação)

BARBASTEFAN O R.; <i>et al.</i>	2021	Technological patterns in the wind power industry a study based on patent deposits	10.1590/0103- 6513.20210051	Production
GEBAUER H.; BINZ C.	2019	Regional benefits of servitization processes evidence from the wind to energy industry	10.1080/00343404.20 18.1479523	Regional Studies
SMITH K.	2011	The Danish wind industry lessons for the British marine energy industry	10.3723/ut.30.027	Underwater Technology
ZHAO Z.; <i>et al.</i>	2009	Performance of wind power industry development in China a diamond model study	10.1016/j.renene.2009 .06.008	Renewable Energy

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

APÉNDICE B

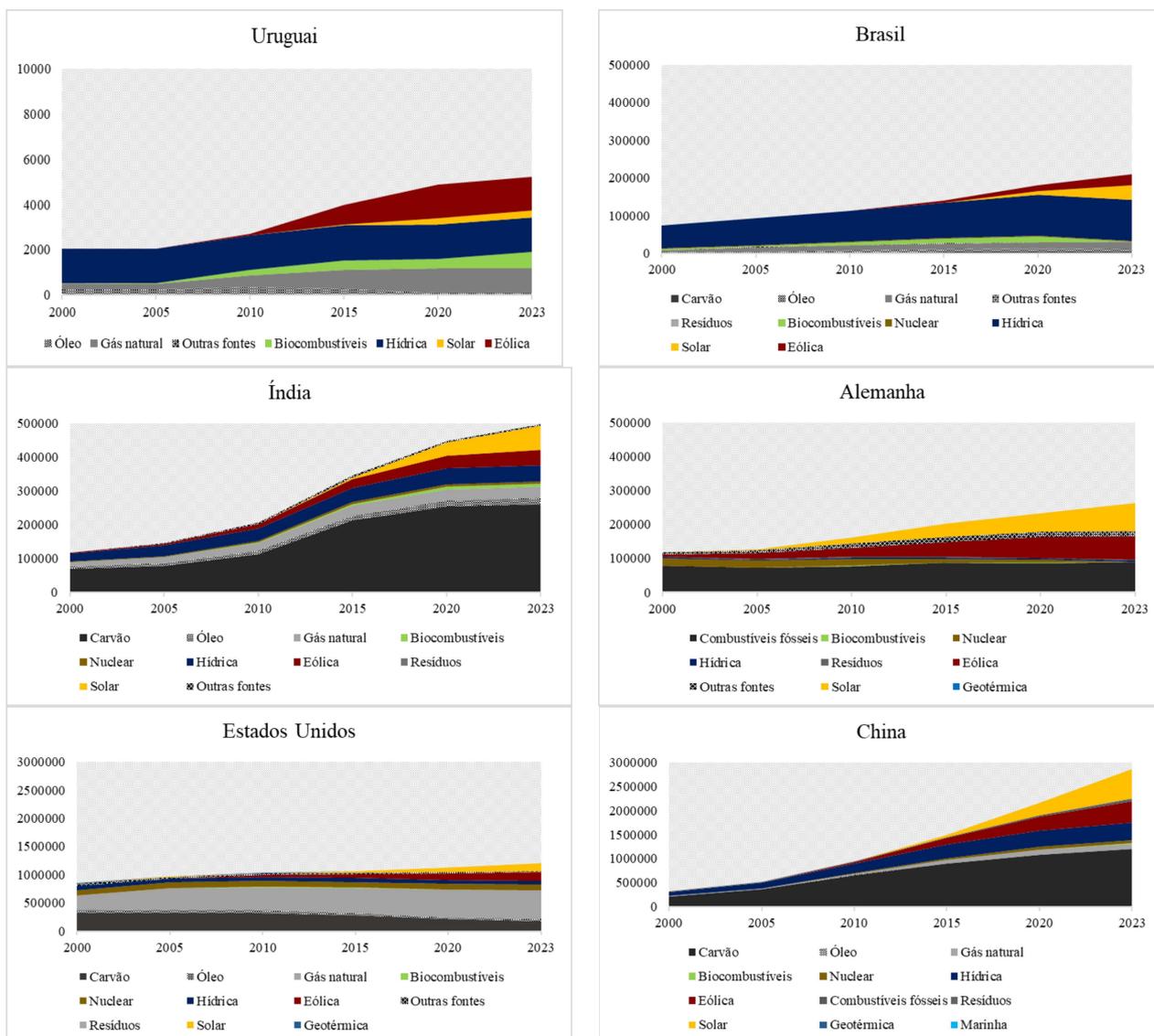
Gráfico B1 – Capacidade instalada por fonte e países, 2000-2023 (MW)⁶⁵



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

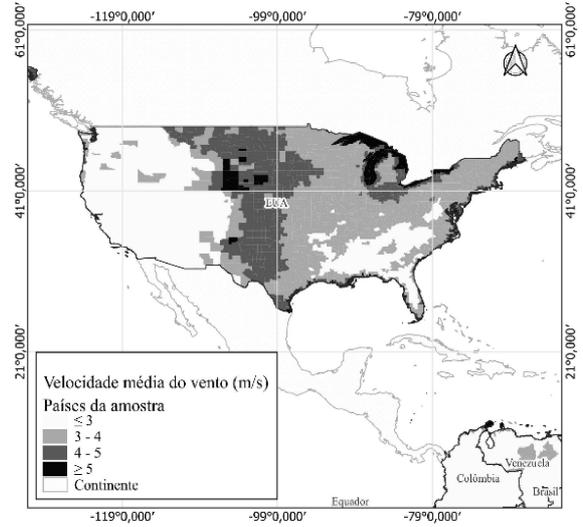
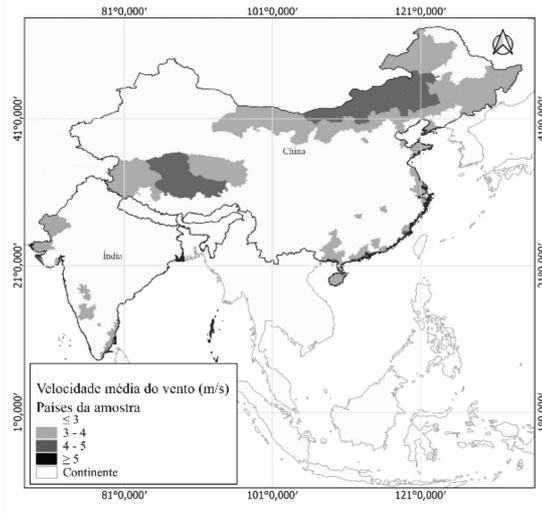
⁶⁵ Para fins de representatividade gráfica, alguns países (Argentina, Bolívia, Uruguai e Venezuela) tiveram uma escala menor no eixo vertical na plotagem.

Gráfico B1 – Capacidade instalada por fonte e países, 2000-2023 (MW) (continuação)

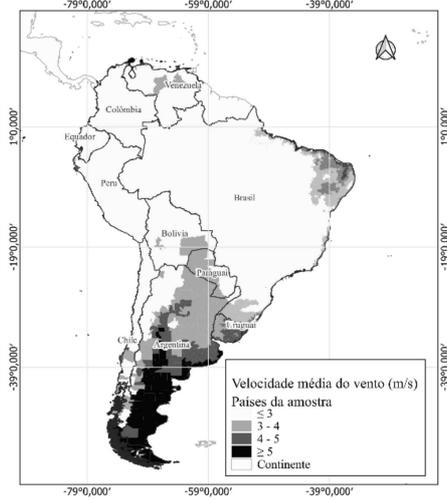


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da IRENA (2024).

Mapa B1 – Velocidade média do vento de 30 metros, por país (2020)

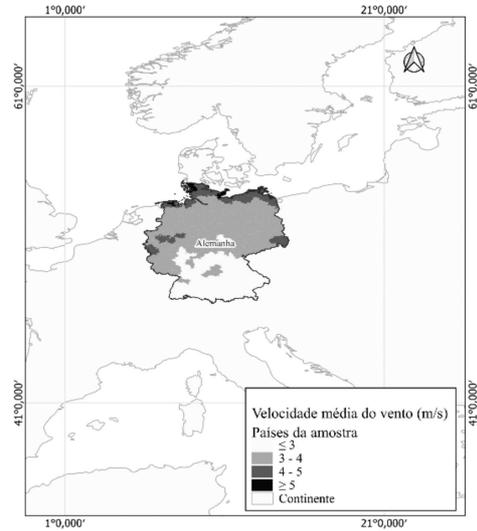


a. Índia e China



c. Brasil

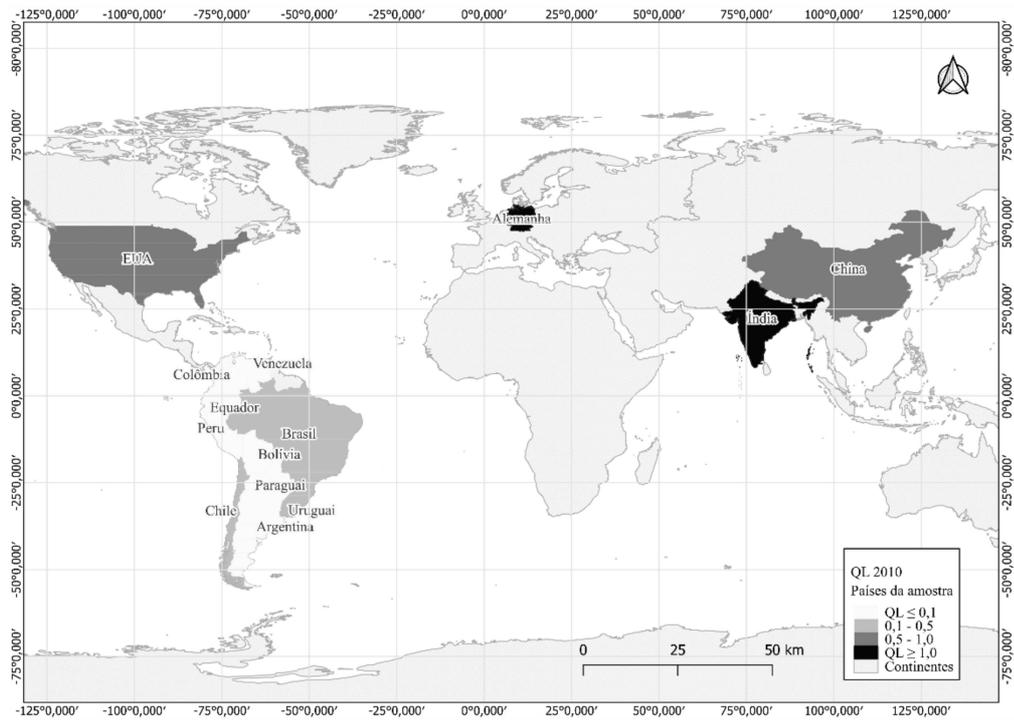
b. Estados Unidos



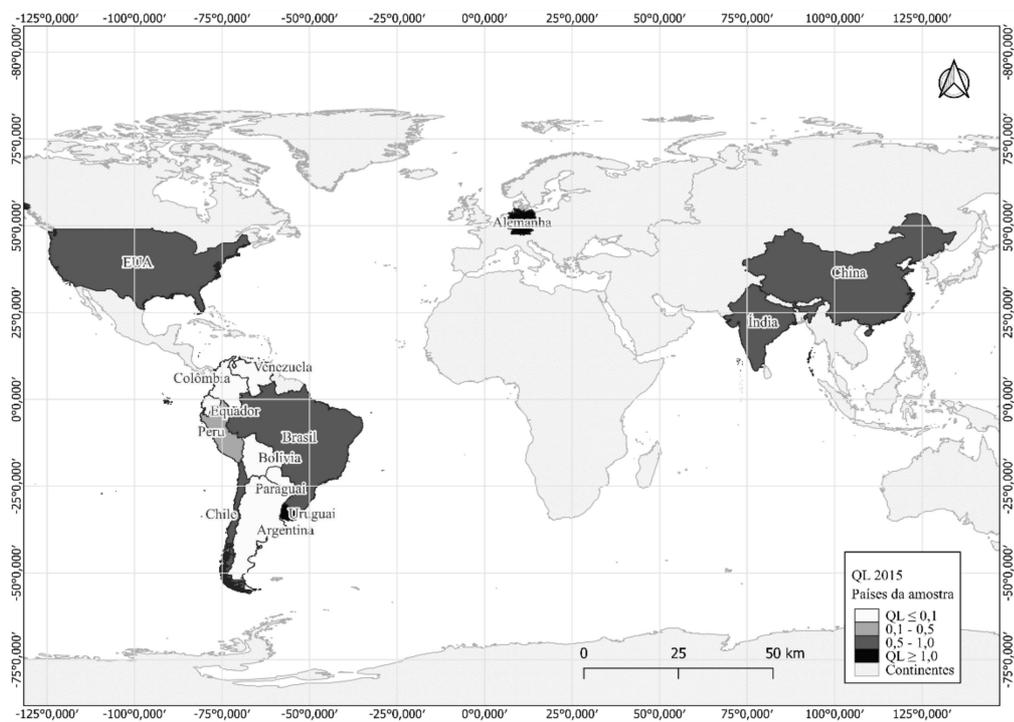
d. Alemanha

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

Mapa B2 – Especialização em energia eólica, 2010 e 2015 (GW)



a. Amostra 2010



b. Amostra 2015

Fonte: Elaboração própria.

Tabela B1 – Melhores indicadores do PCA, de acordo com o Modelo 1

Variáveis	Amostra 2010		Amostra 2015		Amostra 2020	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Combustíveis fósseis (1)	0,4245***	-0,1005	0,4285***	-0,2229	0,4296***	-0,2426
Emissões CO2 industrial (2)	0,4497***	-0,1401	0,4332***	-0,1784	0,4474***	-0,1589
Densidade populacional (3)	0,371***	0,1174	0,3672	0,4129***	0,3978***	0,2078
PIB (4)	0,4383***	-0,0831	0,4271***	-0,2302	0,4553***	-0,1635
Investimento energia (5)	0,334	-0,1643	0,3072	-0,1935	0,2183	0,535***
Importação combustíveis fósseis (6)	0,081	0,9421***	0,2223	0,8109***	0,109	0,7448***
Patentes (7)	0,4119***	0,1871	0,4095***	-0,0033	0,4362***	-0,0707
Autovalor	4,53028	1,04742	4,90065	1,04259	4,56001	1,18486
Proporção da variância total	64,72%	14,96%	70,01%	14,89%	65,14%	16,93%
Teste Alpha	0,8873	0,8873	0,8873	0,8873	0,8705	0,8705
KMO	0,7213	0,7213	0,6817	0,6817	0,6594	0,6594

Variáveis	Obs.	Amostra 2010				Obs.	Amostra 2015				Obs.	Amostra 2020			
		Média	DP	Min.	Máx.		Média	DP	Min.	Máx.		Média	DP	Min.	Máx.
Combustíveis fós, (1)	14	9,0149	3,5949	-0,8723	13,6084	14	9,6096	2,7394	3,6742	13,8287	14	9,7165	2,7501	3,7237	14,0601
Emissões CO2 indust, (2)	14	3,0065	2,7232	-1,9045	7,9530	14	3,1182	2,5658	-1,1218	8,0050	14	2,9214	2,6900	-1,7910	7,9560
Densidade pop. (3)	14	3,6599	1,1110	2,2406	6,0360	14	3,7074	1,1044	2,3192	6,1018	14	3,7483	1,1003	2,3895	6,1565
PIB (4)	14	26,7165	2,0793	23,7013	30,3423	13	26,9492	2,1087	24,2198	30,5377	13	26,9651	2,1801	24,2909	30,6923
Invest. energ. (5)	14	4,1822	3,2392	-1,3655	9,1019	12	3,8501	3,0075	-1,0443	8,9850	11	3,4367	2,9463	-1,2922	7,9472
Importação comb. fós. (6)	14	2,4871	0,8702	-0,0907	3,4552	13	2,5364	0,3323	2,1539	3,2876	13	2,3282	0,4934	1,6212	3,3449
Patentes (7)	14	2,2089	2,7297	0,0000	7,3963	14	2,0410	2,6739	0,0000	6,8684	14	1,9614	2,7233	0,0000	6,9103

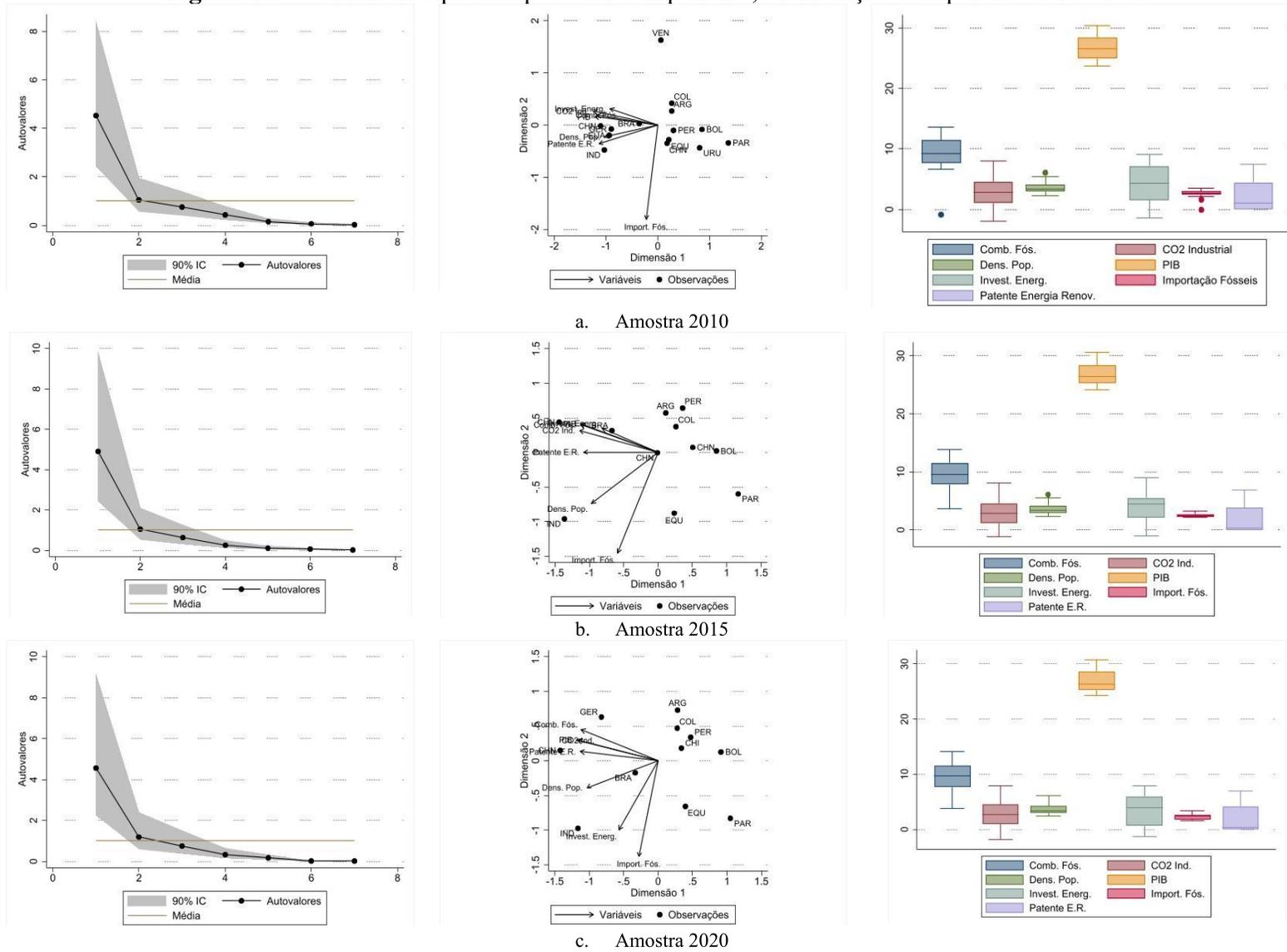
Fonte: Elaboração própria.

Quadro B1 – Matriz de correlação – América do Sul e *players* do mercado (Modelo 1)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Modelo 2010	Combustíveis fósseis (1)	1					
	Emissões CO2 industrial (2)	0,913*	1				
	Densidade populacional (3)	0,5628*	0,6542*	1			
	PIB (4)	0,8424*	0,9319*	0,5991*	1		
	Investimento energia (5)	0,6092*	0,6403*	0,6608*	0,5292	1	
	Importação combustíveis fósseis (6)	0,0971	0,0426	0,1976	0,0651	0,0429	1
	Patentes (7)	0,725*	0,8051*	0,6729*	0,8898*	0,369	0,2654
Modelo 2015	Combustíveis fósseis (1)	1					
	Emissões CO2 industrial (2)	0,9663*	1				
	Densidade populacional (3)	0,6876*	0,7228*	1			
	PIB (4)	0,928*	0,9704*	0,6721*	1		
	Investimento energia (5)	0,6777*	0,5602	0,3654	0,613*	1	
	Importação combustíveis fósseis (6)	0,2792	0,3009	0,6505	0,2639	0,2893	1
	Patentes (7)	0,8145*	0,8717*	0,6857*	0,8647*	0,5005	0,4312
Modelo 2020	Combustíveis fósseis (1)	1					
	Emissões CO2 industrial (2)	0,982*	1				
	Densidade populacional (3)	0,6699*	0,7055*	1			
	PIB (4)	0,9264*	0,9591*	0,7417*	1		
	Investimento energia (5)	0,1757	0,3125	0,4504	0,414	1	
	Importação combustíveis fósseis (6)	0,1159	0,15	0,3337	0,0493	0,258	1
	Patentes (7)	0,8043*	0,8457*	0,7804*	0,9239*	0,3804	0,1367

Fonte: Elaboração própria.

Figura B1 – Variância explicada por cada componente, distribuição e dispersão – Modelo 1



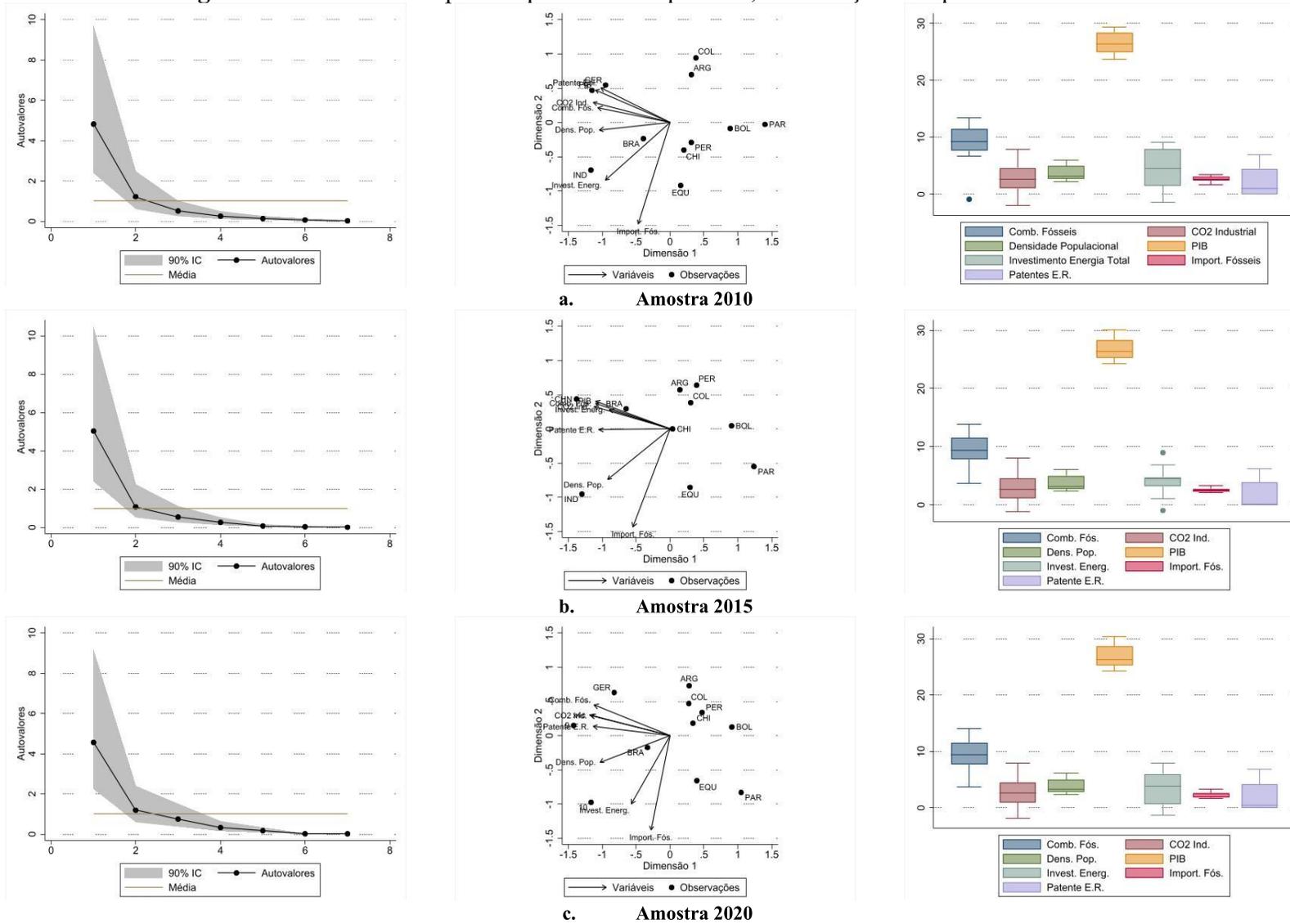
Fonte: Elaboração própria.

Quadro B2 – Matriz de correlação – América do Sul e *players* do mercado (Modelo 2)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Modelo 2010	Combustíveis fósseis (1)	1					
	Emissões CO2 industrial (2)	0,924*	1				
	Densidade populacional (3)	0,6142*	0,7054*	1			
	PIB (4)	0,8233*	0,9326*	0,7049*	1		
	Investimento energia (5)	0,6725*	0,6407*	0,6864*	0,5873	1	
	Importação combustíveis fósseis (6)	0,2077	0,2391	0,3687	0,127	0,6613*	1
	Patentes (7)	0,6898*	0,8158*	0,8282*	0,8663*	0,4871	0,1818
Modelo 2015	Combustíveis fósseis (1)	1					
	Emissões CO2 industrial (2)	0,9769*	1				
	Densidade populacional (3)	0,6753*	0,7163*	1			
	PIB (4)	0,9275*	0,9691*	0,6581*	1		
	Investimento energia (5)	0,7669*	0,7147*	0,4289	0,7395*	1	
	Importação combustíveis fósseis (6)	0,2605	0,2757	0,6432	0,2387	0,332	1
	Patentes (7)	0,8139*	0,8968*	0,6807*	0,8764*	0,547	0,4229
Modelo 2020	Combustíveis fósseis (1)	1					
	Emissões CO2 industrial (2)	0,982*	1				
	Densidade populacional (3)	0,6699*	0,7055*	1			
	PIB (4)	0,9264*	0,9591*	0,7417*	1		
	Investimento energia (5)	0,1757	0,3125	0,4504	0,414	1	
	Importação combustíveis fósseis (6)	0,1159	0,15	0,3337	0,0493	0,258	1
	Patentes (7)	0,8043*	0,8457*	0,7804*	0,9239*	0,3804	0,1367

Fonte: Elaboração própria.

Figura B2 – Variância explicada por cada componente, distribuição e dispersão – Modelo 2



Fonte: Elaboração própria.

Tabela B3 – Componentes Principais (PCA) – América do Sul e *players* do mercado (Modelo 3)

Variáveis	Amostra 2010				Amostra 2015				Amostra 2020			
	C1		C2		C1		C2		C1		C2	
Combustíveis fósseis (1)	0,4114***		-0,1123		0,4302***		-0,1965		0,4289***		-0,2468	
Emissões CO2 industrial (2)	0,437***		-0,1617		0,429***		-0,2279		0,4468***		-0,1626	
Densidade populacional (3)	0,3936***		0,073		0,3523***		0,3907***		0,3984***		0,2116	
PIB (4)	0,4261***		-0,2558		0,4191***		-0,2929		0,4548***		-0,1652	
Investimento energias renováveis (5)	0,3275		0,4529***		0,3181***		0,0817		0,2206		0,5411***	
Importação combustíveis fósseis (6)	0,1719		0,7989***		0,2406		0,8052***		0,1095		0,7368***	
Patentes energias renováveis (7)	0,4081***		-0,2169		0,4148***		-0,1261		0,4361***		-0,0704	
Autovalor	4,68591		1,16063		5,0602		1,02184		4,56404		1,19501	
Proporção da variância total	66,94%		16,58%		72,29%		14,60%		65,20%		17,07%	
Teste Alpha	0,9073		0,9073		0,9122		0,9122		0,8878		0,8878	
KMO	0,7018		0,7018		0,6812		0,6812		0,6553		0,6553	

Variáveis	Obs.	Amostra 2010				Obs.	Amostra 2015				Obs.	Amostra 2020			
		Média	D.P.	Min.	Máx.		Média	D.P.	Min.	Máx.		Média	D.P.	Min.	Máx.
Comb. fós. (1)	11	8,7599	3,7701	-0,8723	13,4925	11	9,4443	2,7613	3,6742	13,8287	11	9,5712	2,7912	3,7237	14,0601
CO2 ind. (2)	11	2,9910	2,7125	-1,9045	7,9530	11	3,1698	2,5630	-1,1218	8,0050	11	3,0035	2,7096	-1,7910	7,9560
Dens. Pop. (3)	11	3,7535	1,2404	2,2406	6,0360	11	3,8040	1,2305	2,3192	6,1018	11	3,8588	1,2203	2,3895	6,1565
PIB (4)	11	26,5938	1,9442	23,7013	29,4372	11	26,8203	1,8864	24,2198	30,0345	11	26,8316	1,9454	24,2909	30,3180
Invest. energ. renov. (5)	11	3,5174	3,3635	-2,3850	7,9415	9	4,5167	2,0389	0,8977	7,9597	11	3,3987	2,8854	-1,2922	7,5374
Import. comb. fós. (6)	11	2,6374	0,5021	1,6356	3,4552	11	2,5762	0,3408	2,1539	3,2876	11	2,3770	0,4972	1,6212	3,3449
Patentes (7)	11	2,1128	2,4756	0,0000	6,9341	11	1,9102	2,5193	0,0000	6,2263	11	1,9046	2,6078	0,0000	6,9103

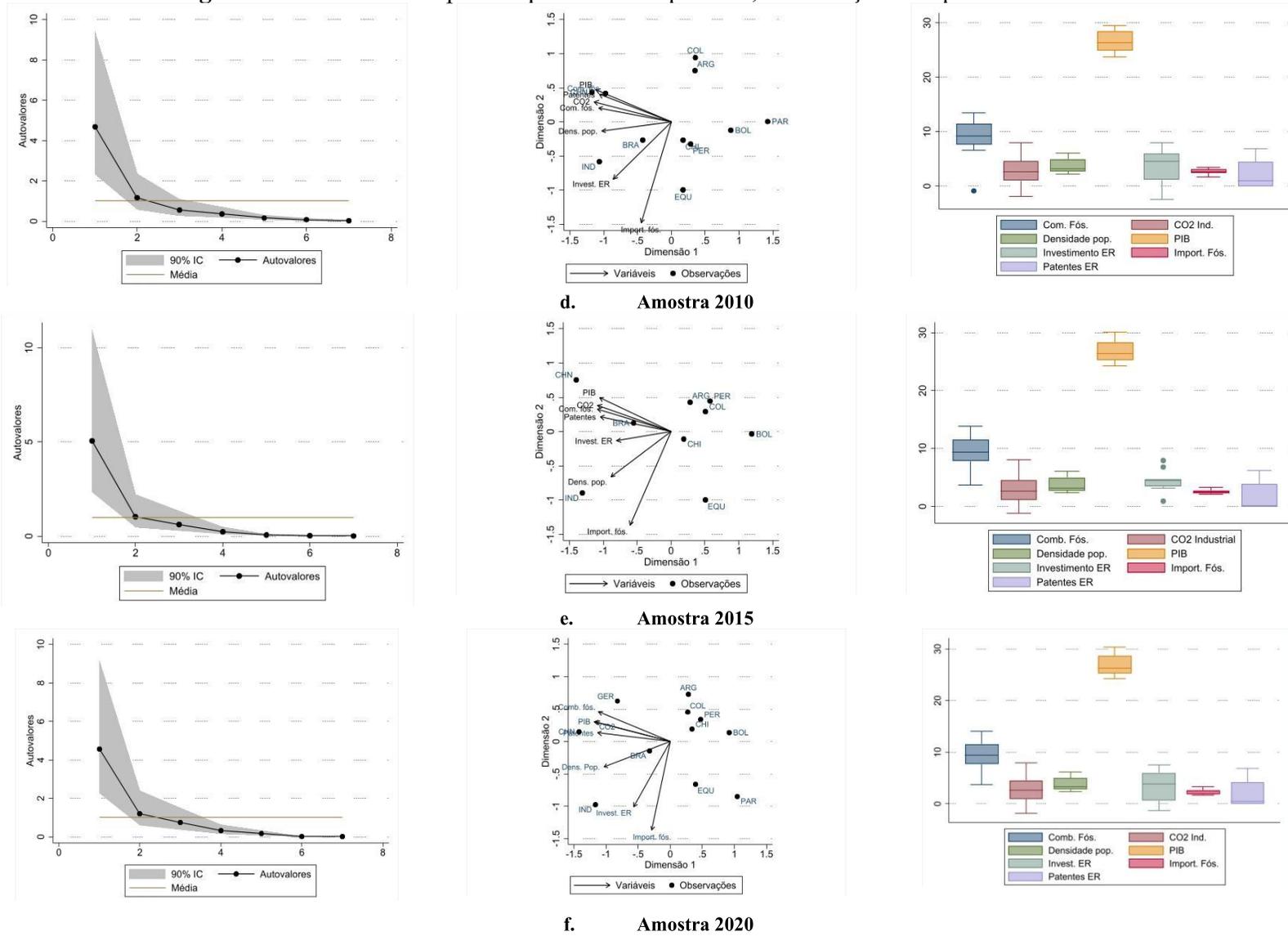
Fonte: Elaboração própria.

Quadro B3 – Matriz de correlação – América do Sul e *players* do mercado (Modelo 3)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Modelo 2010	Combustíveis fósseis (1)	1					
	Emissões CO2 industrial (2)	0,924*	1				
	Densidade populacional (3)	0,6142*	0,7054*	1			
	PIB (4)	0,8233*	0,9326*	0,7049*	1		
	Investimento energias renováveis (5)	0,6199*	0,5538	0,5743	0,5235	1	
	Importação combustíveis fósseis (6)	0,2077	0,2391	0,3687	0,127	0,5196	1
	Patentes energias renováveis (7)	0,6898*	0,8158*	0,8282*	0,8663*	0,4204	0,1818
Modelo 2015	Combustíveis fósseis (1)	1					
	Emissões CO2 industrial (2)	0,9752*	1				
	Densidade populacional (3)	0,7024*	0,7051*	1			
	PIB (4)	0,9642*	0,9701*	0,623*	1		
	Investimento energias renováveis (5)	0,6209	0,5947	0,4086	0,691*	1	
	Importação combustíveis fósseis (6)	0,3671	0,3336	0,67	0,268	0,4601	1
	Patentes energias renováveis (7)	0,7913*	0,9439*	0,6591*	0,884*	0,5424	0,4368
Modelo 2020	Combustíveis fósseis (1)	1					
	Emissões CO2 industrial (2)	0,982*	1				
	Densidade populacional (3)	0,6699*	0,7055*	1			
	PIB (4)	0,9264*	0,9591*	0,7417*	1		
	Investimento energias renováveis (5)	0,1737	0,312	0,4674	0,4141	1	
	Importação combustíveis fósseis (6)	0,1159	0,15	0,3337	0,0493	0,2658	1
	Patentes energias renováveis (7)	0,8043*	0,8457*	0,7804*	0,9239*	0,3864	0,1367

Fonte: Elaboração própria.

Figura B3 – Variância explicada por cada componente, distribuição e dispersão – Modelo 3



Fonte: Elaboração própria.

Tabela B4 – Configurações lógicas e suficientes da análise QCA

Modelo 2																	
Amostra 2010						Amostra 2015						Amostra 2020					
Consistência Y vs. Consistência N						Consistência Y vs. Consistência N						Consistência Y vs. Consistência N					
Config.	Y	N	F	P	N. países	Config.	Y	N	F	P	N. países	Config.	Y	N	F	P	N. países
vid	0,485	0,8	4,32	0,064	1	vid	0,527	0,8	4,25	0,069	2	vid	0,68	0,8	1,27	0,286	1
viD	0,346	0,8	6,25	0,031	1	viD	0,541	0,8	5,18	0,049	2	viD	0,607	0,8	2,31	0,159	2
vId	0,789	0,8	0	0,948	0	vId	0,885	0,8	0,58	0,465	1	vId	0,773	0,8	0,02	0,887	1
vID	0,631	0,8	0,86	0,375	1	vID	0,84	0,8	0,15	0,71	0	vID	0,929	0,8	6,24	0,032	1
Vid	0,421	0,8	5,73	0,038	2	Vid	0,745	0,8	0,17	0,692	0	Vid	0,917	0,8	3,89	0,077	1
ViD	0,5	0,8	2,33	0,158	0	ViD	0,567	0,8	1,04	0,333	1	ViD	0,625	0,8	0,54	0,48	1
VId	0,918	0,8	3,15	0,106	2	VId	0,926	0,8	3,91	0,079	2	VId	1	0,8	,	,	1
VID	0,833	0,8	0,09	0,771	1	VID	0,97	0,8	49,01	0	1	VID	1	0,8	,	,	0
Consistência Y vs. todas as outras consistências Y						Consistência Y vs. todas as outras consistências Y						Consistência Y vs. todas as outras consistências Y					
Config.	Y	N	F	P	N. países	Config.	Y	N	F	P	N. países	Config.	Y	N	F	P	N. países
VId	0,918	0,489	18,23	0,002	2	vid	0,885	0,597	6,94	0,027	1	vID	0,929	0,636	7,61	0,02	1
VID	0,833	0,536	12,67	0,005	1	vID	0,84	0,605	5,64	0,042	0	Vid	0,917	0,647	7,3	0,022	1
						VId	0,926	0,603	5,13	0,05	2	VID	1	0,625	8,45	0,016	1
						VID	0,97	0,594	8,51	0,017	1	VID	1	0,657	7,41	0,021	0
Modelo 3																	
Consistência Y vs. Consistência N						Consistência Y vs. Consistência N						Consistência Y vs. Consistência N					
Config.	Y	N	F	P	N. países	Config.	Y	N	F	P	N. países	Config.	Y	N	F	P	N. países
vid	0,525	0,8	3,2	0,104	1	vid	0,57	0,8	3,2	0,111	2	vid	0,68	0,8	1,27	0,286	1
viD	0,36	0,8	5,63	0,039	1	viD	0,554	0,8	4,32	0,071	2	viD	0,607	0,8	2,31	0,159	2
vId	0,842	0,8	0,12	0,735	0	vId	0,845	0,8	0,1	0,764	0	vId	0,773	0,8	0,02	0,887	1
vID	0,596	0,8	1,11	0,317	2	vID	0,866	0,8	0,26	0,624	0	vID	0,929	0,8	6,24	0,032	1
Vid	0,442	0,8	4,83	0,053	2	Vid	0,828	0,8	0,11	0,752	0	Vid	0,917	0,8	3,89	0,077	1
ViD	0,522	0,8	1,94	0,194	0	ViD	0,882	0,8	0,62	0,453	0	ViD	0,625	0,8	0,54	0,48	1
VId	0,918	0,8	3,24	0,102	2	VId	0,947	0,8	9,73	0,014	1	VId	1	0,8	,	,	1
VID	0,826	0,8	0,05	0,824	0	VID	0,987	0,8	333,83	0	1	VID	1	0,8	,	,	0
Consistência Y vs. todas as outras consistências Y						Consistência Y vs. todas as outras consistências Y						Consistência Y vs. todas as outras consistências Y					
Config.	Y	N	F	P	N. países	Config.	Y	N	F	P	N. países	Config.	Y	N	F	P	N. países
vId	0,842	0,528	10,4	0,009	0	VId	0,947	0,651	6,83	0,031	1	vID	0,929	0,636	7,61	0,02	1
VId	0,918	0,481	20,33	0,001	2	VID	0,987	0,653	9,19	0,016	1	Vid	0,917	0,647	7,3	0,022	1
VID	0,826	0,528	16,6	0,002	0							VId	1	0,625	8,45	0,016	1
												VID	1	0,657	7,41	0,021	0

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE C

Tabela C1 – Estatísticas descritivas das variáveis

	Obs	Média	DP	Min	Max	Obs	Média	DP	Min	Max	Obs	Média	DP	Min	Max
	Amostra 1					Amostra 2					Amostra 3				
(1) VA Ind.	5160	1048006	6563230	135.5549	1.08E+08	8100	605755.7	4883276	135.5549	1.08E+08	10400	462898.6	4300331	135.5549	1.08E+08
(2) VA Agr.	5160	44524.74	79624.95	597.4131	1123714	8100	42859.64	80665.37	597.4131	1123714	10400	36903.53	70034.58	597.4131	1123714
(3) VA Serv.	5160	3854476	3.30E+07	1527.493	5.80E+08	8100	2409594	2.64E+07	1527.493	5.80E+08	10400	1895525	2.33E+07	1448.119	5.80E+08
(4) VA Adm	5160	699465.1	4342454	6212.292	5.83E+07	8100	462837.3	3466966	6212.292	5.83E+07	10400	373055.8	3064032	6212.292	5.83E+07
(5) VA Total	5160	5646472	4.30E+07	9498.295	7.30E+08	8100	3521047	3.42E+07	9498.295	7.30E+08	10400	2768383	3.02E+07	9498.295	7.30E+08
(6) Emp. Ind.	5160	4068.556	29652.42	0	542927	8100	2693.742	23730.39	0	542927	10400	2139.594	20953.47	0	542927
(7) Emp. Agr.	5160	294.4074	1074.037	0	23779	8100	223.5099	881.9581	0	23779	10400	171.6387	790.124	0	23779
(8) Emp. Const.	5160	2239.65	18033.74	0	342064	8100	1383.81	14297.33	0	342064	10400	1095.618	12636.68	0	342064
(9) Emp. Com/Serv.	5160	7052.575	55690.92	0	1168043	8100	4426.127	44365.45	0	1168043	10400	3527.635	39183.24	0	1168043
(10) Emp. Adm.	5160	12146.89	89826.68	0	1554496	8100	7659.007	71238.27	0	1554496	10400	6085.994	62997.89	0	1554496
(11) Emp. Total	5160	47664.73	340232.6	3	6302607	8100	29989.5	271092.5	1	6302607	10400	23655.68	239509.6	1	6302607
(12) BNDES	5160	1.35E+07	9.24E+07	0	1.62E+09	8100	8582999	7.40E+07	0	1.62E+09	10400	6684836	6.54E+07	0	1.62E+09
(13) CH Médio	5160	0.5401068	0.149978	0.031662	0.9913793	8100	0.5257236	0.1494836	0	0.9913793	10400	0.5198705	0.1481596	0	1
(14) CH Alto	5160	0.1894632	0.1202572	0	0.9077307	8100	0.1962005	0.1248621	0	0.9078947	10400	0.197709	0.1219493	0	0.9459459
(15) CH*	5160	0.1667692	0.1207931	0	0.9472296	8100	0.1718177	0.1242923	0	0.9472296	10400	0.1740866	0.1230452	0	0.9472296
(16) PIB	5160	6863475	5.29E+07	9666.189	8.88E+08	8100	4299701	4.22E+07	9666.189	8.88E+08	10400	3375973	3.73E+07	9666.189	8.88E+08
(17) Dens. Pop.	5160	257.5372	997.1934	1.957419	8654.923	8100	193.8873	890.5084	1.957419	9533.511	10400	154.4246	674.1524	1.403218	8654.923
(18) Metrop.	5160	0.255814	0.43636	0	1	8100	0.2098765	0.4072454	0	1	10400	0.2115385	0.4084189	0	1
(19) Região NE	5160	0.8449612	0.3619767	0	1	8100	0.854321	0.3528059	0	1	10400	0.8365385	0.369804	0	1
(20) Vel. Vento	5160	4.205148	0.8468582	1.660116	7.187215	8100	4.12367	0.759509	1.660116	7.088785	10400	4.058371	0.7299963	1.660116	7.187215
(21) QL VA	5160	0.7294299	0.9836731	0.000963	35.75176	8100	0.626093	0.8686079	0.0009626	35.75176	10400	0.5749282	0.7940549	0.0009626	35.75176
(22) QL Emp.	5160	1.062961	4.235134	0	63.7841	8100	0.9361598	4.239071	0	95.38152	10400	0.8195587	4.366577	0	95.38152

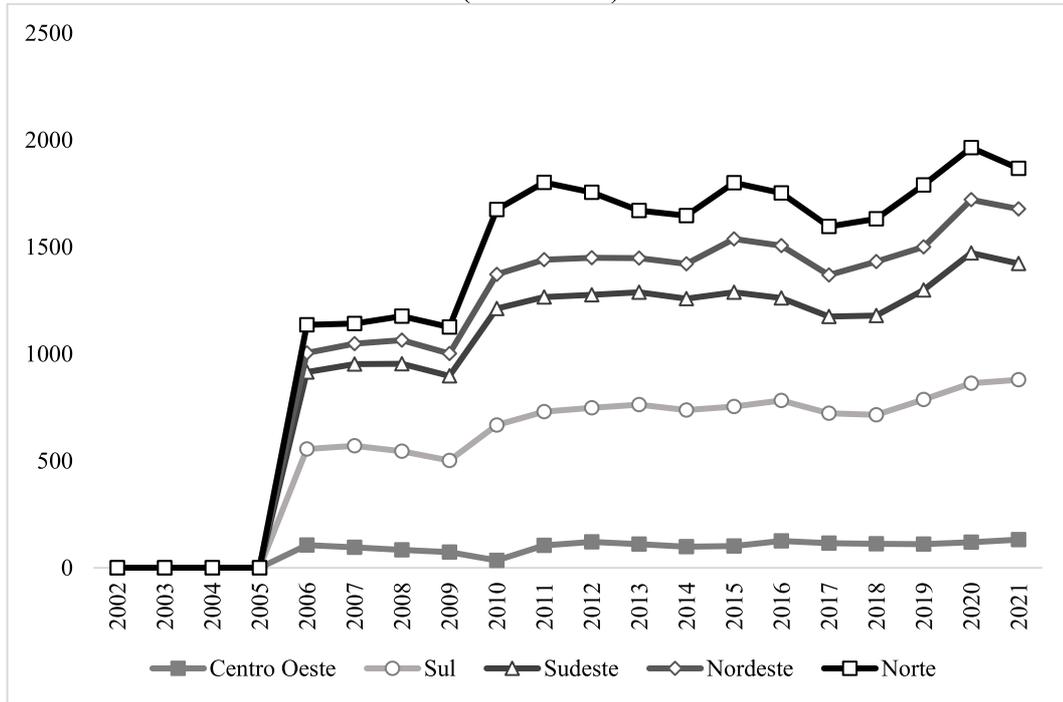
Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do software STATA (2024).

Tabela C2 – Matriz de correlação das variáveis do modelo

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
(1) VAI	1										
(2) VAA	0,0696	1									
(3) VAS	0,8941	0,0158	1								
(4) VAAdm	0,8714	0,0493	0,8918	1							
(5) VAT	0,9274	0,0293	0,9956	0,9196	1						
(6) EI	0,907	0,0206	0,9704	0,8879	0,9743	1					
(7) EA	0,219	0,7463	0,1826	0,1964	0,1948	0,2017	1				
(8) EC	0,8908	0,0184	0,9693	0,8986	0,9721	0,9597	0,2049	1			
(9) ECS	0,8905	0,0259	0,9885	0,9148	0,9886	0,9739	0,2051	0,9814	1		
(10) EAdm	0,8841	0,0173	0,9696	0,9301	0,9745	0,9603	0,2046	0,9747	0,9896	1	
(11) ET	0,8909	0,0198	0,9871	0,9226	0,9883	0,973	0,2005	0,983	0,999	0,9934	1
(12) BNDES	-0,013	0,0041	-0,0105	-0,0126	-0,0113	-0,0113	-0,0184	-0,0132	-0,013	-0,0149	-0,0132
(13) CH Médio	-0,0147	-0,0585	-0,0164	-0,014	-0,0164	-0,0109	-0,0642	-0,0093	-0,013	-0,0199	-0,0154
(14) CH Alto	0,0527	-0,1142	0,0664	0,0673	0,0657	0,0542	-0,0923	0,0665	0,07	0,0848	0,0734
(15) CH*	0,0473	-0,1207	0,0616	0,0606	0,0606	0,0487	-0,0995	0,0606	0,064	0,0781	0,0674
(16) PIB	0,9241	0,0269	0,9948	0,9264	0,9995	0,9744	0,1922	0,9713	0,988	0,9748	0,9883
(17) Dens. Pop.	0,6351	-0,0098	0,6487	0,7052	0,6667	0,704	0,2026	0,7452	0,7256	0,7656	0,7307
(18) Metrop.	0,1961	0,0379	0,1873	0,2252	0,1966	0,2351	0,1993	0,2229	0,2195	0,2357	0,2231
(19) Região NE	-0,2819	-0,3602	-0,2244	-0,2507	-0,2412	-0,2473	-0,1686	-0,2119	-0,2367	-0,2399	-0,235
(20) Vel. Vento	-0,182	-0,1079	-0,1616	-0,1824	-0,1705	-0,1865	-0,0171	-0,1533	-0,1693	-0,1722	-0,17
(21) QL VA	0,0312	-0,02	-0,0159	-0,0115	-0,0089	0,0043	0,016	-0,0124	-0,0154	-0,0197	-0,0155
(22) QL Emp.	0,0092	0,0115	0,006	0,0104	0,0071	0,0115	0,0041	0,0105	0,0107	0,0163	0,0119
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
(12) BNDES	1										
(13) CH Médio	0,014	1									
(14) CH Alto	0,0169	-0,4846	1								
(15) CH*	0,0173	-0,4836	0,9934	1							
(16) PIB	-0,0112	-0,0165	0,0656	0,0605	1						
(17) Dens, Pop.	-0,0286	0,0396	0,0504	0,04	0,6658	1					
(18) Metrop.	-0,0455	0,0105	-0,0609	-0,0665	0,1975	0,3725	1				
(19) Região NE	0,0009	0,0437	0,1017	0,1094	-0,2407	-0,1815	-0,117	1			
(20) Vel. Vento	0,0254	-0,0653	-0,0106	-0,0157	-0,1717	-0,1309	-0,0652	0,2714	1		
(21) QL VA	0,0986	-0,0051	-0,0214	-0,0263	-0,0103	0,0259	0,1175	0,037	0,1409	1	
(22) QL Emp.	0,0835	0,0383	0,0578	0,0595	0,0071	0,0188	-0,0162	-0,0418	0,0311	0,1506	1

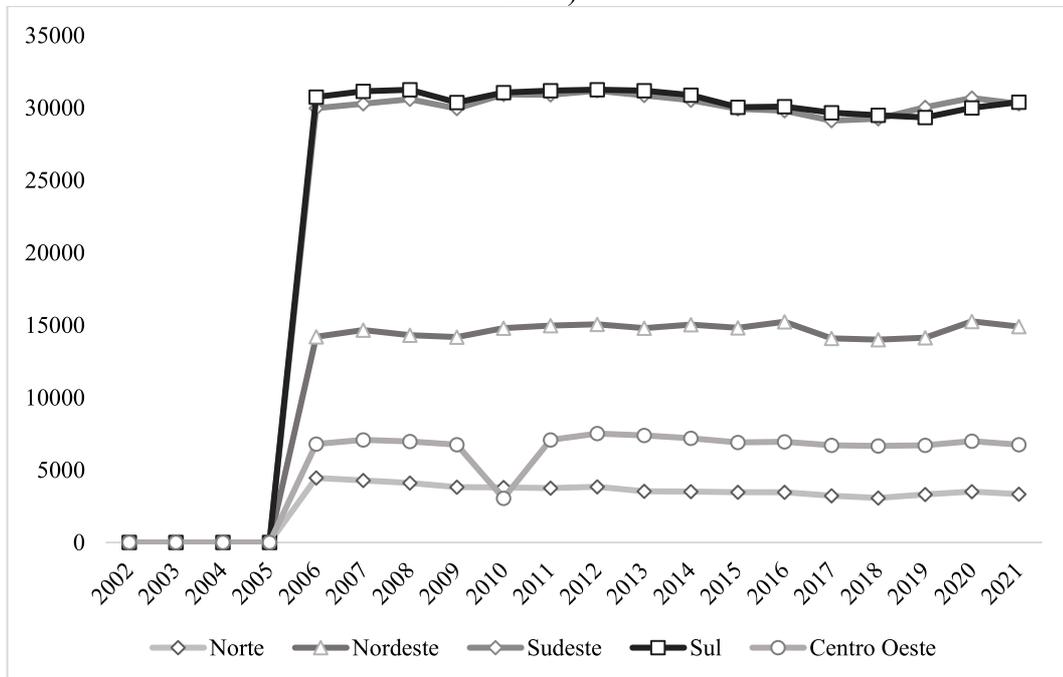
Fonte: Elaboração própria, 2024.

Gráfico C1 – Participação das atividades eólica no total das atividades industriais, Regional (2002-2021)



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados RAIS (2024).

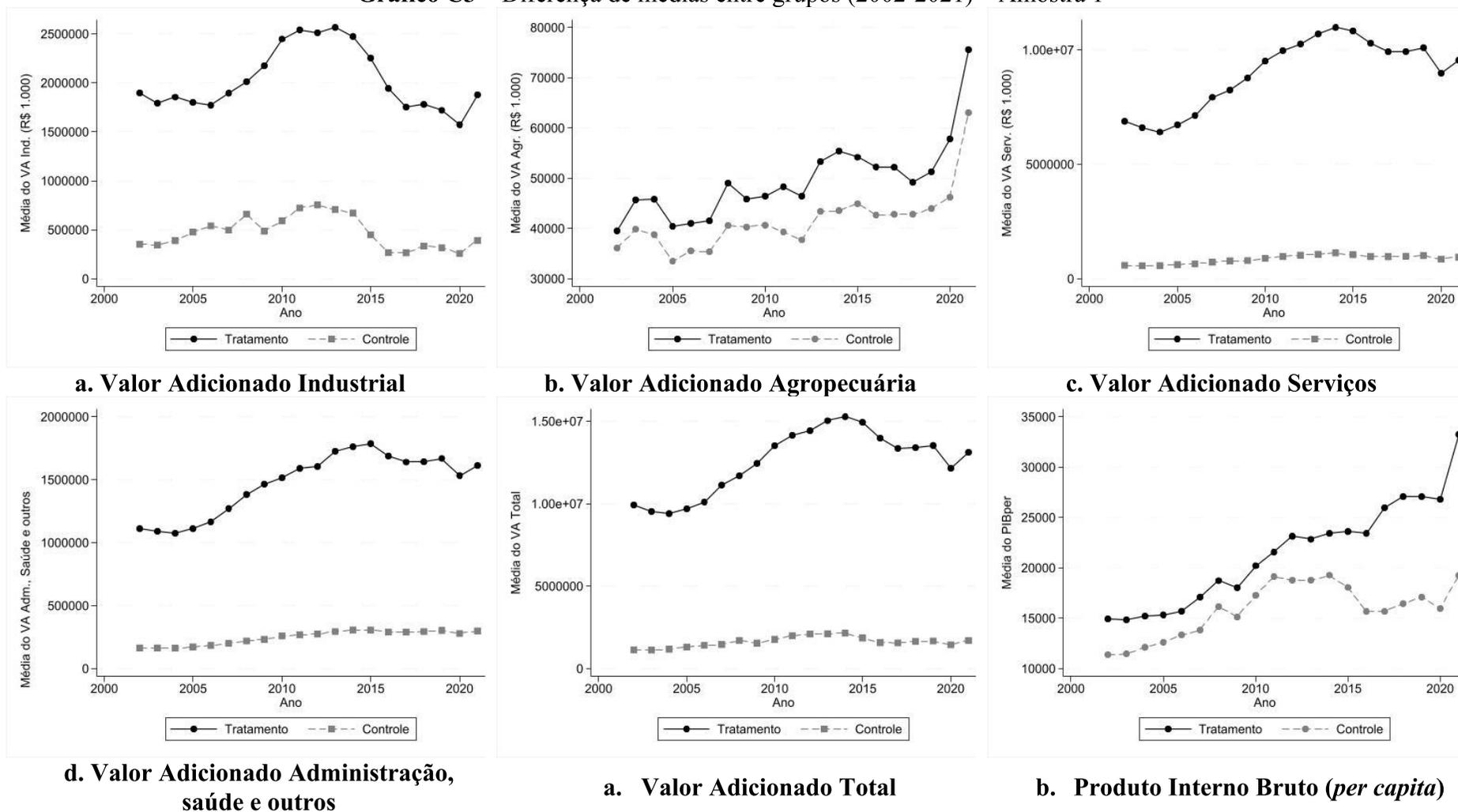
Gráfico C2 – Participação das atividades industriais no total das atividades, Regional (2002-2021)



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados RAIS (2024).

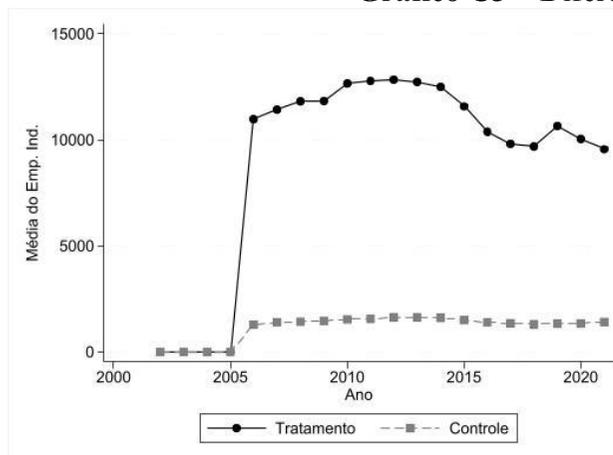
AMOSTRA 1

Gráfico C3 – Diferença de médias entre grupos (2002-2021) – Amostra 1

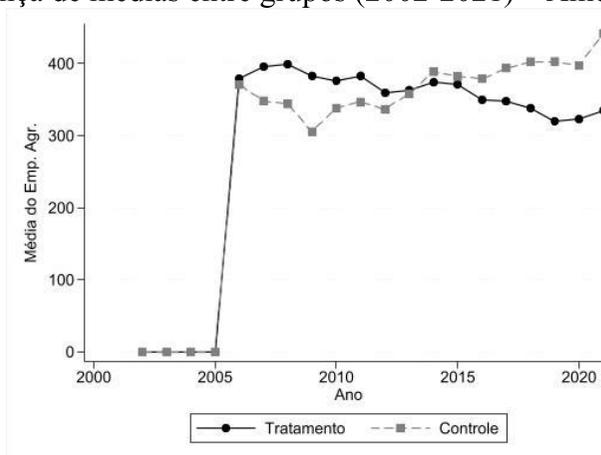


Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024). Nota¹: todas as variáveis estão em níveis e os gráficos apresentam diferentes escalas entre as figuras. Nota²: As variáveis de natureza monetária foram deflacionadas em relação ao ano de 2023.

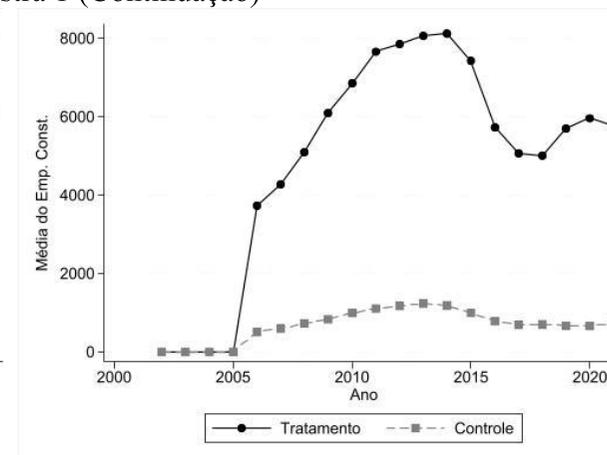
Gráfico C3 – Diferença de médias entre grupos (2002-2021) – Amostra 1 (Continuação)



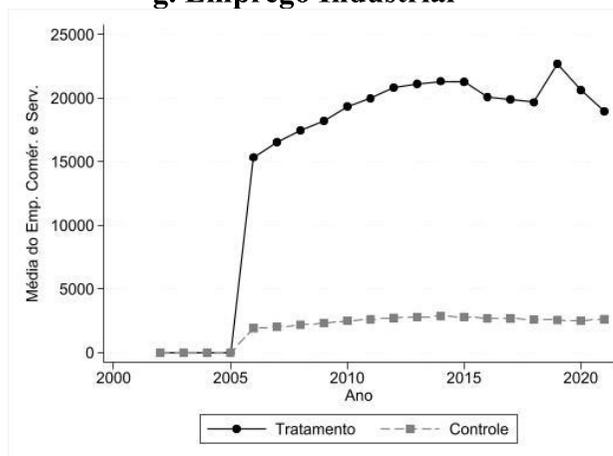
g. Emprego Industrial



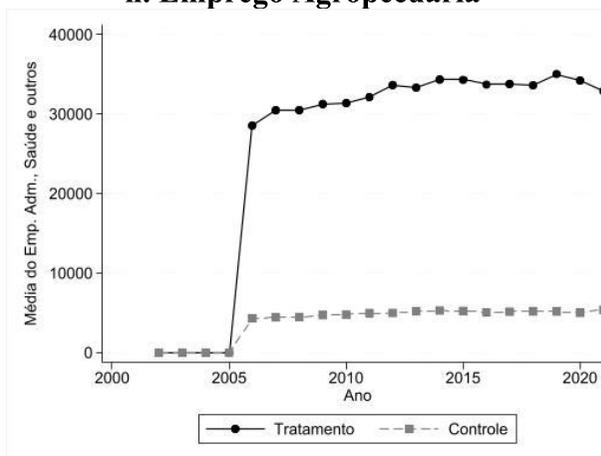
h. Emprego Agropecuária



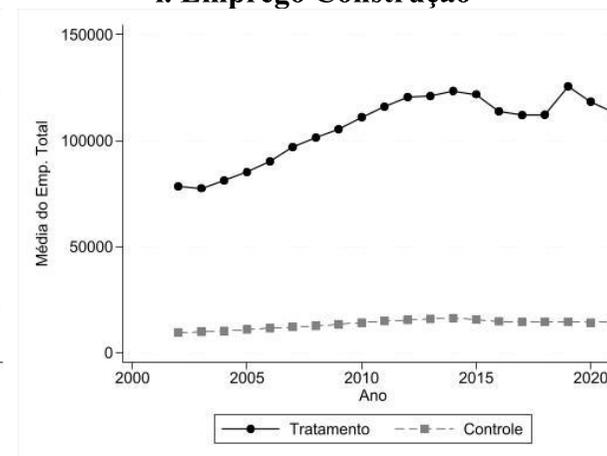
i. Emprego Construção



j. Emprego Comércio e Serviços



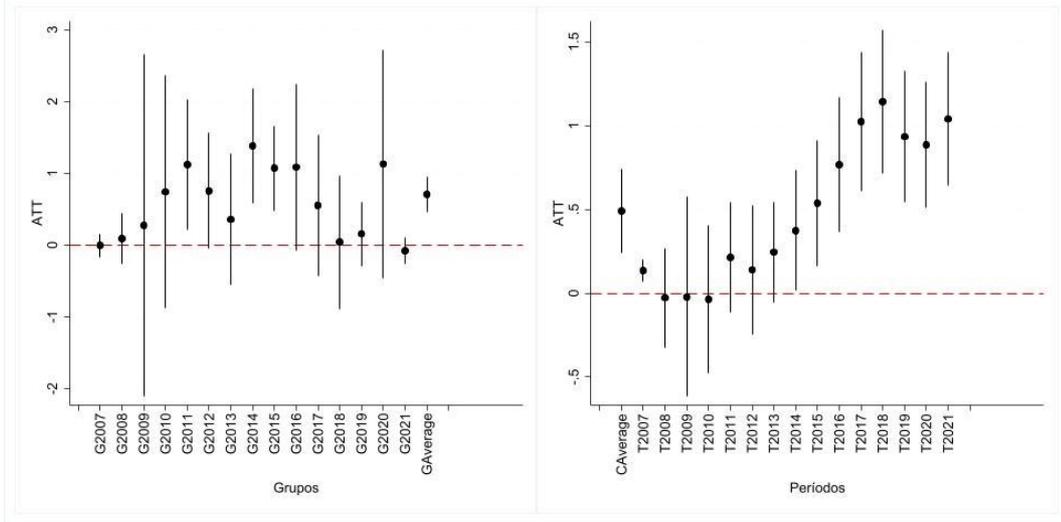
l. Emprego Administração, saúde e outros



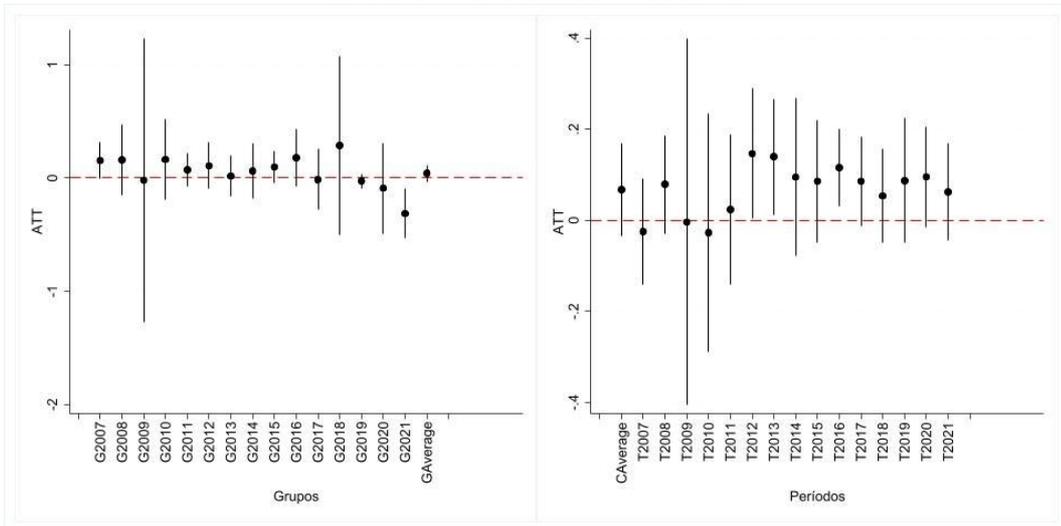
m. Emprego Total

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024). Nota¹: todas as variáveis estão em níveis e os gráficos apresentam diferentes escalas entre as figuras. Nota²: As variáveis de natureza monetária foram deflacionadas em relação ao ano de 2023.

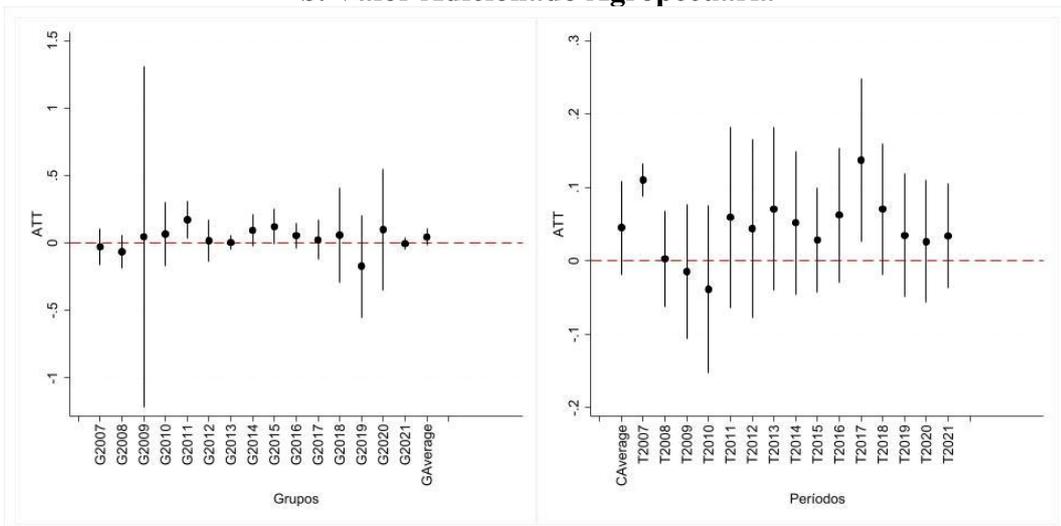
Gráfico C4 – Efeito Médio do Tratamento – evento por grupo e ano, Amostra 1 (2007-2021)



a. Valor Adicionado Industrial



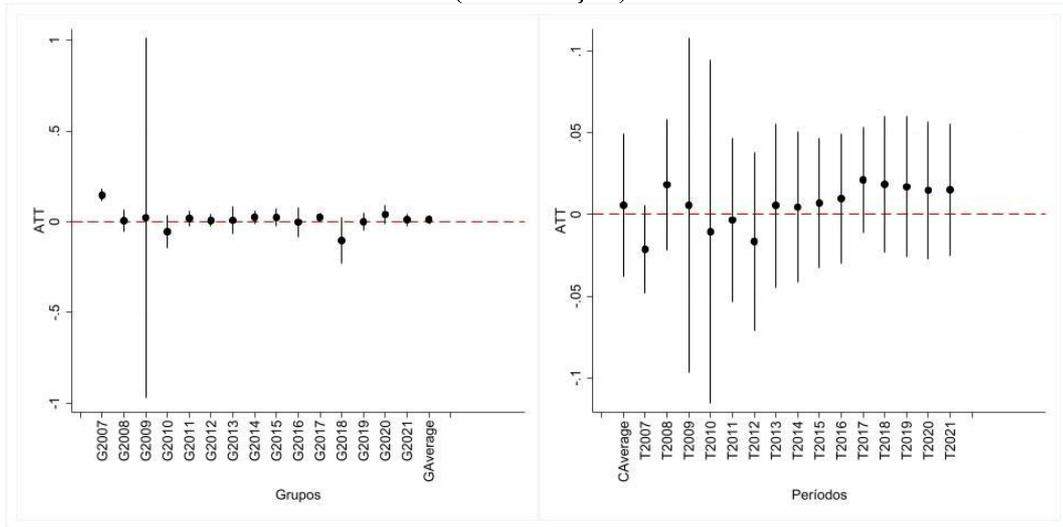
b. Valor Adicionado Agropecuária



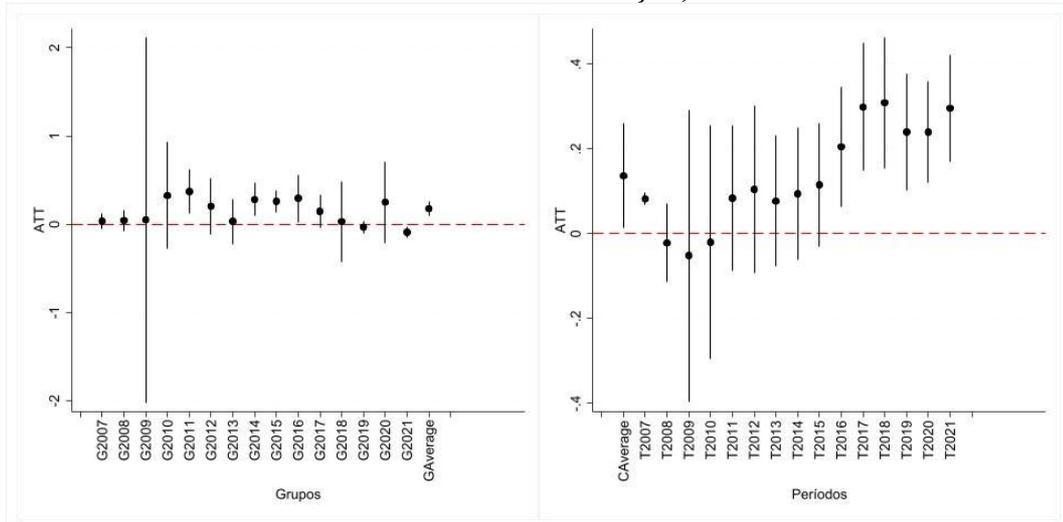
c. Valor Adicionado Serviços

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do software STATA (2024).

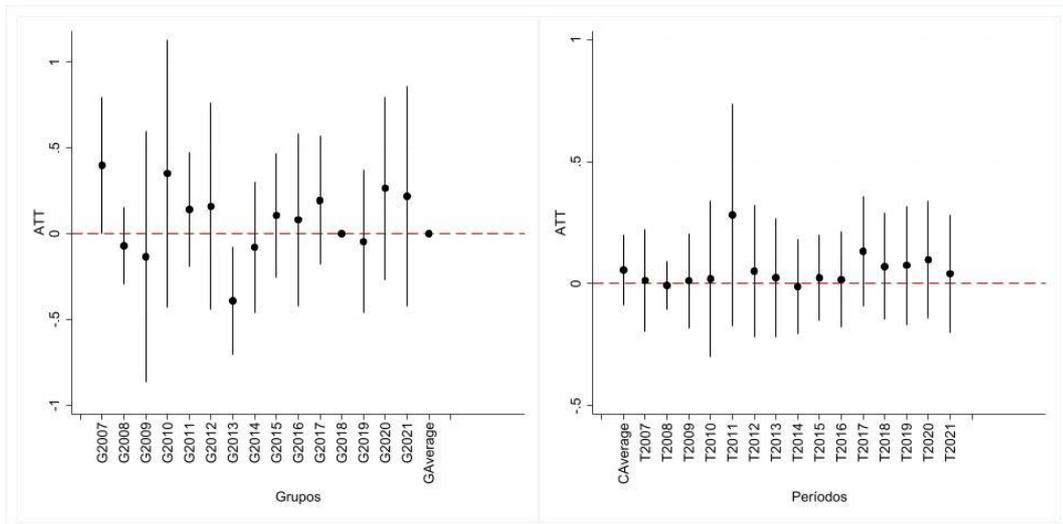
Gráfico C4 – Efeito Médio do Tratamento – evento por grupo e ano, Amostra 1 (2007-2021)
(continuação)



d. Valor Adicionado Administração, saúde e outros



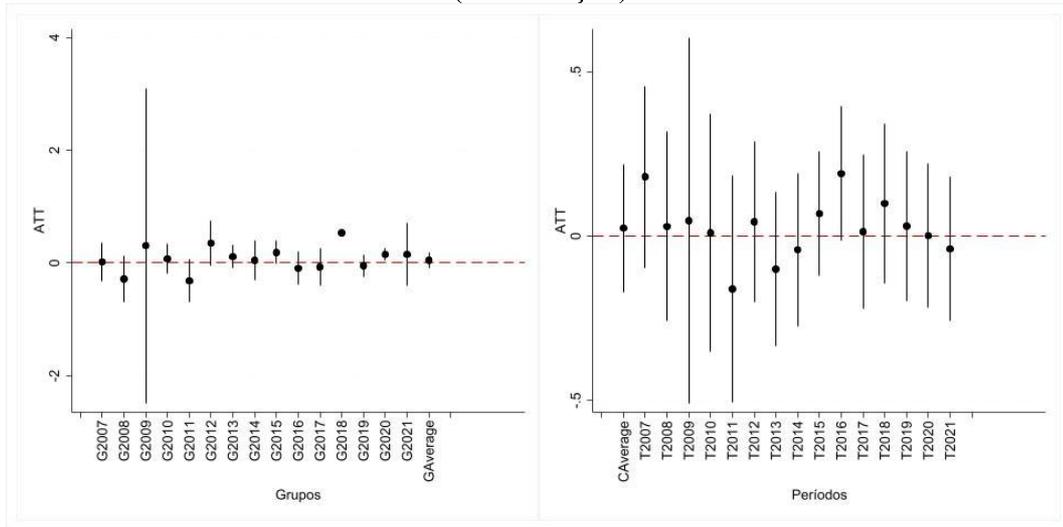
e. Valor Adicionado Total



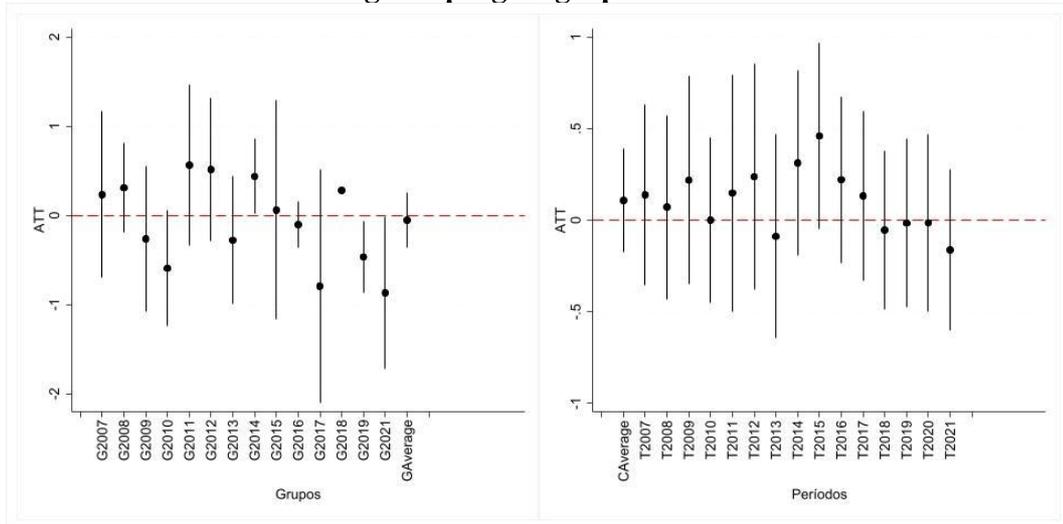
f. Emprego Industrial

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

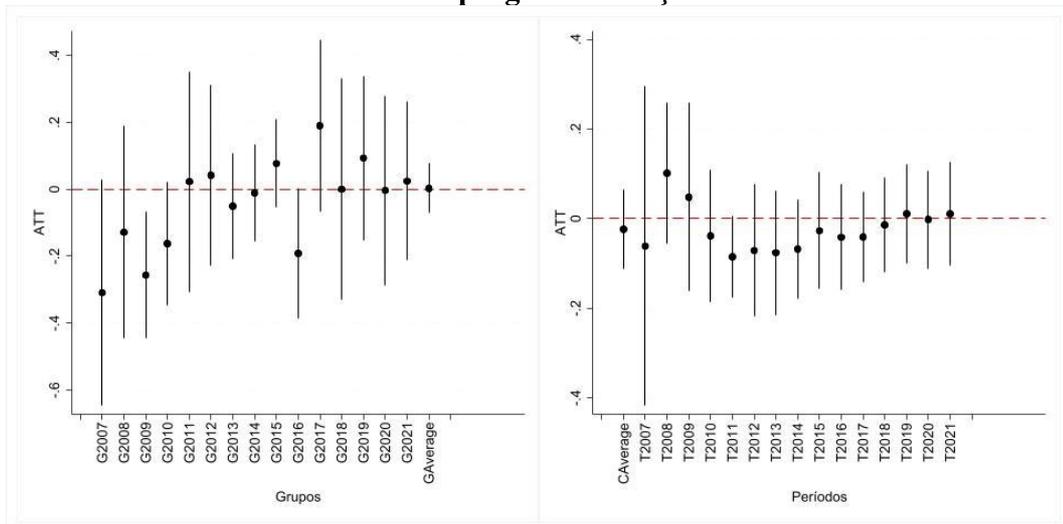
Gráfico C4 – Efeito Médio do Tratamento – evento por grupo e ano, Amostra 1 (2007-2021)
(continuação)



g. Emprego Agropecuária



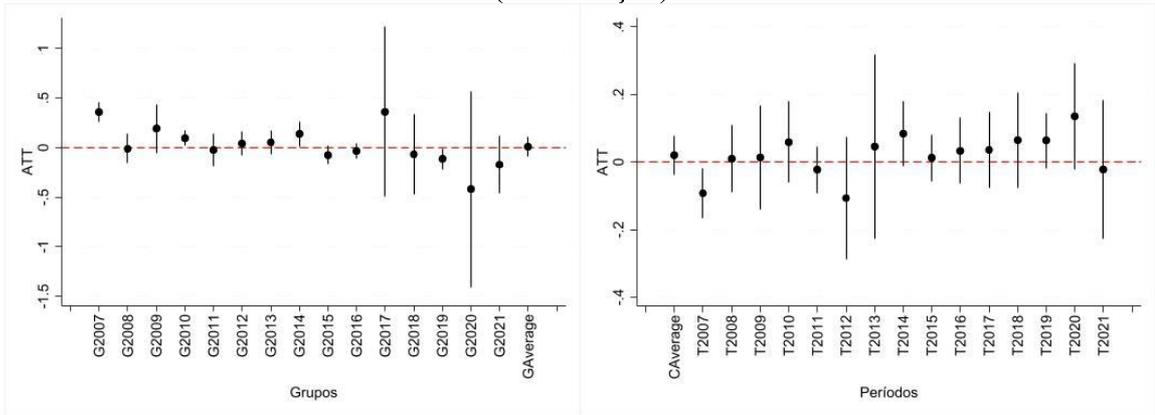
h. Emprego Construção



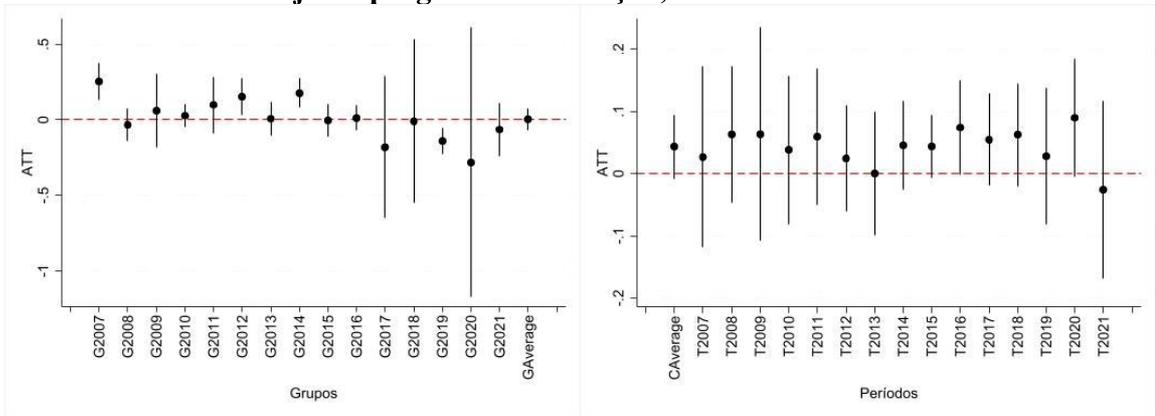
i. Emprego Comércio e Serviços

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico C4 – Efeito Médio do Tratamento – evento por grupo e ano, Amostra 1 (2007-2021)
(continuação)



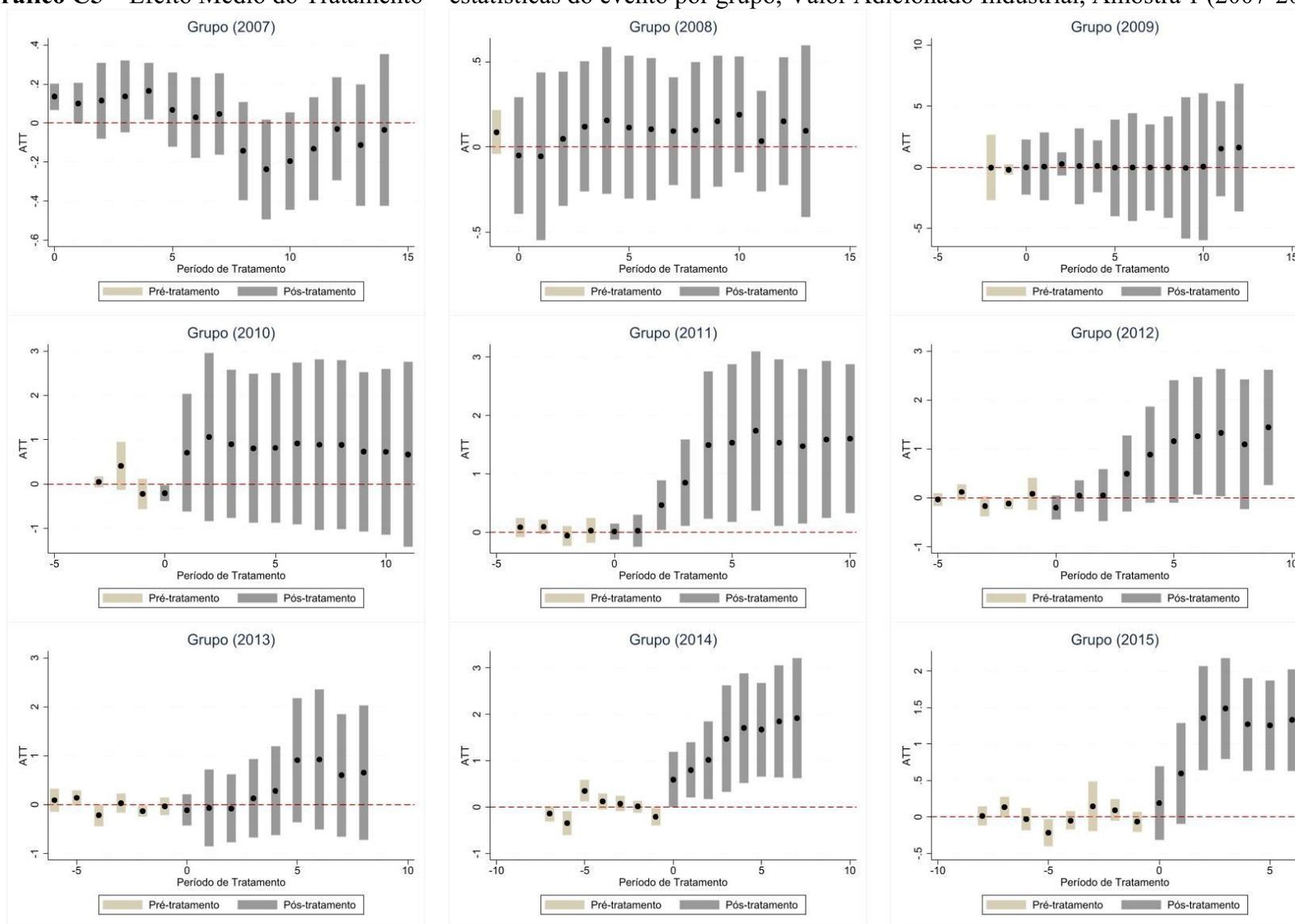
j. Emprego Administração, saúde e outros



l. Emprego Total

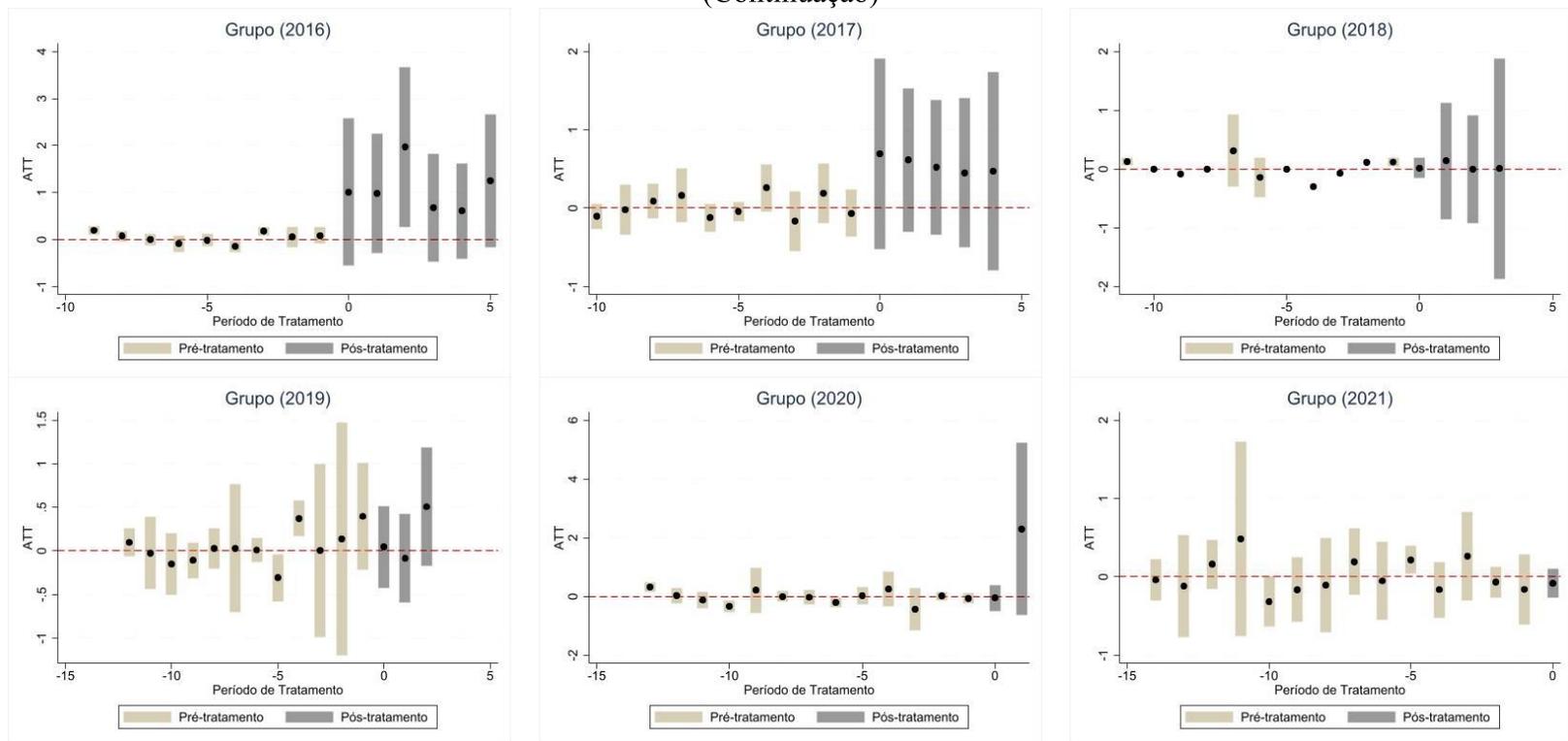
Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico C5 – Efeito Médio do Tratamento – estatísticas do evento por grupo, Valor Adicionado Industrial, Amostra 1 (2007-2021)



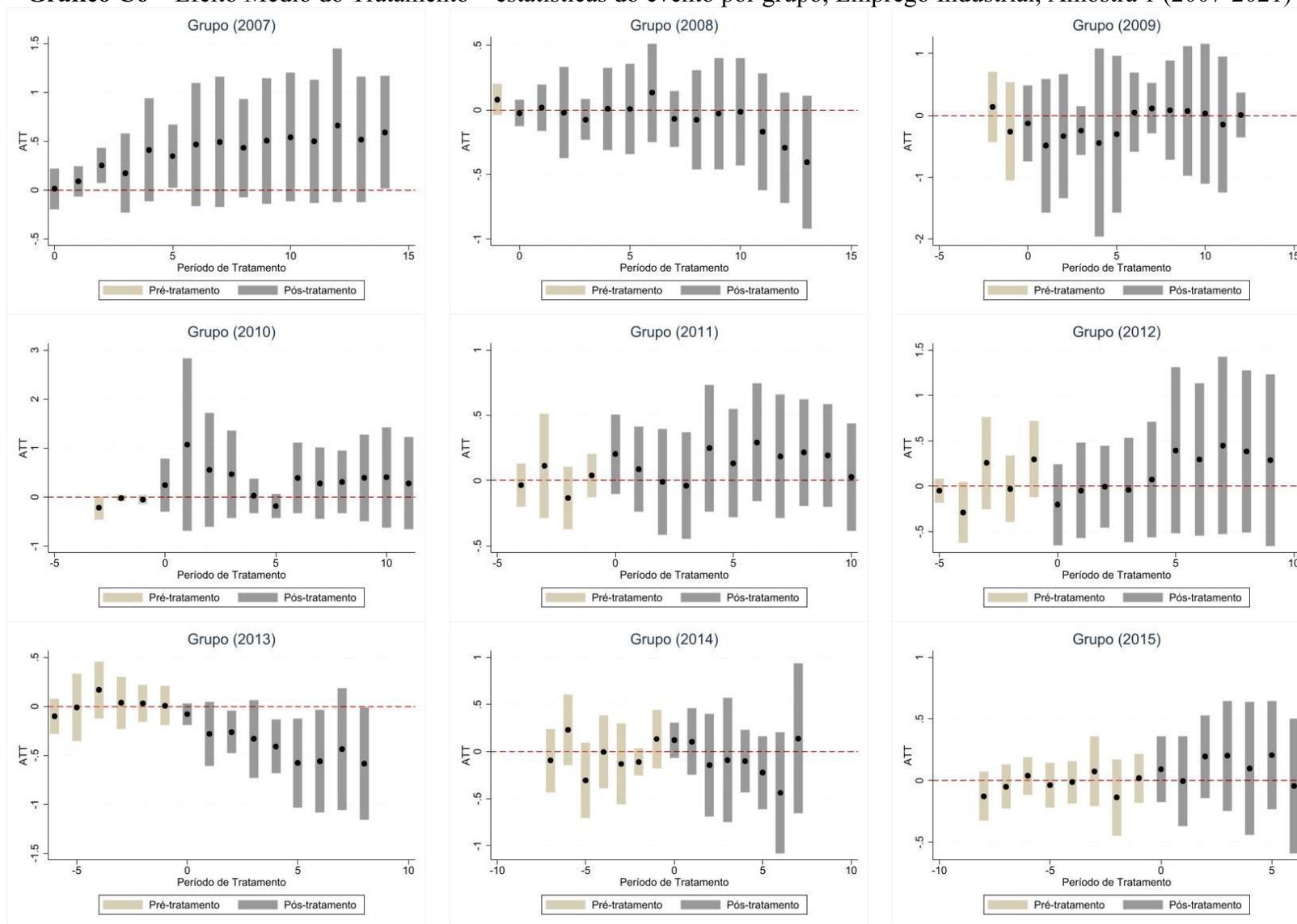
Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico C5 – Efeito Médio do Tratamento – estatísticas do evento por grupo, Valor Adicionado Industrial (2007-2021), Amostra 1 (Continuação)



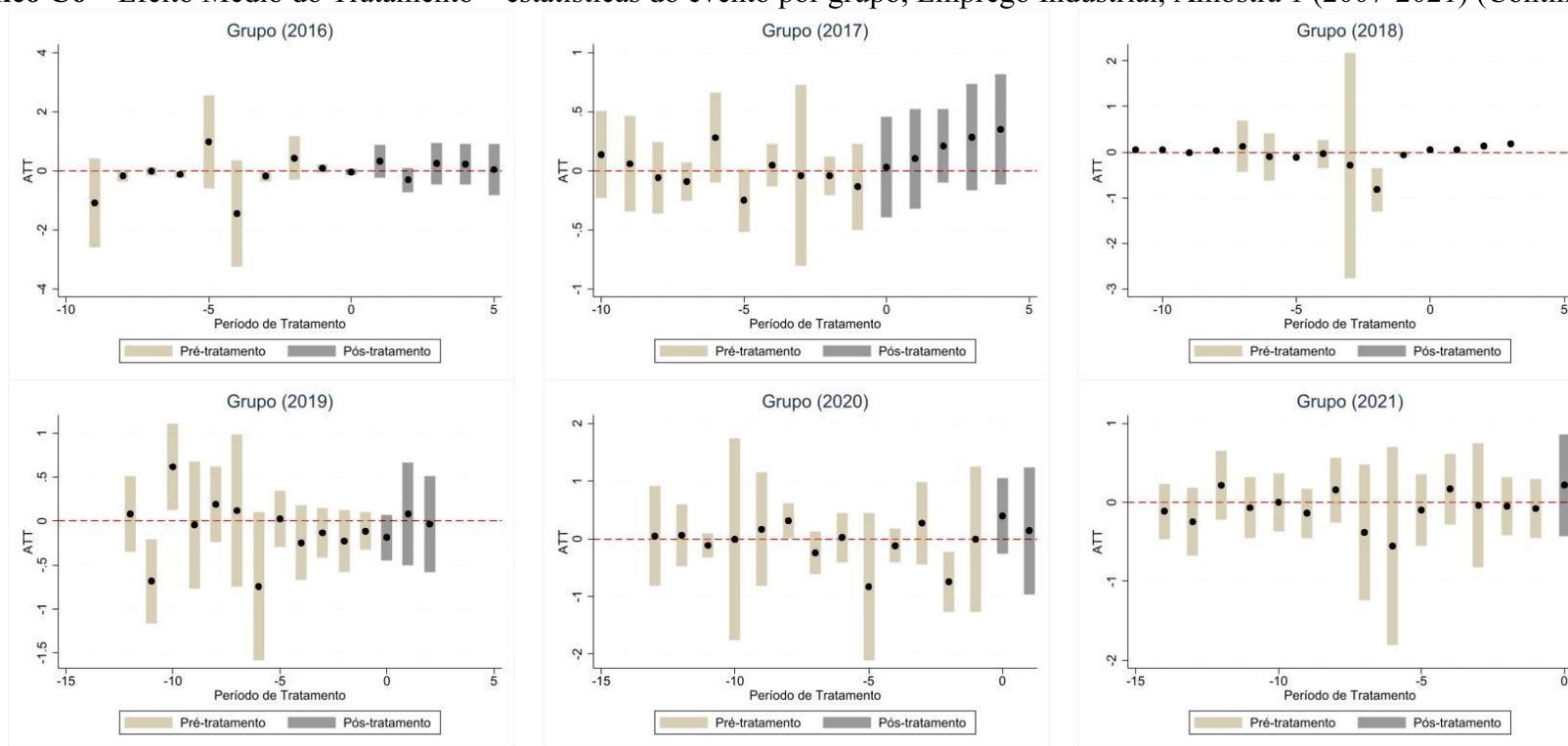
Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico C6 – Efeito Médio do Tratamento – estatísticas do evento por grupo, Emprego Industrial, Amostra 1 (2007-2021)



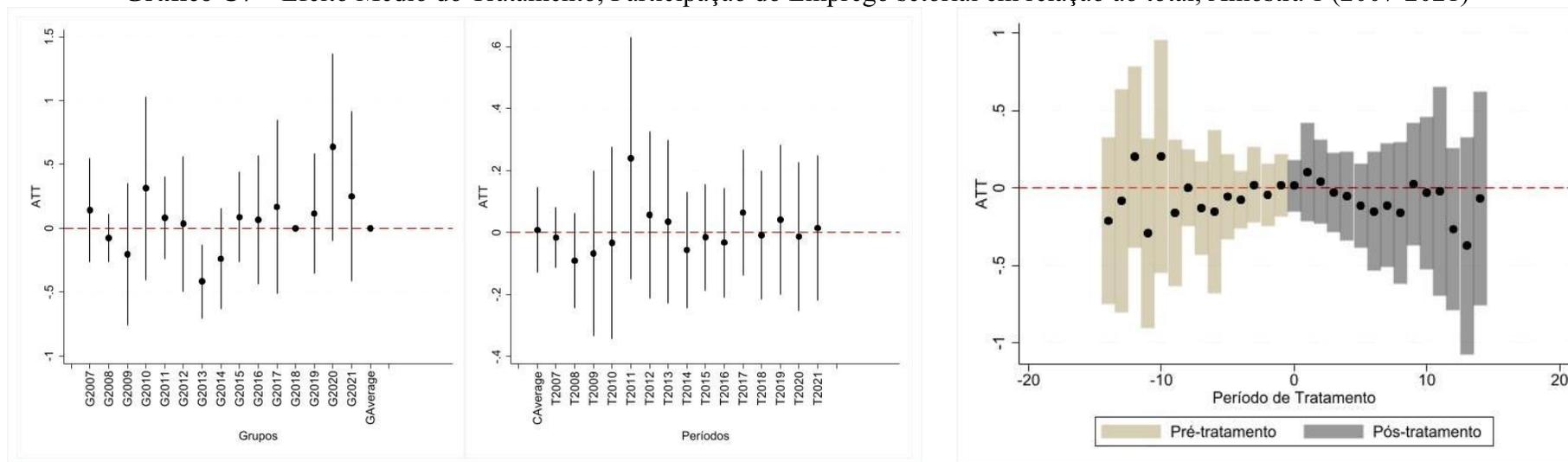
Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico C6 – Efeito Médio do Tratamento – estatísticas do evento por grupo, Emprego Industrial, Amostra 1 (2007-2021) (Continuação)

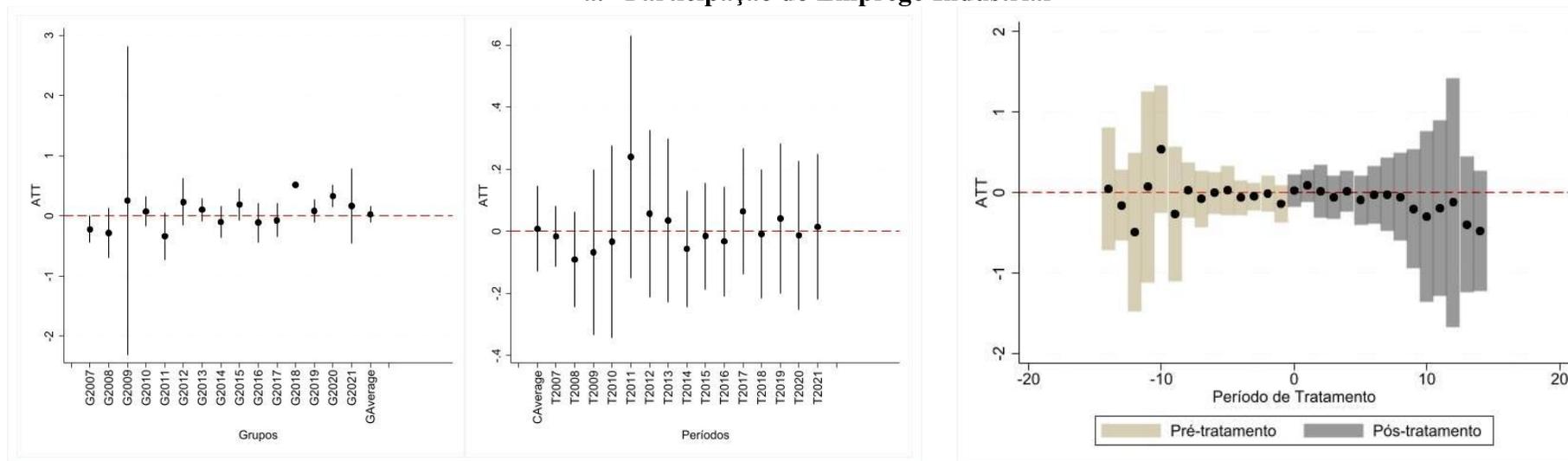


Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico C7 – Efeito Médio do Tratamento, Participação do Emprego setorial em relação ao total, Amostra 1 (2007-2021)



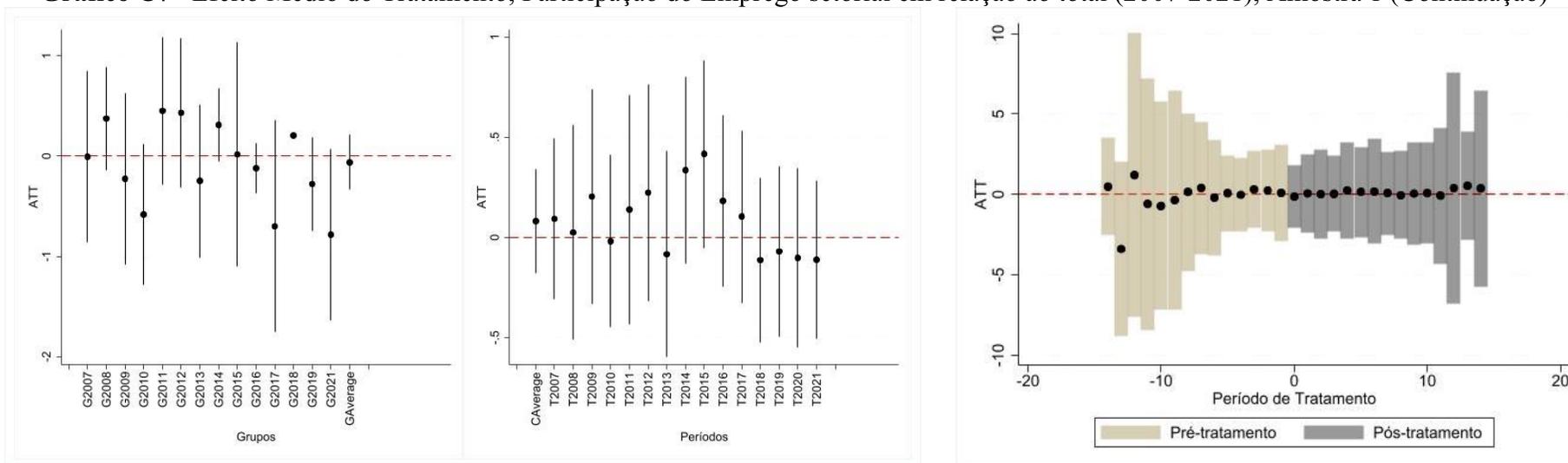
a. Participação do Emprego Industrial



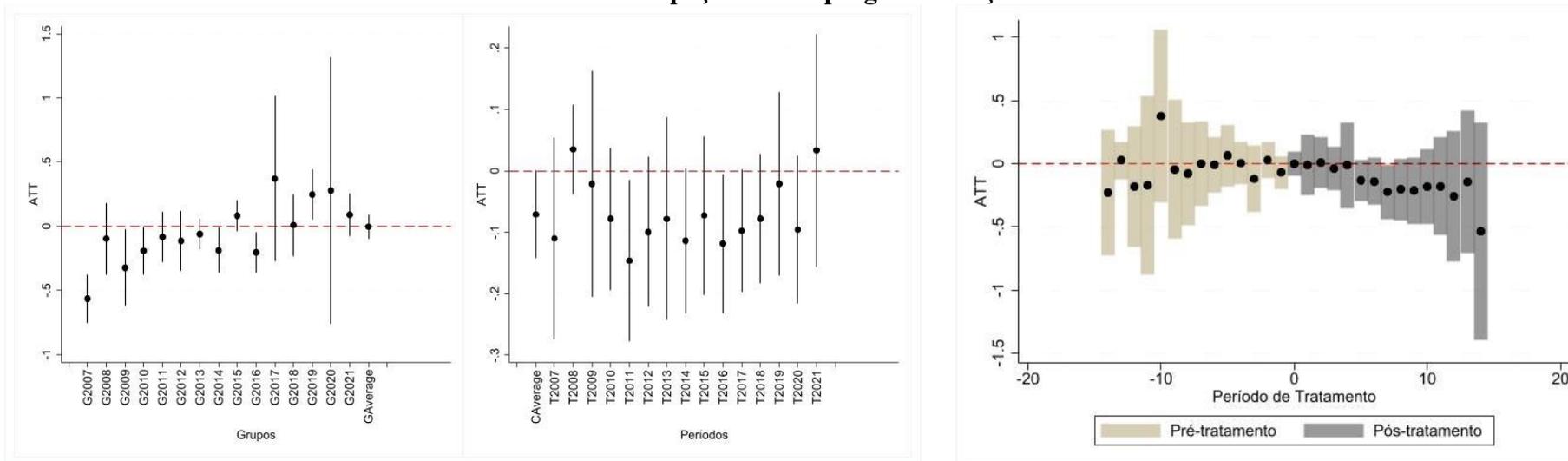
b. Participação do Emprego Agropecuária

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico C7– Efeito Médio do Tratamento, Participação do Emprego setorial em relação ao total (2007-2021), Amostra 1 (Continuação)



c. Participação do Emprego Construção

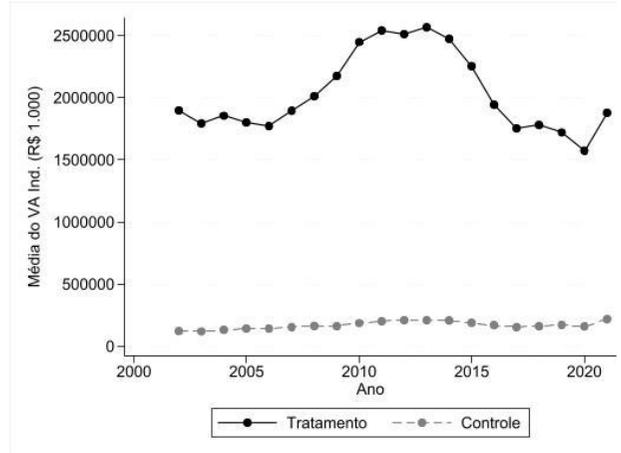


d. Participação do Emprego Comércio e Serviços

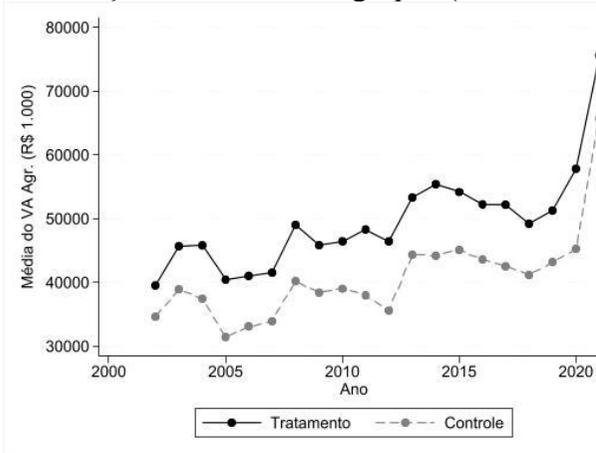
Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024)

AMOSTRA 2

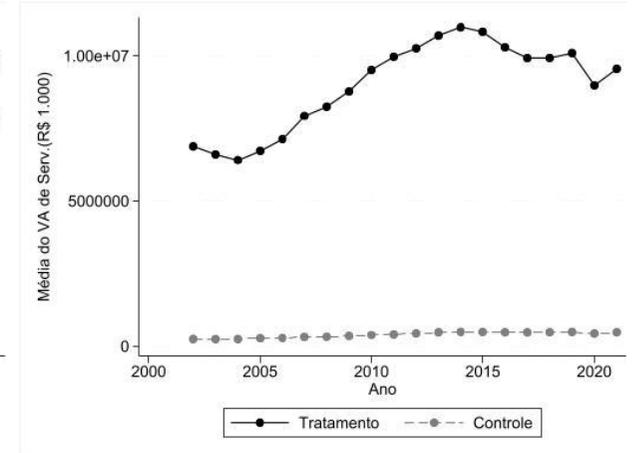
Gráfico C8 – Diferença de médias entre grupos (2002-2021) – Amostra 2



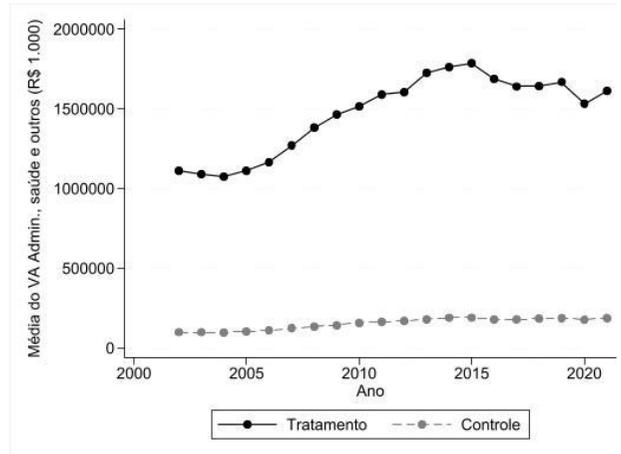
a. Valor Adicionado Industrial



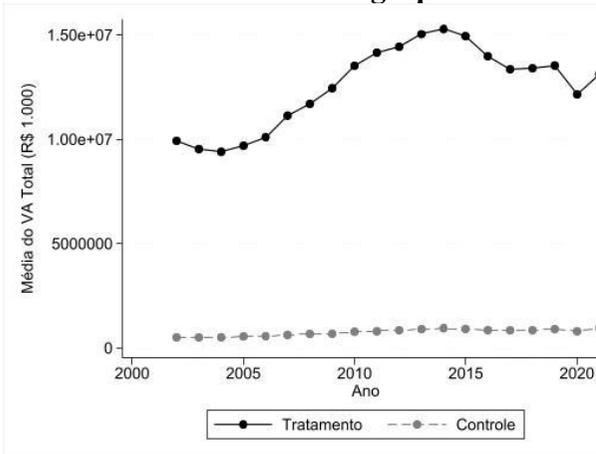
b. Valor Adicionado Agropecuária



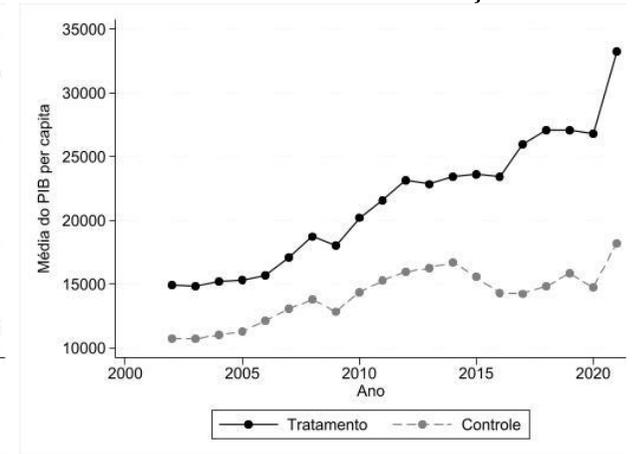
c. Valor Adicionado Serviços



d. Valor Adicionado Administração, saúde e outros



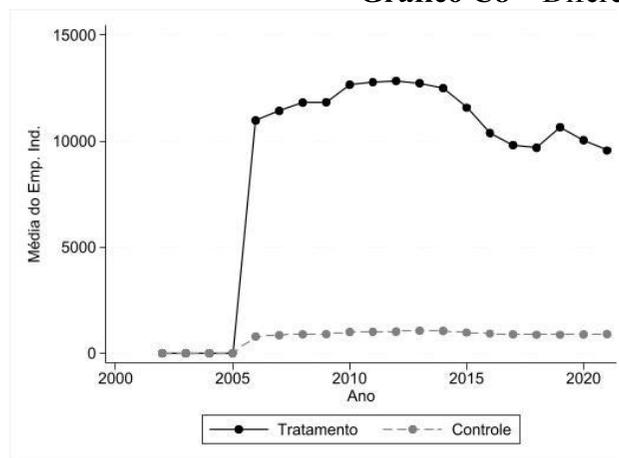
e. Valor Adicionado Total



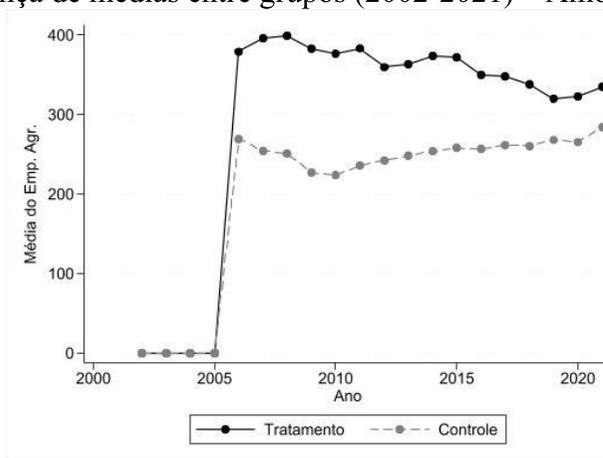
f. Produto Interno Bruto (*per capita*)

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024). Nota¹: todas as variáveis estão em níveis e os gráficos apresentam diferentes escalas entre as figuras. Nota²: As variáveis de natureza monetária foram deflacionadas em relação ao ano de 2023.

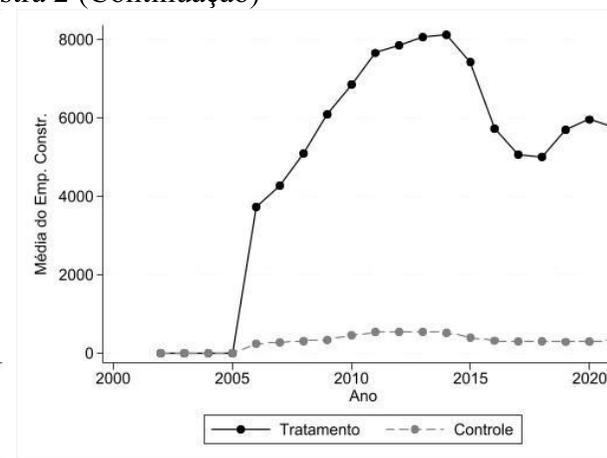
Gráfico C8 – Diferença de médias entre grupos (2002-2021) – Amostra 2 (Continuação)



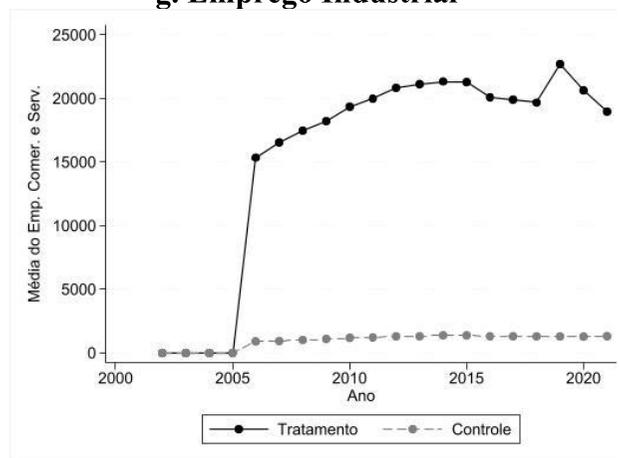
g. Emprego Industrial



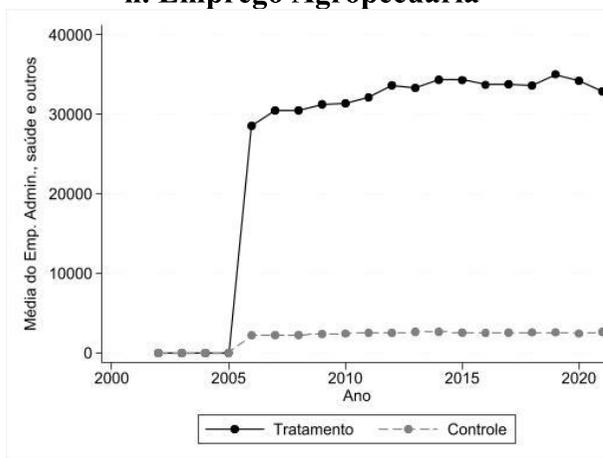
h. Emprego Agropecuária



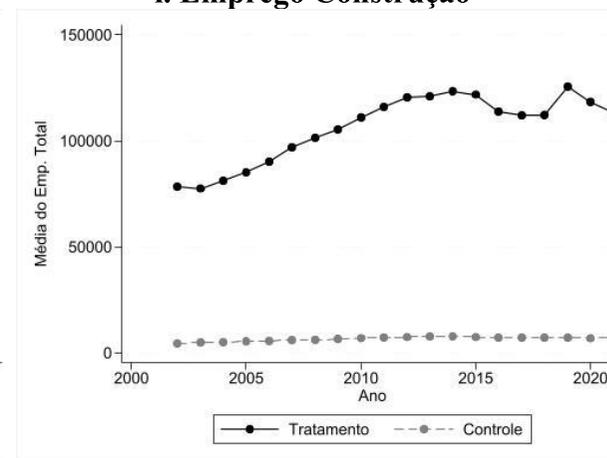
i. Emprego Construção



k. Emprego Comércio e Serviços



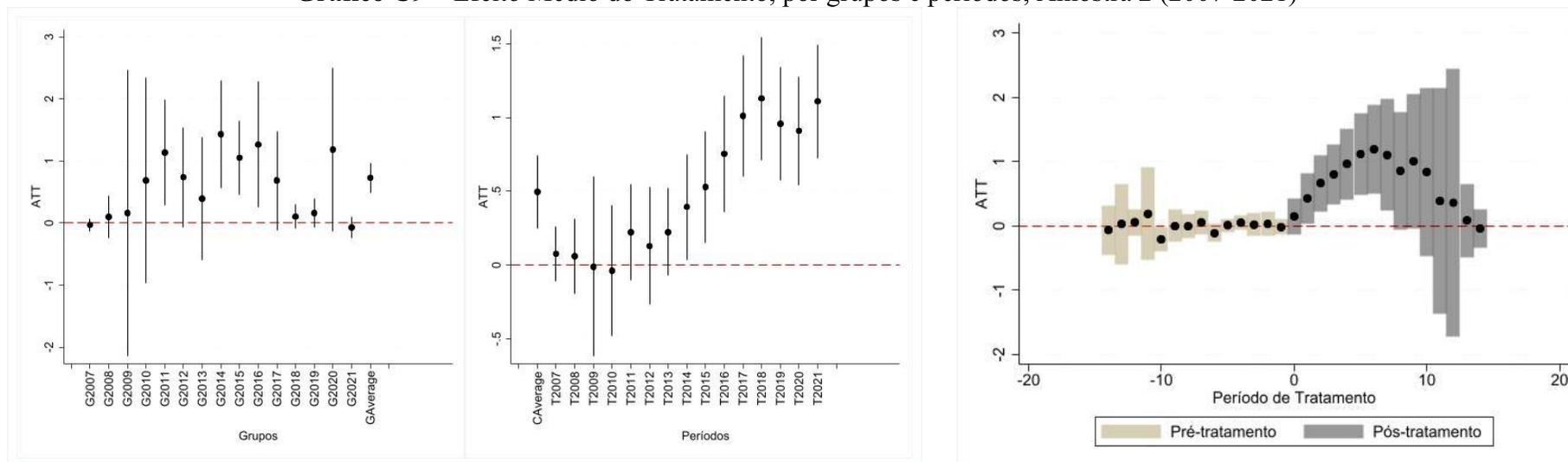
n. Emprego Administração, saúde e outros



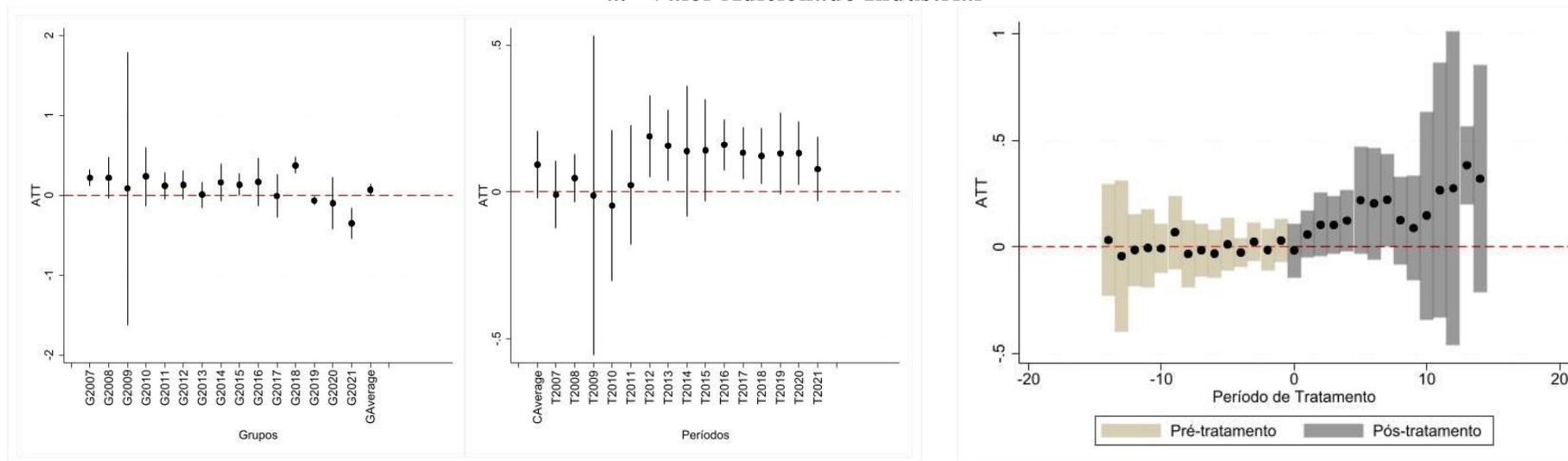
o. Emprego Total

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024). Nota¹: todas as variáveis estão em níveis e os gráficos apresentam diferentes escalas entre as figuras. Nota²: As variáveis de natureza monetária foram deflacionadas em relação ao ano de 2023.

Gráfico C9 – Efeito Médio do Tratamento, por grupos e períodos, Amostra 2 (2007-2021)



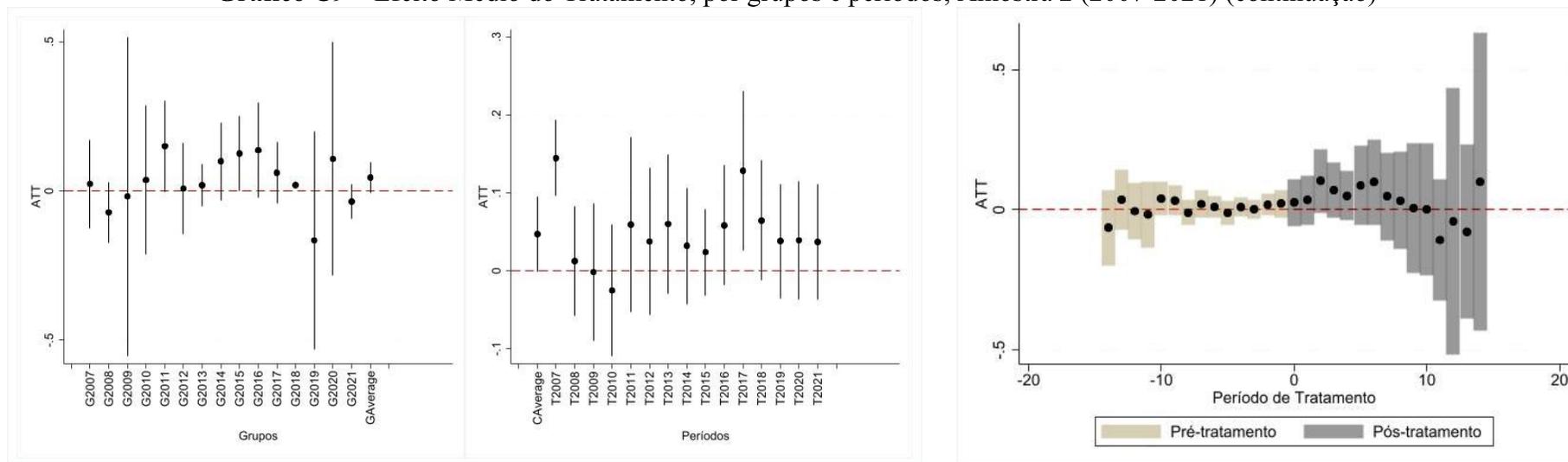
a. Valor Adicionado Industrial



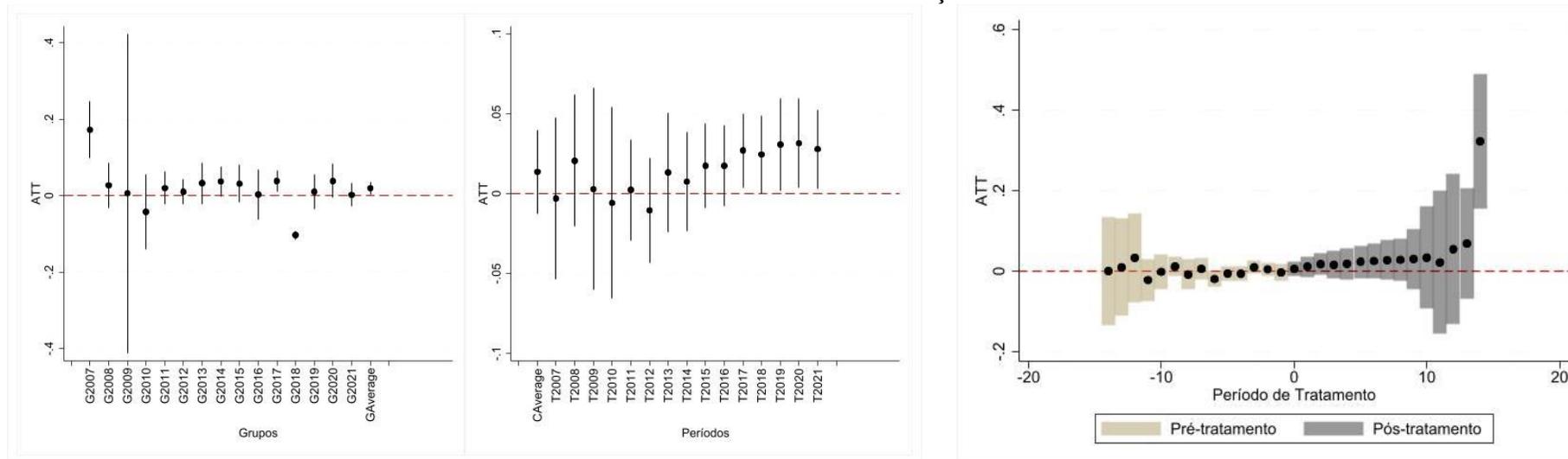
b. Valor Adicionado Agropecuária

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico C9 – Efeito Médio do Tratamento, por grupos e períodos, Amostra 2 (2007-2021) (continuação)



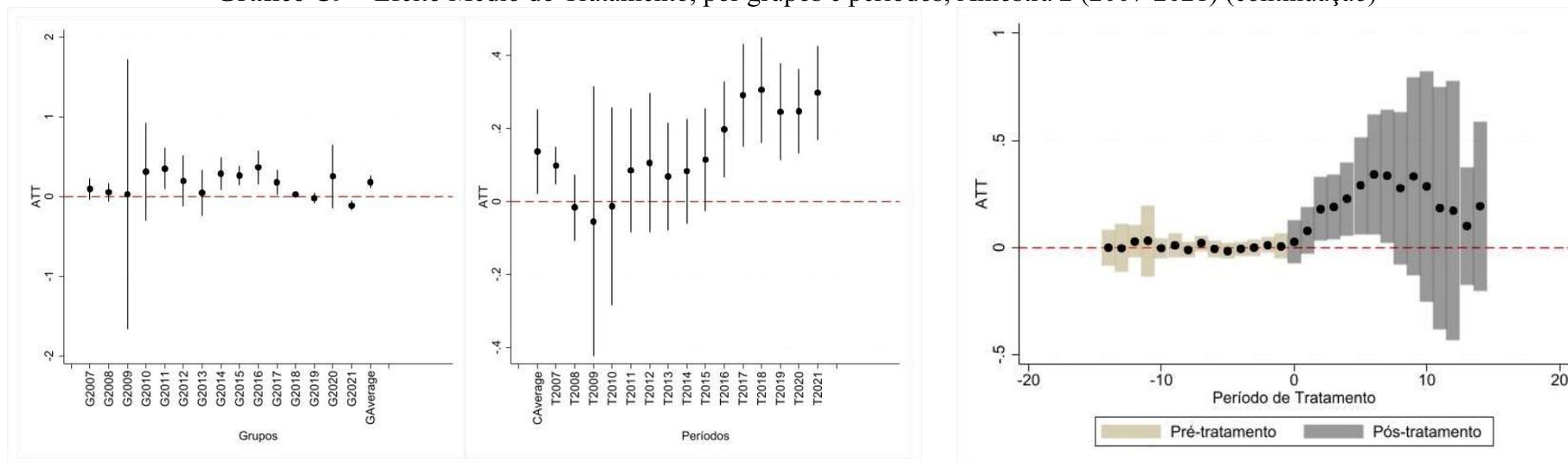
c. Valor Adicionado Serviços



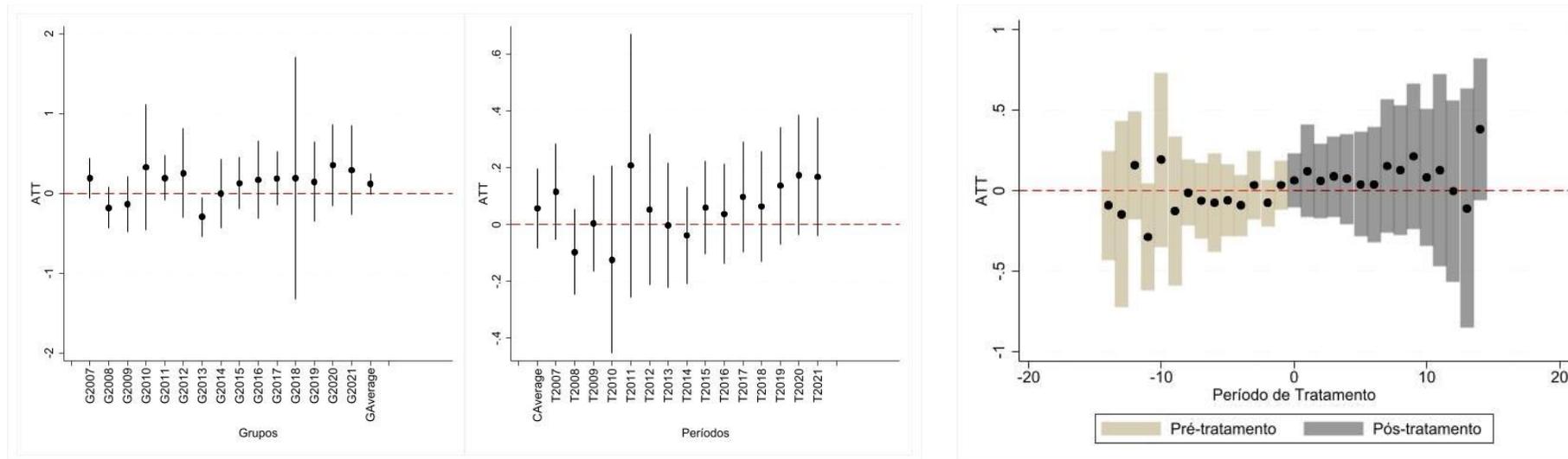
d. Valor Adicionado Administração, saúde e outros

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico C9 – Efeito Médio do Tratamento, por grupos e períodos, Amostra 2 (2007-2021) (continuação)



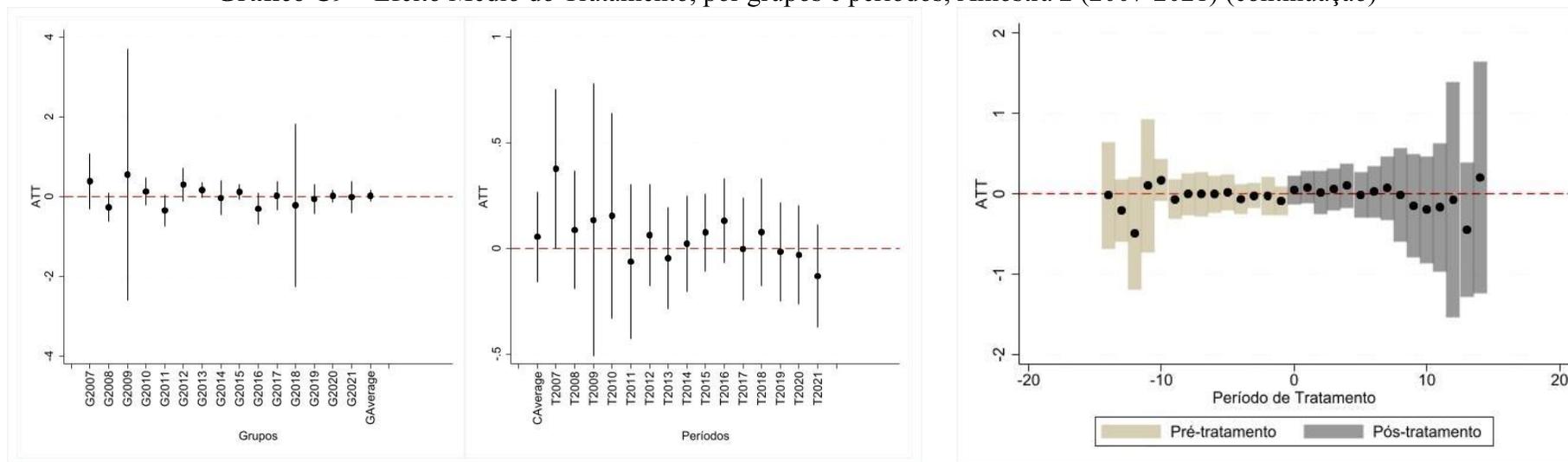
e. Valor Adicionado Total



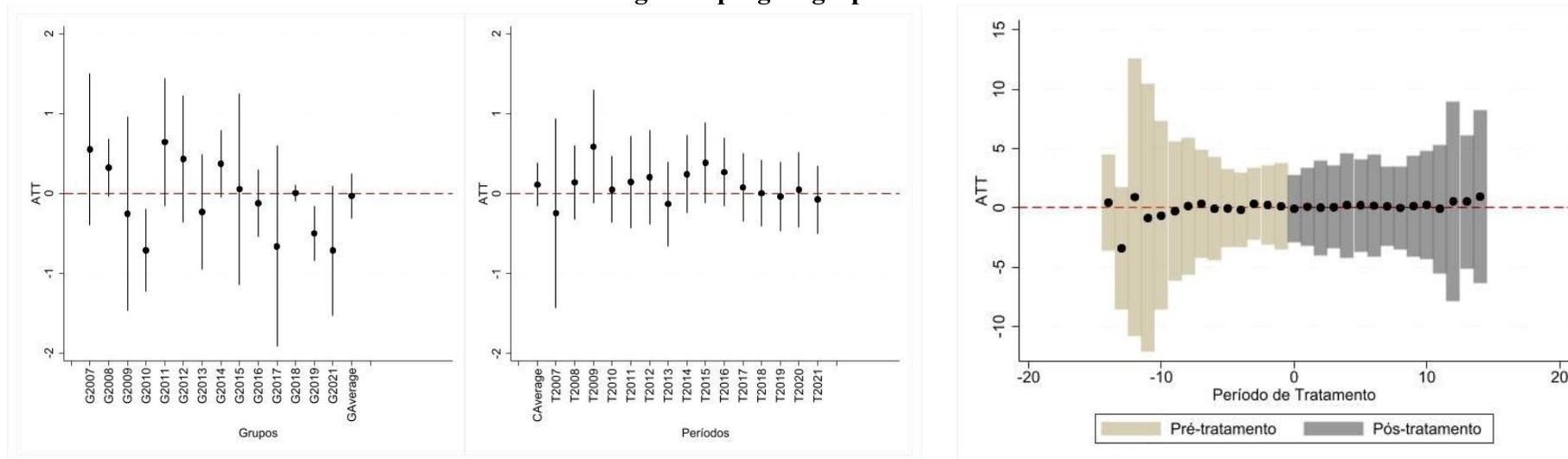
f. Emprego Industrial

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico C9 – Efeito Médio do Tratamento, por grupos e períodos, Amostra 2 (2007-2021) (continuação)



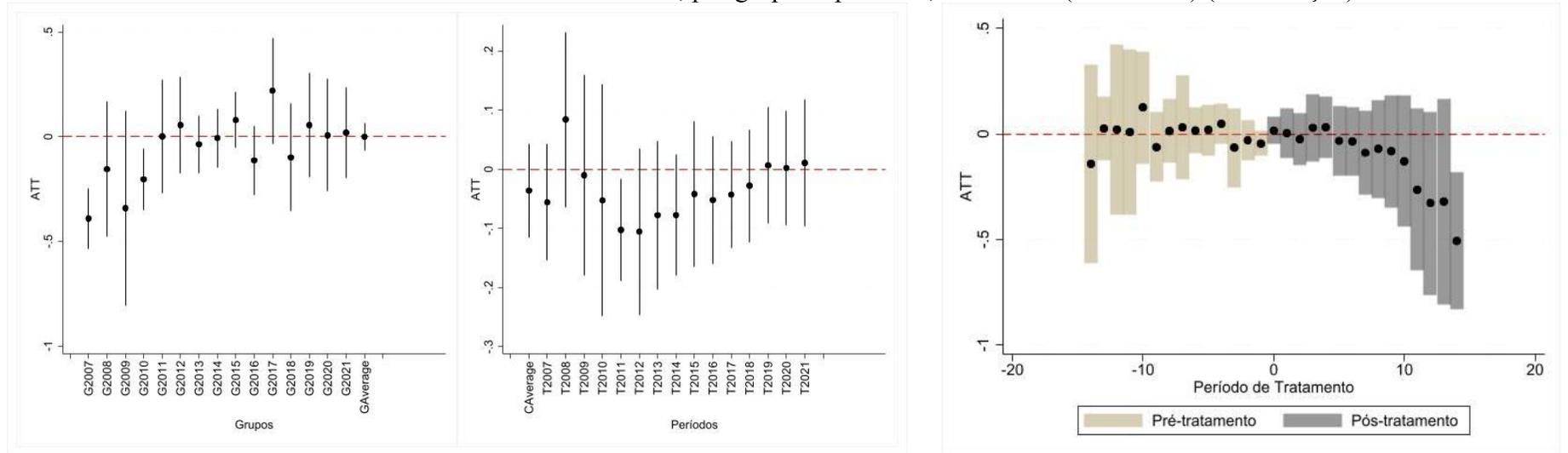
g. Emprego Agropecuária



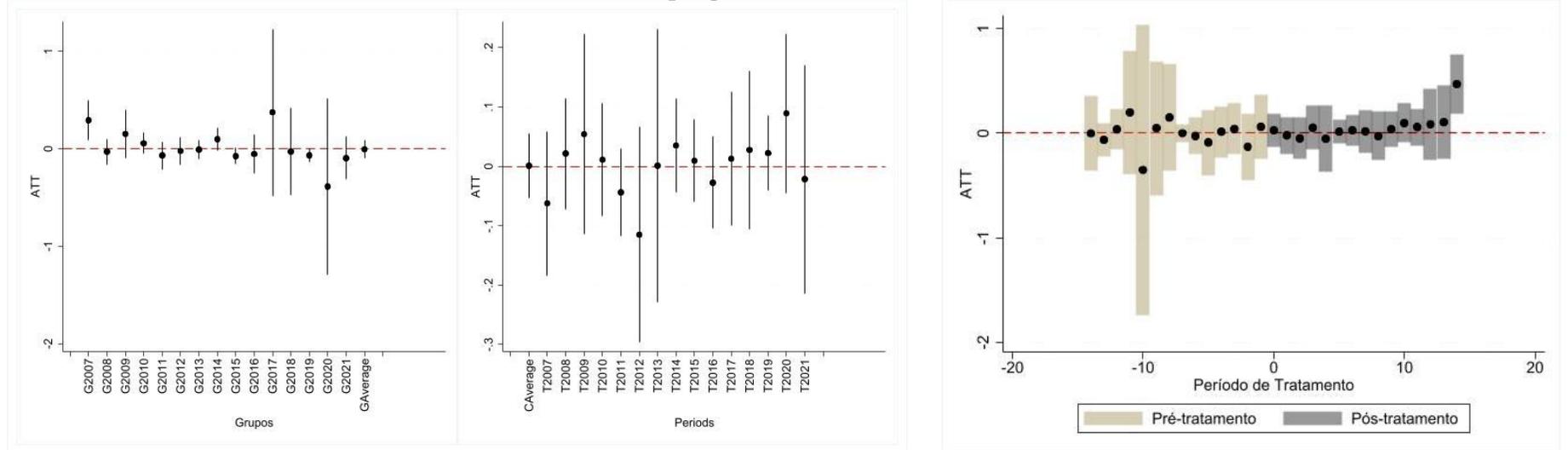
h. Emprego Construção

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico C9 – Efeito Médio do Tratamento, por grupos e períodos, Amostra 2 (2007-2021) (continuação)



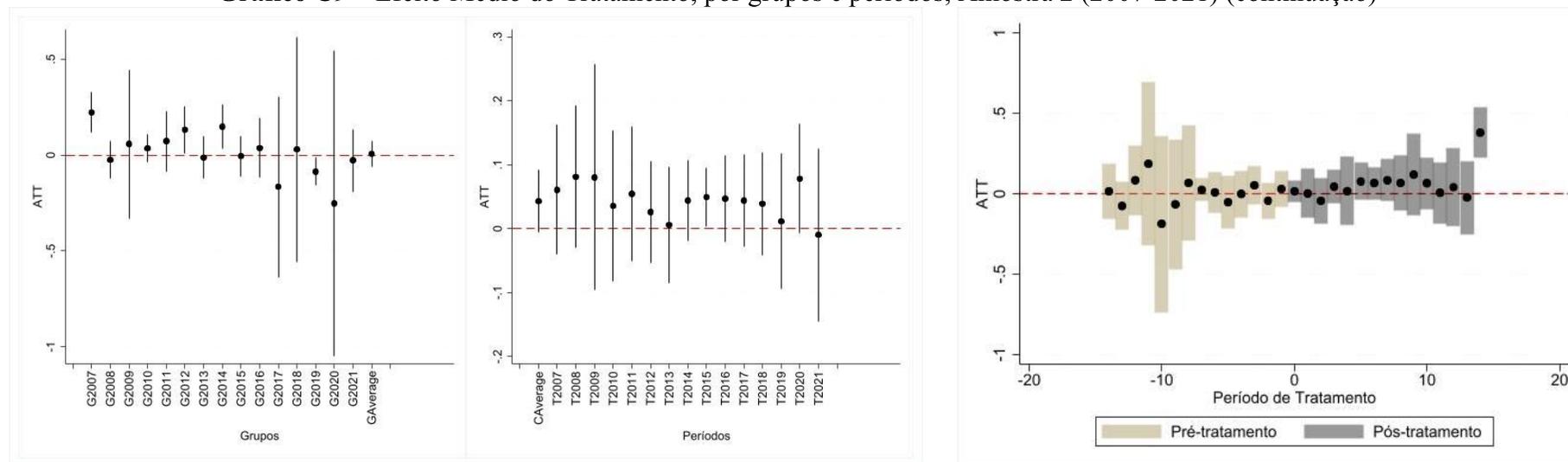
i. Emprego Comércio e Serviços



j. Emprego Administração, saúde e outros

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico C9 – Efeito Médio do Tratamento, por grupos e períodos, Amostra 2 (2007-2021) (continuação)

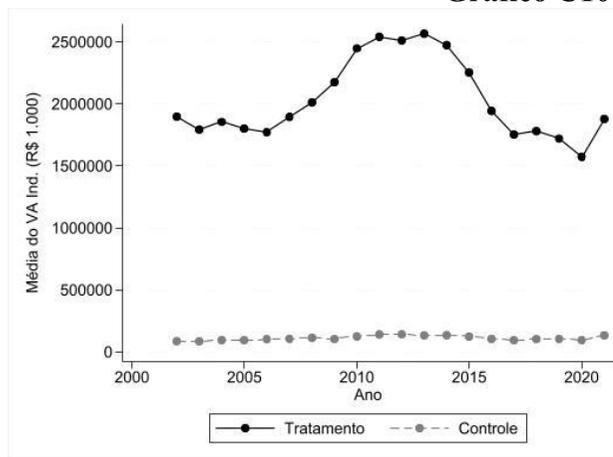


k. Emprego Total

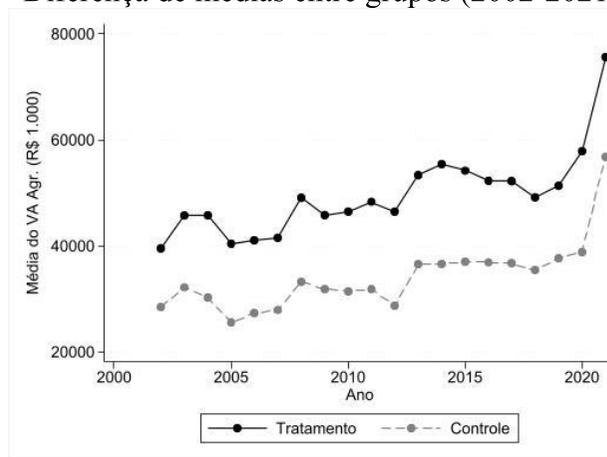
Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

AMOSTRA 3

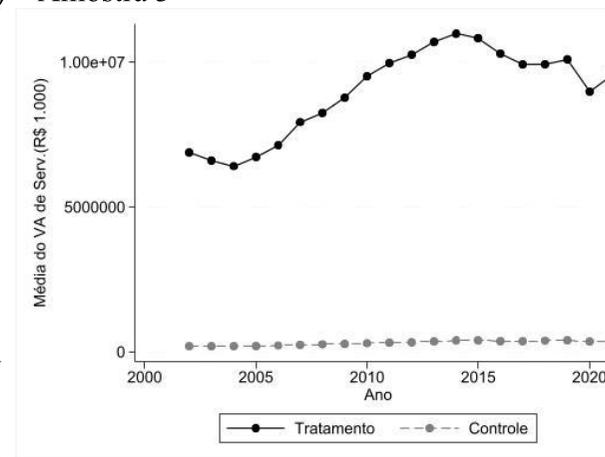
Gráfico C10 – Diferença de médias entre grupos (2002-2021) – Amostra 3



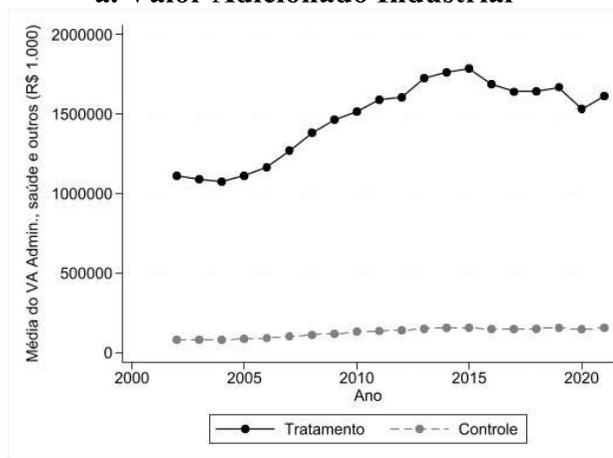
a. Valor Adicionado Industrial



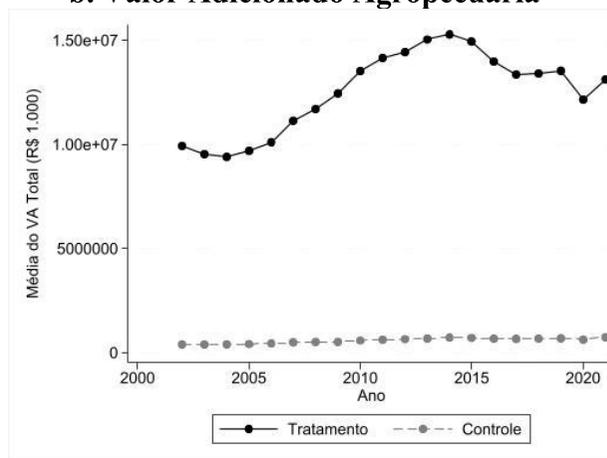
b. Valor Adicionado Agropecuária



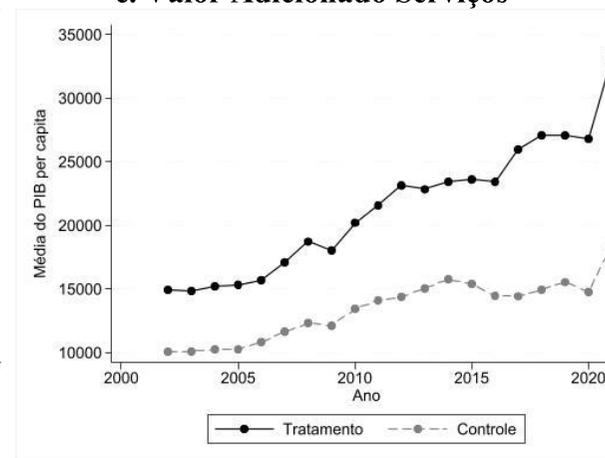
c. Valor Adicionado Serviços



d. Valor Adicionado Administração, saúde e outros



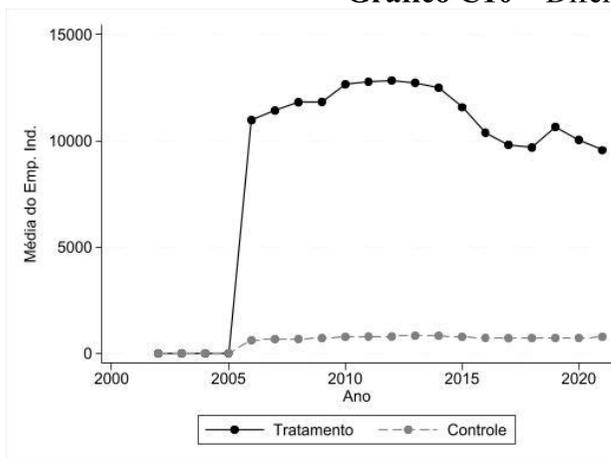
e. Valor Adicionado Total



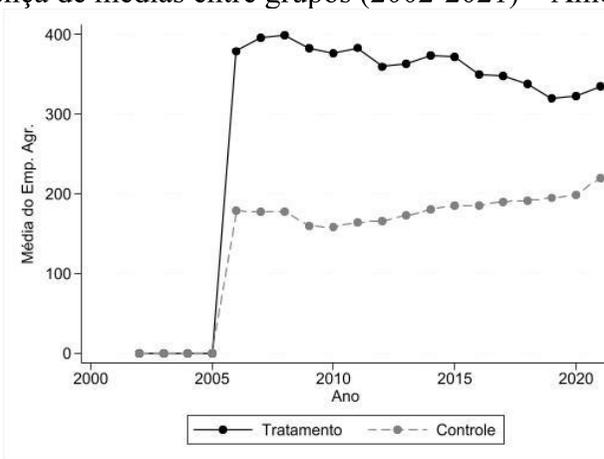
f. Produto Interno Bruto (*per capita*)

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024). Nota¹: todas as variáveis estão em níveis e os gráficos apresentam diferentes escalas entre as figuras. Nota²: As variáveis de natureza monetária foram deflacionadas em relação ao ano de 2023.

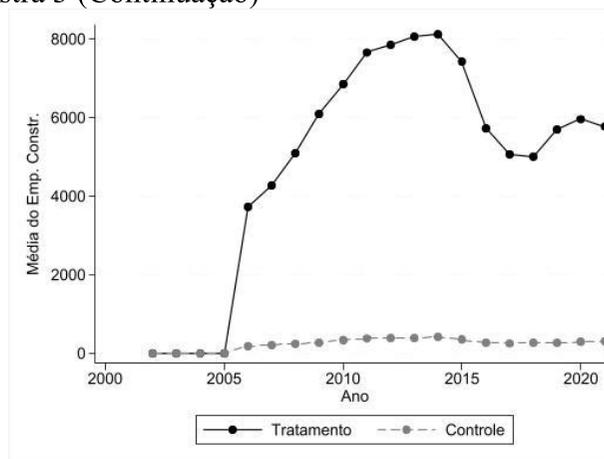
Gráfico C10 – Diferença de médias entre grupos (2002-2021) – Amostra 3 (Continuação)



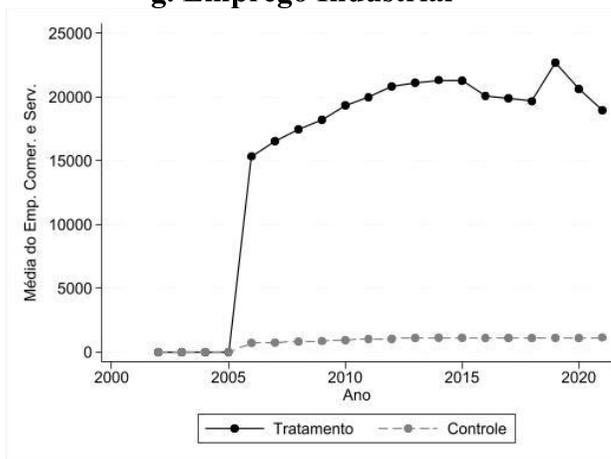
g. Emprego Industrial



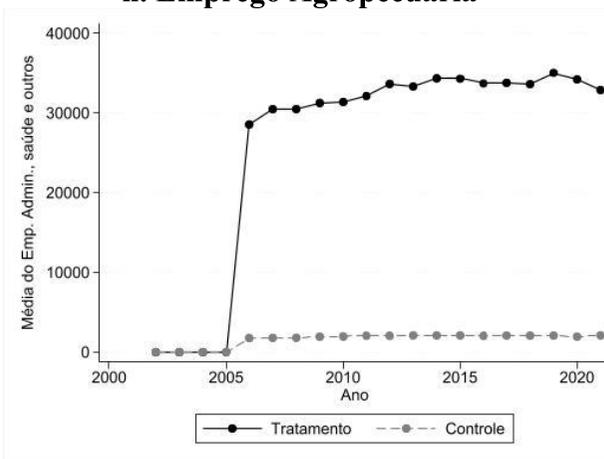
h. Emprego Agropecuária



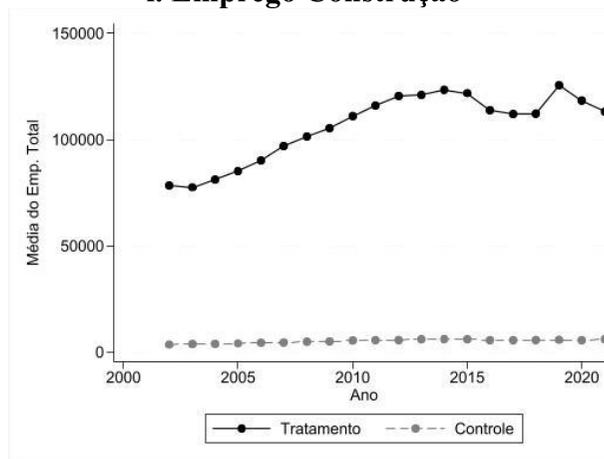
i. Emprego Construção



l. Emprego Comércio e Serviços



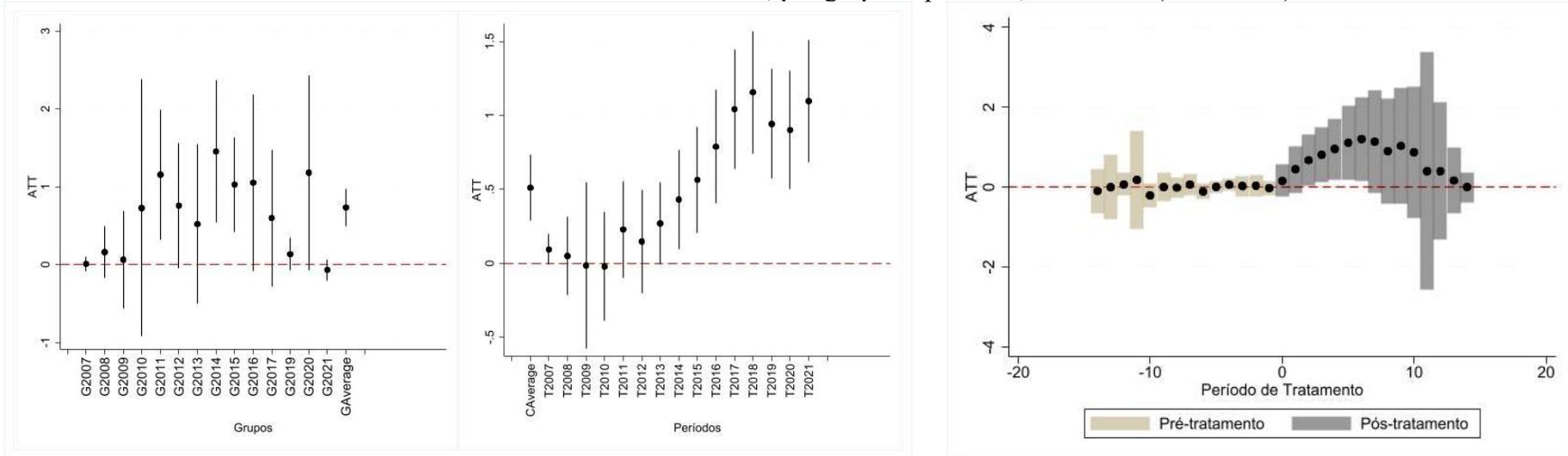
p. Emprego Administração, saúde e outros



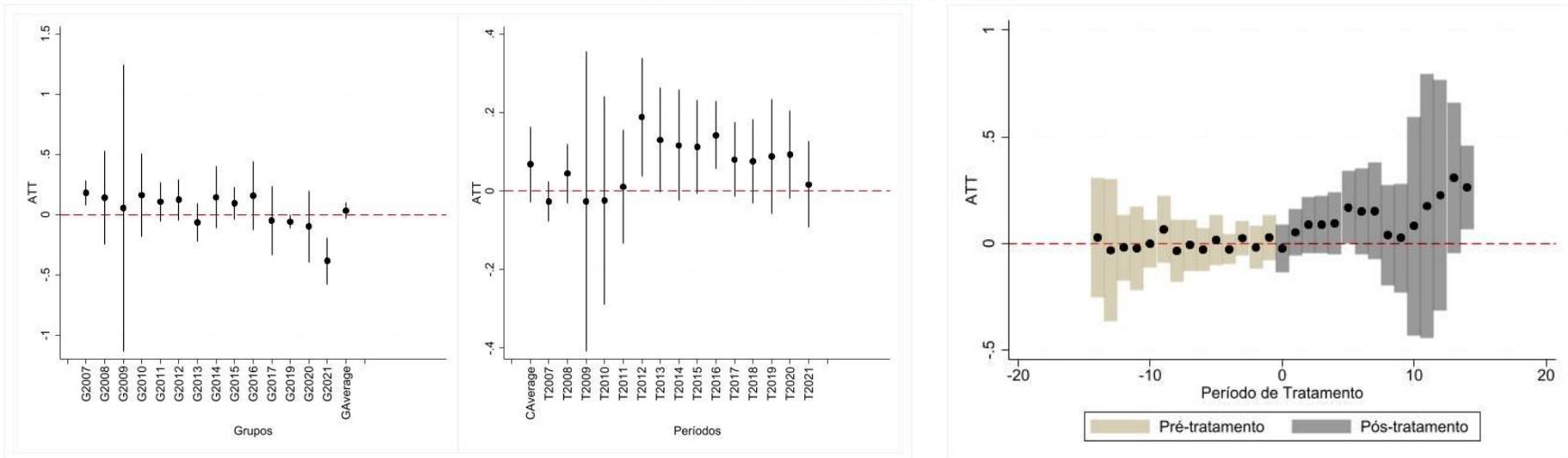
q. Emprego Total

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024). Nota¹: todas as variáveis estão em níveis e os gráficos apresentam diferentes escalas entre as figuras. Nota²: As variáveis de natureza monetária foram deflacionadas em relação ao ano de 2023.

Gráfico C11 – Efeito Médio do Tratamento, por grupos e períodos, Amostra 3 (2007-2021)



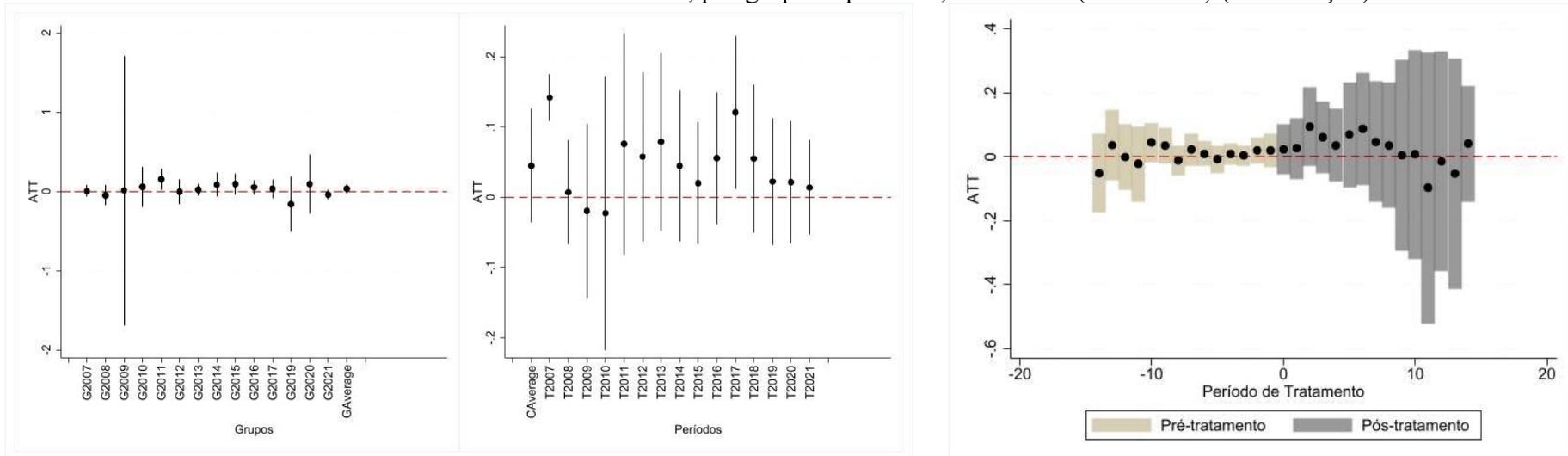
a. Valor Adicionado Industrial



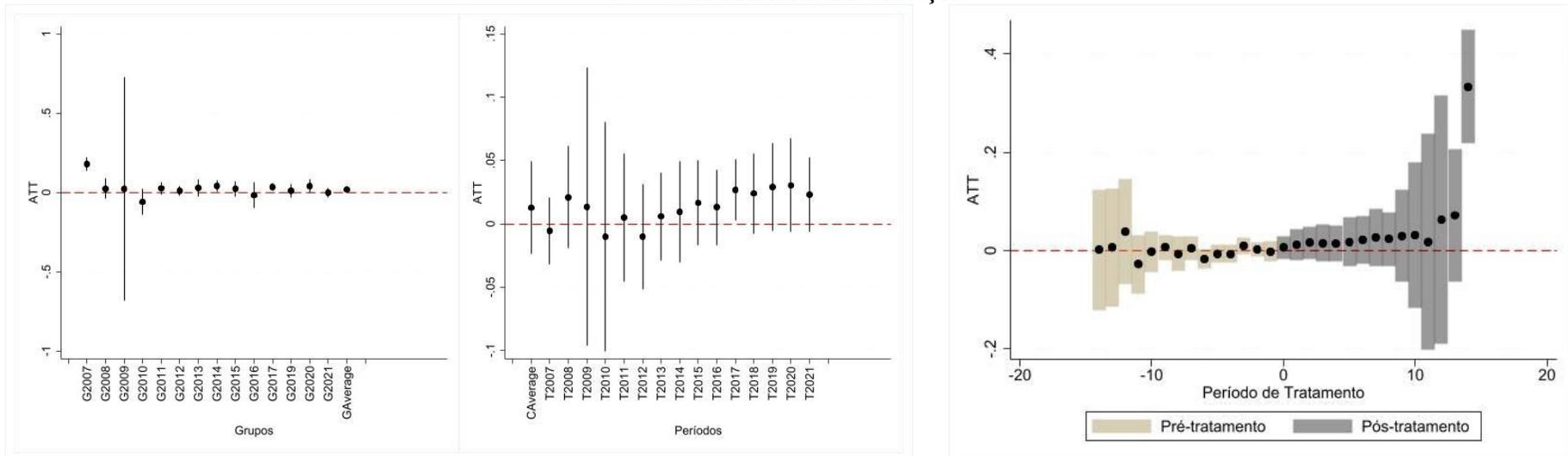
b. Valor Adicionado Agropecuária

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024).

Gráfico C11 – Efeito Médio do Tratamento, por grupos e períodos, Amostra 3 (2007-2021) (continuação)



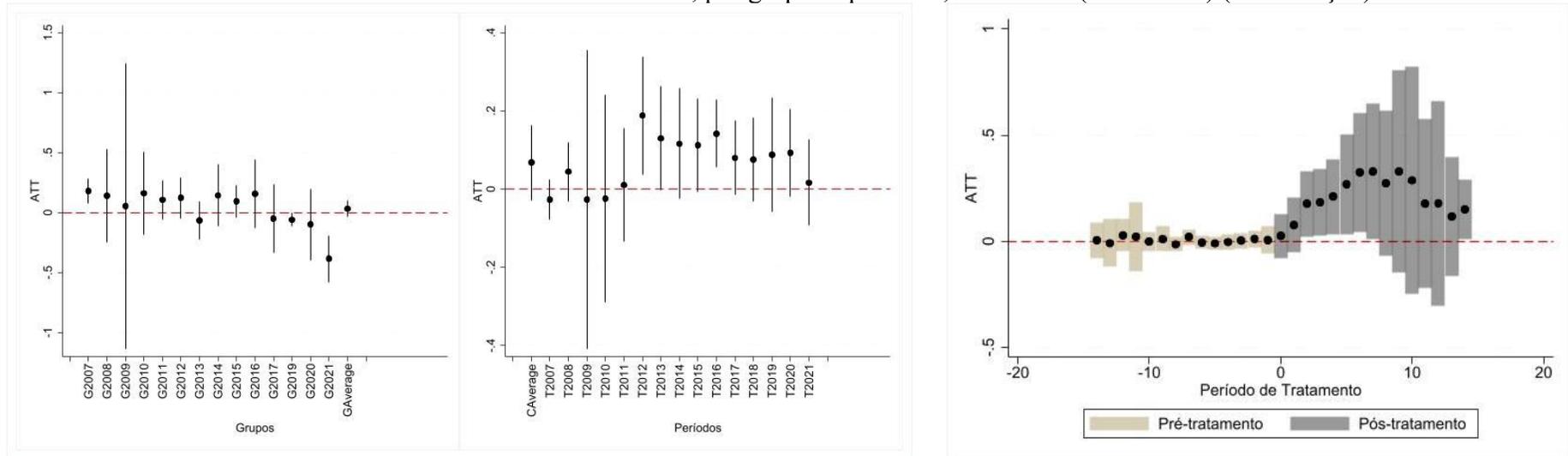
c. Valor Adicionado Serviços



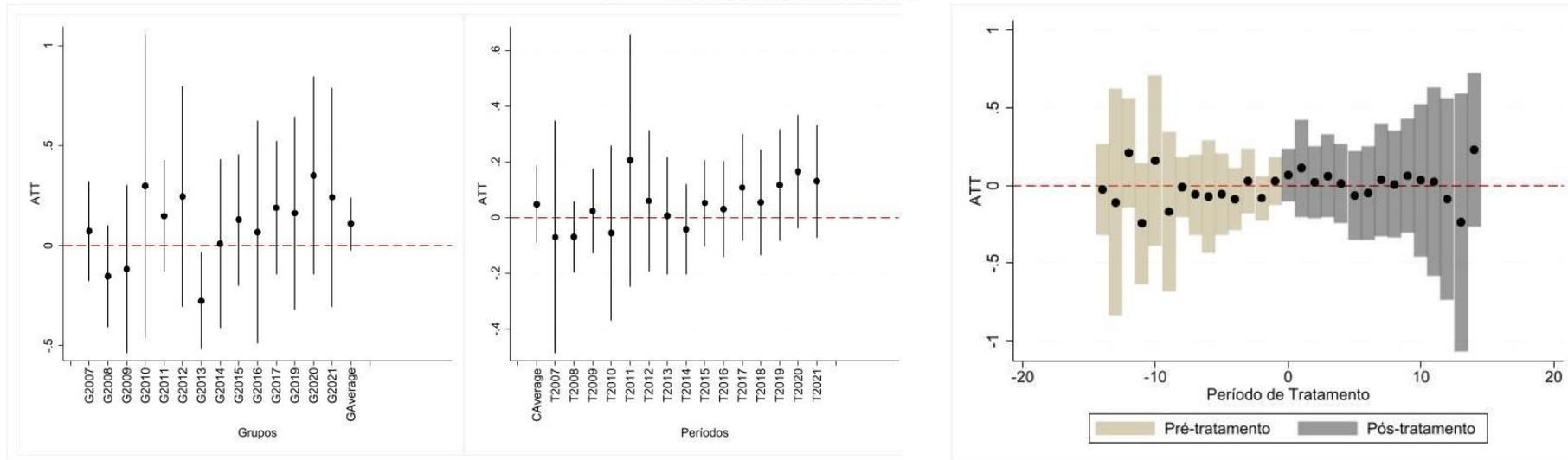
d. Valor Adicionado Administração

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024)

Gráfico C11 – Efeito Médio do Tratamento, por grupos e períodos, Amostra 3 (2007-2021) (continuação)



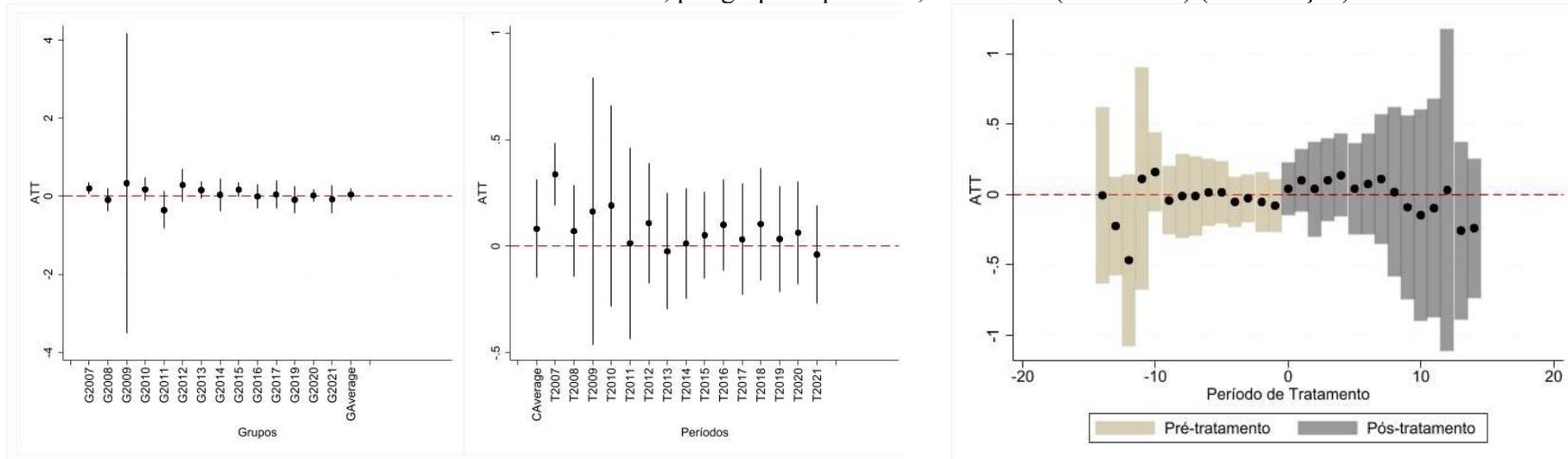
e. Valor Adicionado Total



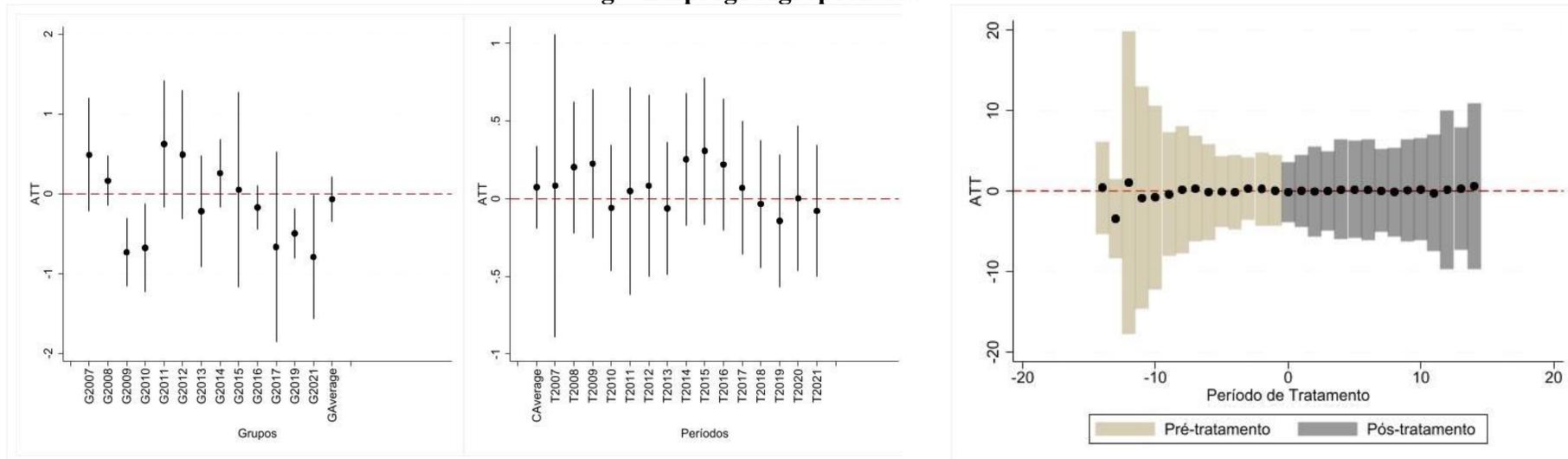
f. Emprego Industrial

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024)

Gráfico C11 – Efeito Médio do Tratamento, por grupos e períodos, Amostra 3 (2007-2021) (continuação)



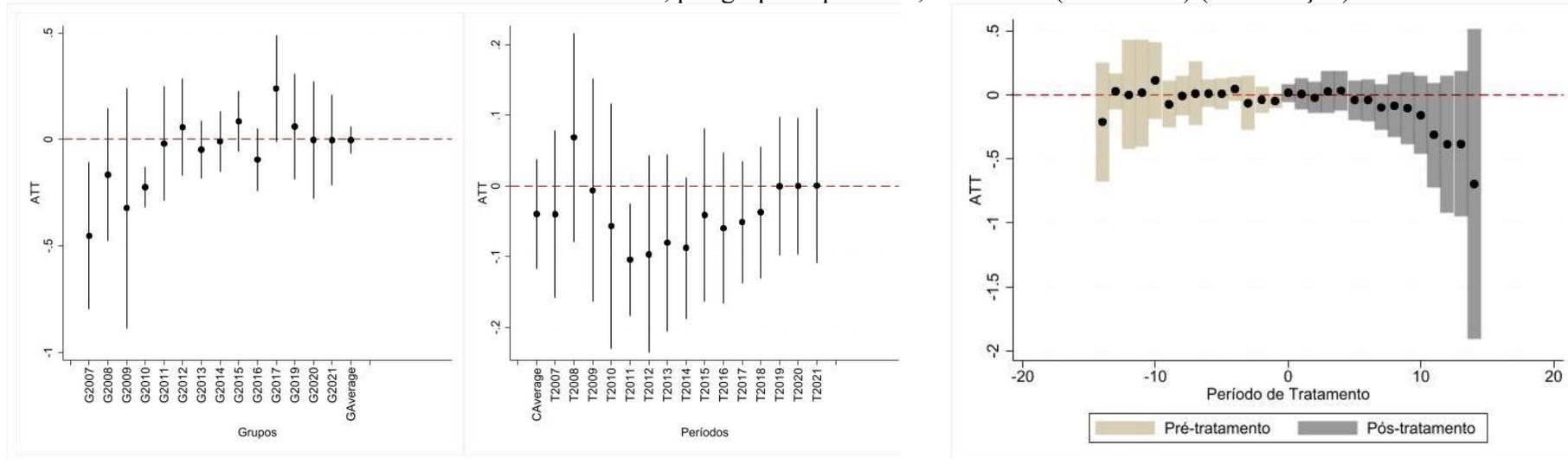
g. Emprego Agropecuária



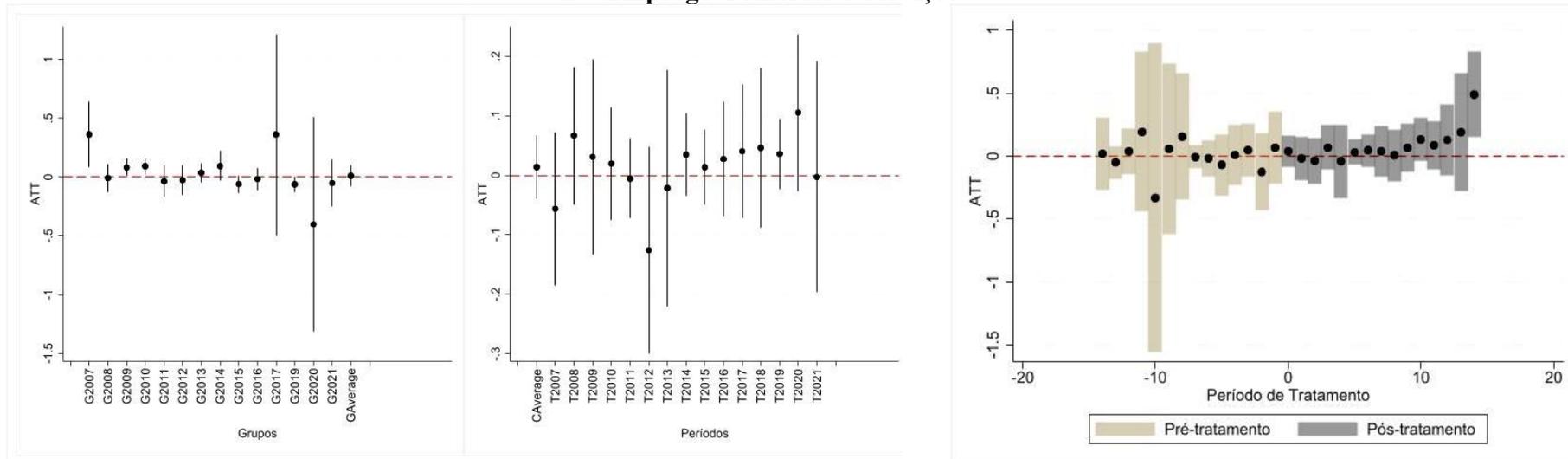
h. Emprego Construção

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024)

Gráfico C11 – Efeito Médio do Tratamento, por grupos e períodos, Amostra 3 (2007-2021) (continuação)



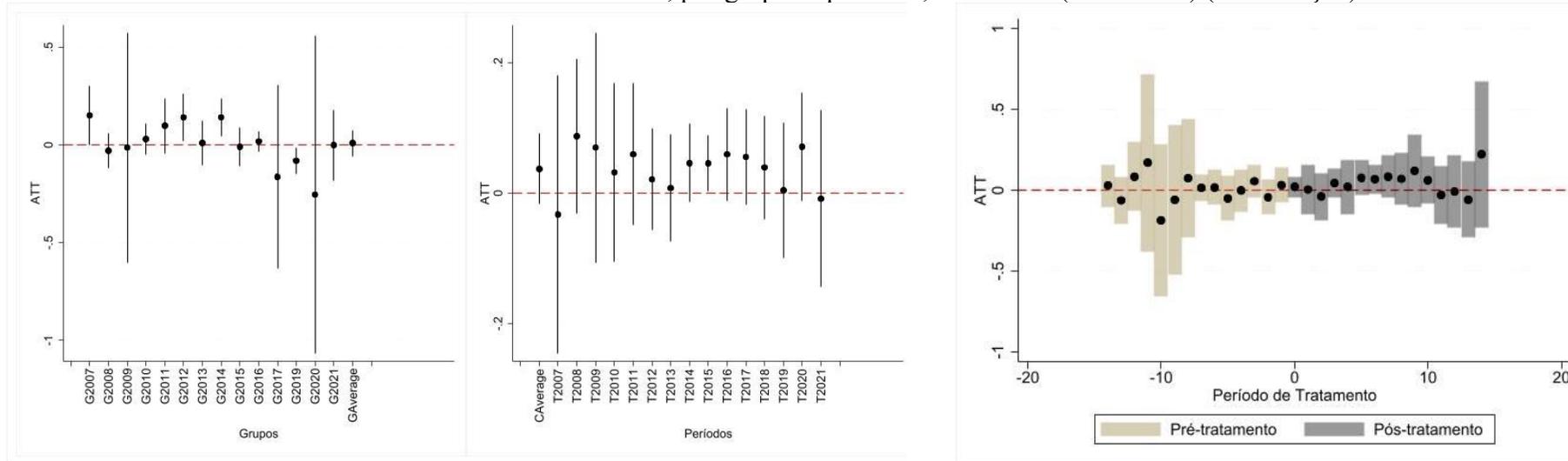
i. Emprego Comércio e Serviços



j. Emprego Administração, saúde e outros

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024)

Gráfico C11 – Efeito Médio do Tratamento, por grupos e períodos, Amostra 3 (2007-2021) (continuação)



k. Emprego Total

Fonte: Elaboração própria, resultados obtidos a partir do *software* STATA (2024)