



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

ELLITAMARA ALVES DE OLIVEIRA MELO

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E O NORDESTE BRASILEIRO: UMA ABORDAGEM  
REGIONAL/LOCAL DA INSERÇÃO DA ENERGIA EÓLICA *ONSHORE*, USANDO  
O MÉTODO DE DIFF-IN-DIFF, NO PERÍODO 1998 a 2024.

NATAL - RN

2025

**ELLITAMARA ALVES DE OLIVEIRA MELO**

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E O NORDESTE BRASILEIRO: UMA ABORDAGEM REGIONAL/LOCAL DA INSERÇÃO DA ENERGIA EÓLICA *ONSHORE*, USANDO O MÉTODO DE DIFF-IN-DIFF, NO PERÍODO 1998 a 2024.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito para obtenção do título de mestrado em Economia. Área de Concentração: Desenvolvimento Econômico.

Orientadora: Luziene Dantas de Macedo

NATAL - RN

2025

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI  
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial do Centro Ciências Sociais Aplicadas -

Melo, Ellitamara Alves de Oliveira.

Transição energética e o nordeste brasileiro: uma abordagem regional/local da inserção da Energia Eólica Onshore, usando o método de Diff-in-diff, no período 1998 a 2024 / Ellitamara Alves de Oliveira Melo. - Natal, 2025.

119f.: il.

Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Economia. Natal, RN, 2025.

Orientação: Profa. Dra. Luziene Dantas de Macedo.

1. Transição energética - Dissertação. 2. Energia eólica onshore - Dissertação. 3. Nordeste brasileiro - Dissertação. 4. Desenvolvimento regional/local - Dissertação. 5. Diff-in-Diff - Dissertação. I. Macedo, Luziene Dantas de. II. Título.

RN/UF/Biblioteca CCSA

CDU 338.1:621.548(81)

Elaborado por Eliane Leal Duarte - CRB-15/355

**ELLITAMARA ALVES DE OLIVEIRA MELO**

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E O NORDESTE BRASILEIRO: UMA ABORDAGEM REGIONAL/LOCAL DA INSERÇÃO DA ENERGIA EÓLICA *ONSHORE*, USANDO O MÉTODO DE DIFF-IN-DIFF, NO PERÍODO 1998 a 2024.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito para obtenção do título de mestrado em Economia. Área de Concentração: Desenvolvimento Econômico.

Orientadora: Luziene Dantas de Macedo

Aprovada em 16 de setembro de 2025.

Dra. LUZIENE DANTAS DE MACEDO, UFRN

Presidente

Dr. FERNANDO CEZAR DE MACEDO MOTA, UNICAMP

Examinador Externo à Instituição

Dr. JOAO PAULO MARTINS GUEDES, UFRN

Examinador Interno

Dr. WILLIAM EUFRASIO NUNES PEREIRA, UFRN

Examinador Interno

NATAL - RN

2025

## CORDEL DE AGRADECIMENTO

Por mim e por minha mãe, Luzeni Oliveira.

Sua licença eu vou pedir,  
Pra minha terra recordar,  
Com um canto de cordel  
Meus afetos vou cantar.  
É jeito de agradecer,  
De honrar meu próprio lar.

E também seus filhos todos,  
Repentistas de primeira,  
Que botam verso e rima  
Numa toada verdadeira.  
E a dona Luzeni,  
Minha mãe, minha guerreira.

Das raízes dos Oliveira  
Que me fizeram germinar,  
Trago a força sertaneja  
Que aprendi a honrar.  
Meu sertão é meu orgulho,  
É meu chão, o meu lar.

Foi quem rima e cadência,  
Deu sentido e poesia,  
Transformando simples palavras  
Nessa rima e melodia.  
Se hoje trago este cordel,  
É saber dela q' alumia.

Honro aqui Seu Zé Gangorra,  
Meu avô de grande coração,  
Homem forte, arretado,  
De bondade e precisão.  
Foi no lume da fogueira  
Que entoou sua canção.

Dessa arte sigo aprendendo,  
Com respeito e com melhora,  
Pois Luzeni é a mestra,  
Da toada que aflora.  
Se hoje existe esta obra,  
Porque dela entalha a história.

Começo pedindo licença  
Pra abrir meu coração,  
Nessa peleja da vida  
Que foi cheia de emoção.  
De 2021 a 2024,  
Foi luta, foi tentação.

Tantas vezes me perguntei  
Se eu ia mesmo aguentar,  
Se o sonho que carregava  
Eu podia realizar.  
Mas aí vinha as flores,  
Pra na luta ajudar.

Minha família querida,  
Foi o alicerce e o chão,  
Minha mãe, força danada,  
Meu pai, inspiração.  
Mesmo com pouco recurso,  
Me deram sempre a mão.

Mãe, agradeço demais  
Por toda fé sem medida,  
Por panfleto distribuído,  
Por me ensinar sobre a vida.  
Pai (em memória), obrigada  
Por ser luz nessa partida.

Meu coração fora do peito,  
Seu Eronilson me fez sonhar,  
A cavalgar me ensinou,  
Com seu jeito peculiar.  
Sem ter tido pai por perto,  
Ainda assim, soube amar.

Com cinco anos de idade,  
Nas roças de algodão,  
Pegou cedo a enxada,  
Fez da luta uma lição.  
Foi pai amado e presente,  
Minha eterna inspiração.

Não pôde ir para a escola,  
Mas na vida se formou,  
Com coragem me apoiava,  
Sempre por perto ele andou.  
Na ausência de seus cadernos,  
Maior exemplo formou.

Meus irmãos tão amados,  
De carinho e de calor,  
Pelas risadas e choros,  
Pelo apoio, pelo amor,  
Meu orgulho, minha força,  
Meu abraço protetor.

Pros meus irmãos queridos,  
Eroneiffson e Erondeiverson,  
Companheiros de jornada,  
De afeto o ano inteiro,  
Razão do meu orgulho,  
E o meu canto verdadeiro.

E ao caçula Ellidegleyson,  
Meu irmão 'advogado',  
Pela direção perigosa  
Ao hospital, lado a lado,  
Meu orgulho, minha força,  
Companheiro abençoado.

Pela hidratação carinhosa  
Na minha careca pós-químio,  
Pelo cuidado paciente  
Que aliviava meu destino,  
Agradeço com emoção  
Esse gesto tão divino.

À minha irmã Edinavit,  
Alma minha repartida,  
Segurou firme minha mão  
Nesta estrada tão sofrida.  
Deu coragem e me acalmou,  
Devolveu-me pra vida.

Ao meu esposo agradeço,  
Torcida sempre ao meu lado,  
Com cuidado e com silêncio,  
Com carinho delicado.  
Até nos pratos refeitos,  
Meu gosto foi respeitado.

Às minhas cunhadas amadas,  
E ao cunhado querido,  
Agradeço o carinho,  
E o apoio recebido.  
Foram braços que abraçaram  
Pelo caminho percorrido.

Ao meu sobrinho Eitor,  
Primeira luz a brilhar,  
Chegou trazendo alegria,  
Fez meu peito se acalmar.  
É farol de minha vida,  
Razão doce de amar.

À Cilene, tia querida,  
Mulher forte, destemida,  
Te agradeço a coragem  
E as palavras de harmonia.  
Foste meu porto em mar agitado  
Quando o rumo se perdia.

Pros colegas do mestrado,  
Raíssa, Wesley, Rafael  
Rodolfo e Ismael,  
Companhia sempre leal.  
Jornada tão privilegiada,  
Com vocês virou cordel.

Entre lanches e conversas,  
Risos e estrada,  
As saideiras vividas,  
Lembrança tão marcada.  
A melhor parte, eu digo,  
Da vida inteira mestrada.

Thaise, amiga querida,  
Que escutou minha tormenta,  
Psicóloga sem diploma,  
Mas que tudo ela aguenta,  
Foi abrigo e foi conselho,  
Foi certeza que me sustenta.

Caio e Larissa, presentes,  
Mesmo de longe, mandaram  
Palavra, força e carinho,  
E comigo ficaram.  
Na distância, os corações  
Ainda mais se aproximavam.

Aos meus mestres da UFRN,  
Meu respeito e gratidão,  
Que plantaram suas sementes  
No solo do meu chão.  
Foram gestos, foram falas,  
Foram farol e direção.

Minha orientadora, Luziene,  
Grande estrela, grande guia,  
Mostrou a beleza da pesquisa,  
Que inspira e alumia.  
Na tristeza e nas sombras,  
Foi o farol que me sorria.

Ao GEPETIS e ao LISAT,  
E também ao LABPLAN,  
Foram escola de saber,  
Guiando com afã.  
Devo muito a esses grupos,  
Pesquisadores que sou fã.

Já na UFRN encontrei  
Formação e aprendizado,  
Dando abrigo e ajuda,  
Pr'um coração entusiasmado.  
É dela que levo orgulhosa  
O diploma conquistado.

À CAPES eu agradeço,  
Pela bolsa concedida,  
Que deu suporte e respiro  
Pra seguir nesta subida.  
Sem essa, eu confesso,  
Seria dura essa lida.

E pra fechar essa toada,  
Digo do fundo do peito:  
Se cheguei até aqui  
Foi força e garra, eu reconheço,  
Com carinho, muito obrigada  
Meu cordel tá satisfeito.

Ao meu pai (*in memore*).

Que partiu antes de me ver concluir este mestrado, mas com tudo que tinha me apoiou.

*"O desenvolvimento é uma viagem com mais náufragos do que navegantes"*

*Eduardo Galeno. 2022.*

## RESUMO

Este trabalho visa analisar a inserção das energias renováveis no Nordeste brasileiro, em especial da energia eólica *onshore*, e suas implicações para o desenvolvimento regional/local usando o método de Diferenças em Diferenças, com múltiplos períodos. A base de dados contempla informações em painel para o período de 1998 a 2024, provenientes da RAIS, IBGE, ANEEL, Novo Atlas e IPEA. O modelo econométrico permitiu identificar duas fases distintas de inserção da energia eólica no país, possibilitando avaliar os efeitos dinâmicos de forma escalonada ao longo do tempo. Os resultados mostram impactos positivos no emprego e na renda média, especialmente a partir do período compreendido com o aprofundamento da segunda fase, indicando maior dinamismo econômico associado à expansão da atividade. Além disso, o Valor Adicionado Bruto (VAB) apresentou trajetória crescente em todo o período analisado, reforçando a relevância da energia eólica como vetor de transformação produtiva regional. Os resultados corroboram a hipótese inicial de que tais impactos possuem intensidades e características distintas nos diferentes estágios de expansão, refletindo a contribuição deste estudo para o debate acerca da transição energética no contexto das especificidades regionais e dos impactos territoriais.

**Palavras-chave:** Transição energética. Energia eólica *onshore*. Nordeste brasileiro. Desenvolvimento regional/local. Diff-in-Diff.

## ABSTRACT

This study aims to analyze the insertion of renewable energy in Brazil's Northeast, with a particular focus on onshore wind power, and its implications for regional and local development using a multi-period Difference-in-Differences approach. The database comprises panel data for the period from 1998 to 2024, drawing on information from RAIS, IBGE, ANEEL, the Novo Atlas, and IPEA. The econometric model made it possible to identify two distinct phases in the insertion of wind energy in the country, allowing for the evaluation of dynamic effects in a staggered manner over time. The results indicate positive impacts on employment and average income, especially from the period associated with the deepening of the second phase, suggesting greater economic dynamism linked to the expansion of wind energy activity. In addition, Gross Value Added (GVA) followed an upward trajectory throughout the entire period analyzed, reinforcing the relevance of wind energy as a driver of regional productive transformation. Overall, the findings support the initial hypothesis that these impacts differ in intensity and characteristics across the various stages of expansion, highlighting the contribution of this study to the debate on energy transition within the context of regional specificities and territorial impacts.

**Keywords:** Energy transition. Wind energy. Northeast Brazil. Regional/local development. Diff-in-Diff.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Inserção das fontes renováveis na matriz elétrica do Nordeste (2009 a 2023). .....	69
<b>Tabela 2</b> - Número de empreendimentos e potência outorgada de usinas eólicas e solares por recorte regional.....	73
<b>Tabela 3</b> - Diff-in-diff.....	83
<b>Tabela 4</b> - Impactos médios do tratamento por fase da expansão eólica: emprego, massa salarial e VAB. ....	103

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Participação percentual das emissões de CO <sub>2</sub> por setor, no mundo (2022)..	43
<b>Figura 2</b> - Participação por setor de emissão de CO <sub>2</sub> , no Brasil (1990-2023).....	44
<b>Figura 3</b> - Participação percentual na oferta global de energia, por fonte (1973 e 2022). .....	47
<b>Figura 4</b> - Quantidade de empreendimentos por fonte renovável em operação no Brasil, 1998-2023.....	55
<b>Figura 5</b> - Saldo comercial de energia elétrica no Brasil (em GWh), 2000 a 2023.....	56
<b>Figura 6</b> - Crescimento acumulado e quebra estrutural de inserção de usinas eólicas no Brasil, entre os anos de 1998 e 2024. ....	60
<b>Figura 7</b> - Fases de inserção das energias no Brasil. ....	62
<b>Figura 8</b> - Quantidade de empreendimentos por fonte renovável em operação no Nordeste, 1998-2023. ....	68
<b>Figura 9</b> - Localização da cadeia produtiva da energia eólica no território nacional....	75
<b>Figura 10</b> - Percentual por tipo componente e por localização da cadeia produtiva no Nordeste.....	77
<b>Figura 11</b> - Usinas eólicas em Operação e Construção, por região, UF e classe (RM x Demais).....	78
<b>Figura 12</b> - Vida útil das usinas na região Nordeste.....	80
<b>Figura 13</b> - Densidade demográfica: comparação Tratamento–Controle (boxplot, Nordeste). ....	93
<b>Figura 14</b> - Localização dos municípios de tratamento e de controle - Nordeste. ....	94
<b>Figura 15</b> - Análise pré e pós-tratamento sobre o emprego.....	97
<b>Figura 16</b> - Análise pré e pós-tratamento sobre renda média. ....	99
<b>Figura 17</b> - Análise pré e pós-tratamento sobre Valor Adicionado Bruto.....	101

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Ciclos históricos da dinâmica energética global.....	40
<b>Quadro 2</b> - Resultados dos modelos de tendência e mudança estrutural da energia eólica no Brasil (1998–2024).....	61
<b>Quadro 3</b> - Estatísticas descritivas por grupo (tratamento versus controle) para o Nordeste.....	92
<b>Quadro 4</b> - Variáveis.....	95

## LISTA DE SIGLAS

ACR – AMBIENTE DE COMERCIALIZAÇÃO REGULADO.

AIE – AGÊNCIA INTERNACIONAL DA ENERGIA.

AL – ALAGOAS.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.

ATT – AVERAGE TREATMENT EFFECT ON THE TREATED (EFEITO MÉDIO DO TRATAMENTO SOBRE OS TRATADOS).

ATT(G,T) – AVERAGE TREATMENT EFFECT ON THE TREATED FOR GROUP G AT TIME T.

BA – BAHIA.

CAF - BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.

CCEE - CÂMARA COMERCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA.

CE – CEARÁ.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISA DE ENERGIA ELÉTRICA.

CETESB/SP – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO.

CMMAD – COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO.

CO<sub>2</sub> – DIÓXIDO DE CARBONO.

COP – CONFERÊNCIA DAS PARTES.

COP 3 – TERCEIRA CONFERÊNCIA DAS PARTES.

COP 15 – DÉCIMA QUINTA CONFERÊNCIA DAS PARTES.

COP 21 – VIGÉSIMA PRIMEIRA CONFERÊNCIA DAS PARTES.

COPS – CONFERÊNCIAS DAS PARTES (PLURAL).

CSA – CONFEDERAÇÃO SINDICAL DAS AMÉRICAS.

DIFF-IN-DIFF – DIFFERENCES IN DIFFERENCES (DIFERENÇAS EM DIFERENÇAS).

ECO-92 – CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA.

EUA – ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA.

GEE – GASES DE EFEITO ESTUFA.

GEOBR/IBGE – BASE CARTOGRÁFICA DO IBGE.

GIZ – DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT.

GW – GIGAWATT (MEDIDA DE POTÊNCIA).

GWH – GIGAWATT-HORA.

GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

IDHM – ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO MUNICIPAL.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY.

IEMA – INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA.

IPEA DATA – PLATAFORMA DE DADOS DO IPEA.

IPCA – ÍNDICE NACIONAL DE PREÇOS AO CONSUMIDOR AMPLO.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.

IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY.

KW – QUILOWATT.

KWH – QUILOWATT-HORA.

LER – LEILÃO DE ENERGIA DE RESERVA.

MG – MINAS GERAIS.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA.

MT – MEGATONELADAS.

MW – MEGAWATT.

MWH – MEGAWATT-HORA.

NAFTA – NORTH AMERICAN FREE TRADE AGREEMENT.

NE – NORDESTE.

O&M – OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS.

°C – GRAUS CELSIUS.

PIB – PRODUTO INTERNO BRUTO.

PE – PERNAMBUCO.

PNAD – PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIO.

PNDS – PLANOS NACIONAIS DE DESENVOLVIMENTO.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO.

PR – PARANÁ.

PROEÓLICA – PROGRAMA EMERGENCIAL DE ENERGIA EÓLICA.

PROINFA – PROGRAMA DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA ELÉTRICA.

R – SOFTWARE ESTATÍSTICO R.

RAIS – RELAÇÃO ANUAL DE INFORMAÇÕES SOCIAIS.

RED – RELATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO.

REN – RENEWABLES NOW.

REN21 – RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY.

RN – RIO GRANDE DO NORTE.

RJ – RIO DE JANEIRO.

RM – REGIÃO METROPOLITANA.

RMS - REGIÕES METROPOLITANAS.

SC – SANTA CATARINA.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA.

SIDRA IBGE – SISTEMA DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA DO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

SIGAANEEL – SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.

SIN – SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL.

SP – SÃO PAULO.

UF – UNIDADE DA FEDERAÇÃO.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE.

VAB – VALOR ADICIONADO BRUTO.

WEC – WORLD ENERGY COUNCIL.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	23
<b>2. TRANSIÇÃO ENERGÉTICA ATUAL E O PAPEL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS: UMA OLHAR SOBRE A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL E A IDEIA DE DESENVOLVIMENTO</b> .....	35
2.1 <b>A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES</b> .....	38
<b>3. O NORDESTE DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS: UMA PROMESSA DE DESENVOLVIMENTO</b> .....	52
3.1 <b>UM OLHAR SOBRE O BRASIL E AS ENERGIAS RENOVÁVEIS MODERNAS</b> .....	52
<b>3.1.1 Inserção das energias renováveis no território nacional</b> .....	57
3.2 <b>O NORDESTE COMO ESPAÇO ESTRATÉGICO DO PROCESSO DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO PAÍS: UMA REFLEXÃO À LUZ DA GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL MODERNA NA REGIÃO</b> .....	65
<b>3.2.1 Localização espacial da cadeia produtiva da energia eólica no país</b> ....	73
<b>4. IMPACTO REGIONAL VERSUS LOCAL: METODOLOGIA E RESULTADOS</b> .....	82
4.1 <b>METODOLOGIA</b> .....	82
<b>4.1.1 Formação dos grupos de tratamento e controle</b> .....	88
<b>4.1.2 Variáveis utilizadas</b> .....	95
4.2 <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	96
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	104
<b>APÊNDICE</b> .....	118
<b>A - Fluxograma da elegibilidade e pareamento da amostra</b> .....	118

B - Box Plot da densidade demográfica da amostra geral depois da retirada dos outliers. .....	119
C - Municípios por UF e grupos (controle e tratamento).....	120
D - Testes estatísticos realizados para identificação das fases da expansão da energia eólica no Brasil (1998–2024).....	121

## 1. INTRODUÇÃO

Os temas desenvolvimento sustentável e transição energética configuram um marco nas discussões atuais sobre mudança climática e descarbonização da economia, estando intrinsecamente associados à extrapolação do uso da energia e recursos naturais, nos processos de produção e consumo, que têm como resultado imediato a geração de resíduos, lixo, poluição, implicando a necessidade de gerir melhor os recursos naturais como base para a redução dos efeitos da ação antrópica sobre o meio ambiente.

Para Chomsky e Pollin (2020), a humanidade está enfrentando problemas radicalmente distintos em nossa história, a ameaça de destruição de qualquer forma de vida possível neste planeta, o que torna premente a mudança de paradigma de desenvolvimento da sociedade, de modo a “colocar no nosso horizonte realista ações que assegurem a sobrevivência das espécies na terra e nos mares, a manutenção das condições de reprodução da nossa própria vida” (Sachs, Lopes e Dowbor, 2014, p. 38).

Polychroniou, economista e cientista político, argumentou na introdução do livro intitulado “Crise climática e o Green New Deal Global” (Chomsky e Pollin, 2020), que a humanidade está enfrentando a maior crise existencial de todos os tempos, decorrente das mudanças climáticas, cujas consequências já haviam sido esboçadas há mais de 40 anos no relatório “Os limites do crescimento<sup>1</sup>”, publicado em 1972, e na primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, no mesmo ano, quando a questão ambiental foi colocada no centro das discussões globais.

A mudança de paradigma que a sociedade começava a requerer nesse momento tinha por base não somente os limites físicos ao crescimento, imposto pela finitude do sistema mundial, mas também as restrições políticas, sociais e institucionais, decorrentes

---

<sup>1</sup> O documento intitulado “Limites do Crescimento”, elaborado pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), em atendimento à solicitação do Clube de Roma, chamava a atenção para o fato de que “se as tendências atuais de crescimento populacional mundial, industrialização, poluição, produção de alimentos e esgotamento de recursos continuam inalteradas, os limites do crescimento neste planeta serão atingidos em algum momento nos próximos cem anos. O resultado mais provável será um declínio repentino e incontrolável tanto da população quanto da capacidade industrial” (Meadows et al., 1972, p. 23) [tradução nossa].

da distribuição desigual da população e dos recursos no globo, bem como pela incapacidade de gerenciar sistemas muito grandes e complexos (Meadows, et al., 1972).

Iniciou-se a partir deste momento um movimento de internalização da questão ambiental nas discussões mundiais, mas também explicitou os conflitos entre os países desenvolvidos e os não desenvolvidos<sup>2</sup> (Barbieri, 2014), culminando no estabelecimento de diretrizes, metas e exigências ambientais, “seja por pressão dos movimentos ambientalistas, mediante denúncias, manifestações, boicotes, seja através das próprias iniciativas empresariais que se apropriaram do discurso ambiental” (Portilho, 2005, p. 26), destacando-se a Declaração da Conferência da ONU sobre o Ambiente Humano, com seus 27 princípios chamando a atenção sobre a necessidade “de um critério e de princípios comuns que ofereçam aos povos do mundo inspiração e guia para preservar e melhorar o meio ambiente humano” (CETESB/SP, 2025). Trata-se de um documento que proclama não apenas que o indivíduo tem direito fundamental à liberdade, mas também que os recursos naturais devem ser preservados em favor das gerações presentes e futuras por meio de uma ação ordenada.

Na década de 1970, ocorreu a chamada crise do petróleo e, com ela, a percepção, por parte dos países importadores, “de que a instabilidade no cenário geopolítico conduziria o preço do petróleo a níveis crescentes na década de 1980” (Pinto Jr. et al., 2016, p. 71), implicando, a partir da criação da Agência Internacional da Energia (IEA), em 1974, tomadas de decisão sobre a necessidade de diversificar as fontes de importação de petróleo, substituir o petróleo por outras fontes de energias, como o carvão e a energia nuclear; e de implementar políticas voltadas à instituição de mecanismos visando a racionalização da utilização da energia (Martin, 1992).

Entre as décadas de 1980 e 1990, outros períodos de debate foram essenciais para evidenciar as questões ambientais e a urgência de aprimorar a gestão da relação entre a sociedade e a natureza. No Brasil, foi estabelecida em 1981 a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981), com o objetivo de implementar

---

<sup>2</sup> Estes países se preocupavam “com a poluição industrial, a escassez de recursos energéticos, a decadência de suas cidades, entre outros, enquanto os países não desenvolvidos se voltaram para o problema da pobreza e a possibilidade de alcançar os níveis de desenvolvimento do que se conhecia até aquele momento” (Barbieri, 2014).

mecanismos voltados à preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental que favoreça a vida e as condições para o desenvolvimento socioeconômico.

Por meio de determinados princípios estabelecidos na referida lei, buscava-se mitigar o atraso na institucionalização das questões ambientais no Brasil, que não haviam sido integradas nos planos de industrialização nacional, fundamentados no processo de substituição de importações desde a década de 1930, e com maior intensidade a partir da década de 1950. Nessa época, almejava-se diversificar a matriz industrial do país com a introdução de bens de consumo duráveis, além de incorporar os Planos Nacionais de Desenvolvimento (PNDs), que foram implementados a partir dos anos 1970, seguindo uma estratégia de crescimento econômico voltada para a realização de investimentos públicos, relacionados às empresas estatais, em setores essenciais de infraestrutura, como energia, rodovias, siderurgia, metalurgia, bens de capital, comunicação e insumos básicos, entre outros (Souza, 2007).

Conforme Rodrigues (2014), a inclusão da temática ambiental na estrutura institucional e política do Brasil se processou de maneira gradual, refletindo o contexto internacional, que, igualmente, assimilava progressivamente tais debates nas dimensões econômicas e sociais das políticas voltadas para a ampliação da produção e do consumo nos países (Le Prestere, 2000; Corrales, 2007; Dominguez, 2010, Apud Rodrigues, 2014).

Dessa forma, no Brasil, o vazio ambiental, durante todo o período de ampliação do processo de acumulação de capital para a formação de um mercado interno e o crescimento econômico, não se fez acompanhar pelo ônus socioambiental que essas indústrias deixavam no ecossistema natural, notadamente relacionado à poluição industrial. Isso se deve ao fato de que "até a década de 1970, não existia um órgão especificamente voltado ao controle ambiental" (Lustosa et al., 2018).

Sob uma perspectiva global, a década de 1980 representa um novo progresso no debate ambiental, com a divulgação, em 1987, pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) da ONU, do documento denominado "Nosso Futuro Comum", comumente referido como o relatório de Brundtland. Esse relatório apresentou uma concepção de desenvolvimento à luz da sustentabilidade, a qual é definida como "aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras a atenderem a suas próprias necessidades" (CMMAD, 1991, p. 46). Isto

é, a concepção de desenvolvimento delineada neste documento evidencia a preservação do meio ambiente como um componente essencial na busca pelo progresso, transformando-se em um “princípio orientador central de governos e instituições privadas, organizações e empresas” (Veiga, 2015, p. 6).

A discussão acerca do desenvolvimento assumiu uma concepção de progresso que ultrapassa o mero crescimento econômico (Sachs, 2009) e, de maneira geral, representava o compromisso racional e ecologicamente sustentável em relação à natureza, em prol das comunidades locais e da preservação da biodiversidade.

Nesse contexto, o conceito de desenvolvimento sustentável é frequentemente abordado sob a ótica das dimensões econômica, social, ambiental e institucional (Carvalho e Barcellos, 2018), reconhecendo sua natureza multidimensional e multifacetada na sociedade contemporânea, onde a complexidade das questões socioambientais e econômicas se entrelaça com o processo de transformação do Planeta Terra, “crescentemente ameaçado, mas também diretamente afetado pelos riscos socioambientais e seus danos” (Jacobi, 2003, p. 191), perceptíveis nos eventos extremos e no aumento da temperatura global.

Em 1992, ocorreu no Rio de Janeiro a Conferência conhecida como Eco-92 ou Cúpula da Terra, um evento emblemático que promoveu o debate sobre questões ambientais no contexto internacional, abordando temas como crescimento populacional, urbanização e tecnologia (Phillippi Jr. e Malheiros, 2012). Durante esta conferência, a noção de desenvolvimento sustentável foi formalmente introduzida, enfatizando a necessidade de que os países desenvolvidos suportem os maiores custos relativos à degradação ambiental. Isso deve ocorrer por meio da implementação de programas ambientais, sem negligenciar, no entanto, as dificuldades enfrentadas pelas nações mais vulneráveis em termos econômicos e ambientais, particularmente aquelas localizadas na África, com especial atenção à erradicação da pobreza (Mendonça e Dias, 2019).

Entre as declarações e os acordos firmados na Rio-92, ressalta-se a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (em inglês, *United Nations Framework Convention for Climate Change* - UNFCCC), que, ao entrar em vigor em 1994, reconheceu a existência de um problema a ser abordado: uma crise climática sem precedentes, que requeria a adoção de medidas específicas, especialmente no que

tange à estabilização das concentrações de Gases de Efeito Estufa (GEE). Essa situação somente poderia ser enfrentada se os países desenvolvidos assumissem a liderança na redução dessas emissões, além de direcionarem novos recursos para ações de adaptação e mitigação climática em nações em desenvolvimento (UNFCCC, 2025).

A busca por soluções climáticas abrange, ainda, o primeiro tratado internacional relacionado à diminuição das emissões de GEE - Protocolo de Kyoto, assinado em 1997, durante a Conferência das Partes (COP 3), que ocorreu na cidade de Kyoto, no Japão. Nesse evento, destacavam-se "responsabilidades obrigatórias para o enfrentamento das mudanças climáticas, tanto do ponto de vista do aporte de soluções tecnológicas, de recursos e do pioneirismo nas políticas públicas, sobretudo as climáticas e as energéticas" (Souza e Corazza, 2017, p. 76).

Além disso, na COP 15, ocorrida em 2009 em Copenhague, Dinamarca, reafirmou-se que as alterações climáticas constituem um dos mais significativos desafios contemporâneos, demandando, assim, sua mitigação, em consonância com o princípio das responsabilidades comuns, mas diferenciadas, e das respectivas capacidades, tendo como fundamentação o objetivo final da convenção referida, ou seja:

estabilizar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que impeça interferências antropogênicas perigosas no sistema climático, reconhecendo a visão científica de que o aumento da temperatura global deve ser inferior a 2 graus Celsius, [...] no contexto do desenvolvimento sustentável (UNITED NATIONS, UNFCCC, 2010, p. 5).

Dentre diversas Conferências das Partes (COPs) que ocorreram, um evento significativo nesse contexto foi a COP 21, realizada em 2015, em Paris, França, na qual se enfatizava que o planeta não parava de se aquecer (Yergin, 2023). Tal situação demandava a criação de "um pacto de adoção de medidas com a intenção de impedir que as temperaturas se elevassem a 2°C acima dos níveis pré-industriais neste século - e esperava-se garantir que a elevação ficasse abaixo de 1,5°C" (Yergin, 2023, p. 369).

Trata-se de um desafio complexo, pois, além de o documento do IPCC (2023) ter destacado as implicações para a temperatura média global caso esta supere a marca de 2°C, o enfrentamento da crise climática demanda a centralização no debate e na formulação de decisões de um modelo de produção, consumo e modos de vida intensivos em carbono, predominantes nos países desenvolvidos, que são considerados os principais

emissores de Gases de Efeito Estufa (GEE). Ademais, inclui também as economias que ainda lidam com níveis de pobreza e escassez de oportunidades para a melhoria das condições de vida, como a África Subsaariana e regiões do sul da Ásia.

Nesse contexto, é essencial compreender que os impactos das alterações climáticas afetam de forma desigual os diferentes grupos de países. Ademais, torna-se necessário que os setores com maiores emissões de CO<sub>2</sub> estejam no centro das decisões, como os responsáveis pela geração de eletricidade e calor (aquecimento e resfriamento), reconhecidos como os principais emissores de CO<sub>2</sub>, seguidos pelos setores de transporte e industrial. Conforme informações da Agência Internacional de Energia (IEA, 10 de junho de 2025), o setor de geração de eletricidade e calor emitiu, em 2022, praticamente o dobro das emissões registradas em 1990, totalizando 14.945,85 Mt CO<sub>2</sub>, o que resultou em uma taxa média de crescimento de 2,1% ao longo de 32 anos.

Com o aumento das discussões a respeito da atual transição energética, que teve sua origem no choque do petróleo da década de 1970 (Smil, 2017), emerge a importância de examinar as assimetrias regionais que vão além das questões tecnológicas ou da diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Isto é, no processo de transição energética, é necessário também considerar o dimensionamento da promoção de padrões de aproveitamento dos recursos renováveis, os quais estão distribuídos de maneira desigual ao redor do planeta. Isto se deve ao fato de que o enfrentamento das mudanças climáticas, que envolve a transformação da matriz energética para aumentar a representatividade das fontes renováveis, considerando especialmente a dependência global do uso de combustíveis fósseis, evidencia um dilema entre política energética e política ambiental (Pinto Jr., et al., 2016). Esse contexto leva à necessidade de discutir os aspectos estruturais vinculados às maneiras de produzir, consumir e distribuir energia, assim como suas repercussões territoriais e sociais.

Neste contexto, o Brasil destaca-se globalmente por possuir uma matriz elétrica cuja capacidade de geração de eletricidade é predominantemente oriunda de fontes renováveis, com ênfase em energia hídrica, eólica *onshore*, solar fotovoltaica e biomassa moderna. Esse fato deve-se, em grande parte, às condições geográficas naturais favoráveis do país, que possibilitam a implementação de um processo de diversificação da matriz energética, complementando a transição energética nacional. Essa diversificação expande as oportunidades de geração de energia e marca a reestruturação

do setor elétrico brasileiro, iniciada em 2003, fundamentada na segurança do abastecimento, na modicidade tarifária e na universalização do acesso à eletricidade (Pinto Jr. et al., 2016).

As características naturais do Brasil para a produção de eletricidade sobressaem-se, principalmente na região Nordeste, devido à disponibilidade de recursos naturais, especialmente o vento e a radiação solar, reunindo, dessa forma, a maior parte dessas fontes nos diversos territórios. Entretanto, a significativa inserção dos projetos de energia renovável se dá em uma área caracterizada por desigualdades históricas e por uma prolongada perspectiva de desenvolvimento fundamentada em um modelo de exploração intensiva dos recursos naturais.

Dessa forma, ao examinar os efeitos das ações originadas pelos projetos de energias renováveis, com ênfase na fonte eólica *onshore* localizada na Bahia, Rio Grande do Norte, Piauí e Ceará, que concentram mais de 50% da capacidade dos empreendimentos existentes no Brasil (seja em operação, construção ou ainda não iniciados), este estudo visa contribuir para o debate acerca da transição energética em contextos regionais e locais, além do desenvolvimento sob a ótica da sustentabilidade.

O trabalho enfatiza a relevância de se elaborar políticas públicas que integrem as especificidades territoriais, levando em consideração os diferentes vetores de investimento presentes globalmente e, especificamente, no Brasil, no âmbito da evolução das energias renováveis do país. A natureza desses investimentos “gera economias de aglomeração e de urbanização, normalmente não generalizáveis” (Macedo, 2023, p. 206), o que impede o avanço do espaço nos termos propostos por Hirschman (1961), ou seja, quando o investimento provoca encadeamentos internos suficientes para romper com as estruturas de dependência.

Considerando que a região Nordeste do Brasil se destaca como a principal área que concentra a maior capacidade fiscalizada de geração de energia renovável moderna em funcionamento, englobando a energia eólica *onshore* e a energia solar fotovoltaica, em um sistema centralizado totalizando 40,6 GW (ANEEL, 04 de agosto de 2025), correspondendo a 78,3% do total das instalações operacionais no país, este estudo visa analisar de que maneira tais investimentos geram efeitos de encadeamento interno nos locais que recebem esses aportes, em relação a melhorias tanto quantitativas quanto qualitativas no território em questão. De maneira mais precisa, busca-se analisar de que

forma a geração de energia renovável, especificamente oriunda da fonte eólica, auxilia no progresso regional e local do Nordeste. Quais são as repercussões no que se refere ao emprego, à renda e ao valor agregado à economia? Os municípios que acolhem os empreendimentos conseguem usufruir dos efeitos gerados por encadeamentos produtivos? Existem efeitos distribuídos de maneira equitativa por todo o território?

Diversas inquietações orientam a realização deste estudo. Isso se deve a forma como o debate se apresenta na sociedade, ora ressaltando a importância do Nordeste abrigar esses investimentos no afã de atrair empreendedores nos espaços que possuem potencialidade natural para gerar eletricidade por fonte renovável moderna, em razão da discussão que envolve a importância da transição energética no contexto do enfrentamento das mudanças climáticas e da descarbonização da economia, ora trazendo um debate profundo dos impactos sociais e ambientais desses empreendimentos nos territórios (Macedo, 2015, Hofstaetter, 2016 e 2021), controle sobre propriedades, apropriação expressiva da renda da terra pelos empreendedores proprietários dos parques eólicos etc. (Traldi e Rodrigues, 2022; Maia et al., 2022).

Com o intuito de responder/discutir tais questionamentos, sugere-se uma análise que considere as assimetrias e escalas territoriais, assim como a cronologia da ampliação da produção de energia renovável na região Nordeste do Brasil, minuciosamente abordada nesta introdução e na metodologia específica relacionada ao modelo empregado para examinar o objeto de pesquisa apresentado.

A motivação para a execução deste trabalho decorre das reflexões geradas após o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Geração de Energia Eólica *Onshore* no Rio Grande do Norte: uma avaliação sobre o emprego formal e arrecadação tributária”, realizado em 2021. Este estudo suscitou discussões acerca do papel da energia renovável como um elemento impulsionador do desenvolvimento regional e local, além de evidenciar a necessidade de aprofundar as análises que, ao serem realizadas de forma agregada, tendem a uniformizar realidades diversas, desconsiderando os impactos distintos nos subespaços regionais.

A proposta consiste em quebrar com concepções excessivamente unificadas, que ignoram as assimetrias intra e inter-regionais, especialmente em relação a uma área tão heterogênea como o Nordeste brasileiro. Dessa forma, configura-se uma discussão significativa, especialmente quando se agregam outras possibilidades de geração de

energia por fonte renovável, destacando-se recentemente a energia eólica *offshore* e o hidrogênio verde.

Ao apresentar uma análise comparativa que considere os impactos regionais e locais da atividade eólica *onshore* no Nordeste do Brasil, objetiva-se contribuir para as discussões recentes acerca dessa fonte e suas implicações em termos de desdobramentos socioambientais e econômicos nas áreas que acolhem tais empreendimentos. De fato, o trabalho se propõe discutir a geração de energia eólica *onshore*, fonte considerada significativa na matriz elétrica do Nordeste, assim como a solar fotovoltaica. Isso se deve ao fato de que a geração de eletricidade na região conta com 63% de capacidade fiscalizada proveniente de empreendimentos de energia renovável moderna em operação, dos quais 49% são oriundos de eólica *onshore*, a primeira colocada no *ranking*, seguida pela solar fotovoltaica, que representa 14%, enquanto as usinas termelétricas correspondem a 17,4% e as hidrelétricas a 18,8%. (ANEEL, 2025).

Parte-se da premissa de que o processo de integração da energia eólica na região Nordeste pode ser segmentado em duas etapas distintas: a primeira, caracterizada pela ampliação de investimentos externos e pela instalação de parques eólicos *onshore* em diferentes áreas do território brasileiro; no entanto, essa fase não resulta na integração nacional da cadeia produtiva nesses locais que recebem os investimentos. A segunda fase é definida pela implementação de políticas públicas específicas para o setor de energia e pela criação de infraestrutura capaz de sustentar a geração de eletricidade por essa fonte, o que incrementa a capacidade de produção de energia, além de promover a expansão das linhas de transmissão, das subestações e das contratações no ambiente regulado. Nesta etapa, observa-se o início da inserção gradual de parte da cadeia produtiva, com destaque para as primeiras empresas do setor de Operação e Manutenção, situadas no Nordeste brasileiro.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar a inserção das energias renováveis no Nordeste brasileiro, com foco na energia eólica *onshore*, e suas implicações para o desenvolvimento regional/local usando o método de Diferenças em Diferenças (ou Diff-in-Diff) com múltiplos períodos. Para isso, leva-se em conta critérios de modelagem que buscam identificar as assimetrias regionais e locais na análise dos impactos nos espaços diretamente influenciados por tais empreendimentos. Este estudo visa, de maneira específica:

i) Refletir sobre o processo de transição energética no contexto da geração de energia renovável no Nordeste do Brasil;

ii) Identificar e caracterizar as fases de introdução da energia eólica *onshore* na região Nordeste;

iii) Avaliar os efeitos econômicos da atividade, levando em conta indicadores como emprego formal, Valor Adicionado Bruto (VAB) e renda média.

Sob a perspectiva metodológica, a investigação em questão classifica-se como exploratória, a qual, segundo Gil (2002), fundamenta-se no aperfeiçoamento de conceitos ou na revelação de intuições. Para alcançar o tipo de pesquisa sugerido, realizou-se um levantamento bibliográfico acerca do tema em questão, bem como a coleta e a análise de dados secundários, abrangendo informações em painel referentes ao período de 1998 a 2024, originárias, entre outros, do Sistema de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (SIGA/ANEEL), do Sistema de Recuperação Automática do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (SIDRA/IBGE), da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) e do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

O período selecionado para a análise deve-se, principalmente, à disponibilidade de dados e à conformidade com o método de Diferenças em Diferenças. Dessa forma, a opção por iniciar a série em 1998 possibilita a obtenção de um intervalo mais extenso e anterior ao estabelecimento dos primeiros projetos eólicos no Nordeste, assegurando um período temporal adequado para observações sem tratamento. Esse período inicial reforça a identificação do modelo, uma vez que permite comparações mais confiáveis entre os municípios analisados e aqueles que servem como controle, antes da implementação dos empreendimentos.

Ademais, o intervalo de análise compreende os principais ciclos de expansão das fontes renováveis de energia, com destaque para a energia eólica *onshore*, incluindo o período imediatamente posterior à crise de fornecimento energético em 2001, quando foi instituído o PROEÓLICA, estabelecido em 2001, e o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), em 2002; a inserção das energias eólica e solar fotovoltaica no Ambiente de Contratação Regulado (ACR), ocorrida em 2009 e 2014, respectivamente; e o início da pandemia em 2020.

Para realizar a análise empírica, utilizou-se o método de Diferenças em Diferenças com múltiplos períodos, apropriado para identificar os efeitos dinâmicos da introdução dos empreendimentos de energia renovável em questão ao longo do tempo, especialmente ao considerar o crescimento da participação da energia eólica *onshore* e da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica do país, respeitando a heterogeneidade dos impactos e a implementação gradual dos projetos.

A estimação foi realizada no software R, o que permitiu a operacionalização do modelo e a representação gráfica e territorial da distribuição dos empreendimentos eólicos, assim como de seus efeitos ao longo do tempo. Variáveis como a velocidade do vento e a densidade populacional foram empregadas para aprimorar a definição dos grupos de controle e tratados. A inserção do critério climático possibilita a captação da diversidade natural dos territórios com maior potencial para a geração de energia eólica, evitando simplificações exacerbadas que poderiam prejudicar a análise. A densidade demográfica foi assimilada como um modo de expressar as particularidades sociais e territoriais. Assim, procurou-se afastar a categorização generalista e aproximar a pesquisa das condições climáticas e sociais que efetivamente moldam os impactos da inserção da energia eólica na região Nordeste.

Evidencia-se que, mesmo com a potencialidade natural para a geração de eletricidade por essa fonte na região Nordeste, a produção de energia elétrica a partir desse recurso se insere em um contexto de relações "centro-periferia", tanto em âmbito global quanto nacional, gerando, assim, conflitos distributivos que são intrínsecos à dinâmica entre desenvolvimento e subdesenvolvimento. Assim, a implementação da energia eólica na região Nordeste do Brasil se realiza de maneira assimétrica nos territórios contemplados por esses investimentos, além de variar em intensidade durante as duas etapas de introdução da atividade no território nacional, de modo particular no Nordeste.

Este trabalho é organizado em três capítulos, além da introdução. O primeiro capítulo apresenta uma análise teórico-empírica e contextual referente à atual transição energética, evidenciando seus desafios, contradições e oportunidades, além da imprescindibilidade de levar em conta as dimensões políticas, sociais e ambientais na discussão. O segundo capítulo é dedicado ao Nordeste brasileiro, enfatizando as condições estruturais da região e a expectativa de desenvolvimento associada à ampliação das energias renováveis modernas, especialmente a energia eólica e a solar fotovoltaica.

Este capítulo é seguido pelo terceiro, que se divide em dois subtópicos: o primeiro aborda a metodologia utilizada, especificando a formação dos grupos de tratamento e controle, além da aplicação do modelo de Diferenças em Diferenças, com múltiplos períodos; o segundo foca nos resultados empíricos obtidos, analisando os impactos da introdução da energia eólica na região Nordeste. Por último, são expostas as considerações finais, nas quais se resumem os principais achados da pesquisa, evidenciando as contribuições do estudo para o enriquecimento da discussão acerca da transição energética e do desenvolvimento regional/local.

## **2. TRANSIÇÃO ENERGÉTICA ATUAL E O PAPEL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS: UMA OLHAR SOBRE A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL E A IDEIA DE DESENVOLVIMENTO**

A instabilidade da matriz energética contemporânea, fundamentada na dependência de combustíveis fósseis, devido à sua natureza finita, assim como os problemas ambientais gerados pela ocorrência de eventos extremos, como ondas de calor frequentes, queimadas, escassez de água e inundações em decorrência da crise climática, afetam, entre outros aspectos, a produção de alimentos e o acesso a fontes de água potável. Frente a essas questões, torna-se urgente repensar as formas de produção e consumo, tendo em vista os múltiplos impactos ambientais que resultam, como a poluição, a geração de resíduos e a extração de recursos naturais além da capacidade de suporte dos ecossistemas.

Nesse contexto, a recente ampliação das discussões sobre o meio ambiente e os custos vinculados à economia e à biodiversidade provocaram a necessidade de um exame acerca da transição energética contemporânea, fundamentada nas deliberações governamentais, socioeconômicas, ambientais e institucionais. Isso implica também em considerar um modelo de transformação da matriz energética que seja inclusivo e que respeite a vida humana, assim como a fauna e a flora.

É claro que a transição energética não se desenvolveu de maneira linear, tampouco é viável concebê-la dentro desse contexto; além disso, essa transição não ocorre de maneira instantânea (Smil, 2024). A trajetória das transições energéticas revela um processo de adições energéticas que não resulta do esgotamento físico das fontes já estabelecidas, mas sim da descoberta de uma nova fonte de energia com características superiores e custos reduzidos. Este é o caso da energia proveniente da biomassa em comparação ao carvão mineral, e deste em relação ao petróleo e ao gás natural (Sachs, 2007), além da recente inclusão de fontes renováveis modernas no setor energético.

Conforme Azevedo e Leão (2024), a transição energética abrange o contexto das assimetrias geopolíticas, tecnológicas, econômicas e de infraestrutura. Desta forma, configura-se um processo caracterizado por temporalidade e interesses diversos, regulado por fatores econômicos, ambientais, sociais e políticos, possuindo um caráter desigual na sociedade, em função da forma como esse processo se insere nos territórios, da velocidade

de sua implementação e dos objetivos que orientam os investimentos, além da transversalidade das fontes em contextos econômicos distintos, influenciados pelos processos de revolução industrial e tecnológica ao longo da história.

Portanto, é fundamental levar em conta sua não linearidade, temporariedade e espraiamento distintos, assim como as assimetrias políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais que, como já mencionado, são características intrínsecas ao processo de transição energética, sendo pertinente acrescentar que:

Aqueles que procuram enfrentar o problema como uma substituição técnica de fontes de energia fóssil por renovável, sem as alterações políticas e sociais necessárias para modificar as relações de poder das sociedades, podem apenas fazer mais do mesmo: a acumulação privada dos lucros pelos grandes capitalistas do mundo (Azevedo; Leão, 2024, p.70).

Além disso, observa-se que

Uma das características da atual transição energética é que o *timing* da mudança da matriz não será o mesmo em todas as regiões. O interregno será definido a partir da atuação de uma série de atores e principalmente das condições geopolíticas, estrutura do segmento e políticas públicas formuladas por cada país (Leão; Costa; Leão, 2024, p. 37).

Portanto, é imprescindível considerar a transição energética para além de uma perspectiva meramente técnica de substituição das fontes fósseis por fontes renováveis. É necessário entendê-la como um processo político, inserido no contexto dos conflitos sociais e econômicos, que deve superar barreiras contemporâneas por meio de transformações estruturais de poder, implicando em "reformulações no modelo de desenvolvimento em escala local e regional, de modo que este seja mais sustentável" (Santos et al., 2024, p. 8) sob a perspectiva social e ambiental.

Nesse contexto, Coutinho et al. (2024) indicam que a temática da transição justa emergiu em 1970, nos Estados Unidos, resultado de um movimento sindical que alertou sobre os perigos à saúde e à segurança nas refinarias da empresa Shell. Desde aquele momento, esse conceito começou a abranger mecanismos relacionados à justiça social e ambiental, ressaltando a importância de que os encargos da transição energética não sejam atribuídos aos trabalhadores, ganhando relevância nas décadas posteriores, especialmente após a mobilização contrária a acordos como o NAFTA (1994) e a inserção da temática em fóruns multilaterais, como a COP 3, realizada em Kyoto, Japão, em 1997, onde as

entidades sindicais demandaram políticas públicas que assegurassem proteção de renda, capacitação e reintegração no mercado de trabalho.

Os autores afirmam que, com a criação da Confederação Sindical Internacional em 2006, a transição justa se firmou como um elemento central nas articulações sindicais envolvendo as negociações climáticas, sendo reconhecida no Acordo de Paris, em 2015, como uma parte essencial dos compromissos globais.

Neste estudo, a transição energética justa é entendida como um processo que vai além da simples substituição de fontes fósseis por renováveis, configurando-se como uma abordagem que necessariamente se relaciona com o meio ambiente, sob a perspectiva da continuidade dos recursos para as gerações futuras. Essa perspectiva leva em conta as interconexões entre os diversos sistemas naturais, abrangendo desde o nível local até o global, e suas consequências cumulativas sobre os territórios, ao mesmo tempo que demanda o reconhecimento das desigualdades territoriais e econômicas, assim como de seus fatores sociais. (Barros-Platiau, *et al.* 2004; Azevedo e Leão, 2024).

Nesse contexto, uma transição energética justa somente poderá se concretizar com o respeito às formas de organização social, o que requer considerar o desenvolvimento econômico à luz dos interesses locais. (Brandão, 2007). Assim, é imprescindível a inclusão desses grupos nas instâncias de decisão, uma vez que somente dessa forma é possível discutir, de maneira efetiva, a transição energética justa.

Assim, constata-se que a transição energética justa:

[...] é um processo lento e assimétrico. Por um lado, está sujeito às pressões dos grupos de interesse favoráveis à maior utilização de energias limpas. Por outro, exige profunda mudança das relações sociais, políticas e culturais estimuladas pelo atual uso de combustíveis fósseis relativamente baratos, particularmente nas formas em que o acesso aos serviços de energia se distribuem entre os vários grupos da sociedade. (Azevedo; Leão, 2024, p. 95).

É importante ressaltar que a transição energética justa demanda, necessariamente, a reflexão sobre as assimetrias territoriais nos âmbitos ambiental, econômico e social, requerendo, além disso, transformações estruturais voltadas para uma economia de baixo carbono e a promoção da dignidade humana, a fim de enfrentar as desigualdades inter e intra-regionais. Essa abordagem serve como fundamento para fomentar o desenvolvimento sustentável, uma vez que este não pode ser efetivado sem o

reconhecimento das particularidades regionais e locais, nem desconsiderando os arranjos globais de poder.

Entende-se, neste contexto, a importância de investigar os desafios e as oportunidades decorrentes da transição energética a fim de garantir justiça territorial e social. Esse ponto é tratado, mesmo que de forma breve, no próximo subtópico. Adicionalmente, aborda-se a contribuição das fontes renováveis de produção de eletricidade como *inputs* de desenvolvimento na região Nordeste do Brasil, no capítulo subsequente.

## 2.1 A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Para investigar as oportunidades e os desafios da presente transição energética, é imprescindível, antes de tudo, entender as mudanças históricas relacionadas à utilização das fontes de energia. É importante destacar que cada transição que já ocorreu não foi resultado de um fenômeno espontâneo, mas sim de um processo histórico caracterizado por rupturas tecnológicas, econômicas e sociais (Azevedo e Leão, 2024).

Dessa forma, ao reexaminar a trajetória da energia no contexto mundial, torna-se viável reconhecer quatro ciclos significativos no desenvolvimento do setor energético, os quais abrangem não apenas as etapas técnicas específicas da área, mas também as dinâmicas econômicas e sociais que as modificam, ao passo que tais dinâmicas também são impactadas por esses ciclos. Isto é, esses ciclos fundamentam as transformações institucionais, tecnológicas, geopolíticas, econômicas e sociais que permeiam a história moderna da humanidade, da mesma maneira que o setor também é afetado por essas dinâmicas que acontecem em múltiplas escalas.

Sob a perspectiva tecnológica, cada ciclo reflete a consolidação de um novo conjunto de técnicas, fontes e formas de utilização da energia. No âmbito institucional, os ciclos refletem e definem novos formatos legais, regulatórios e organizacionais. As transformações geopolíticas referem-se à reconfiguração das hierarquias de poder global e ao controle dos recursos energéticos, exemplificadas pela ascensão do carvão no Império Britânico, pela dominação do petróleo pelos Estados Unidos e pelo recente

reposicionamento de nações, como o Brasil, no fornecimento de energia proveniente de fontes renováveis modernas (Alcoforado, 2025; Leão e Leão, 2024).

As transformações econômicas e sociais, por sua vez, decorrem dessas interações e, além disso, as suscitam. A crescente demanda por energia, juntamente com as interações inter-regionais relacionadas à sua produção e uso, impulsiona iniciativas governamentais que visam mobilizar respostas e estratégias. Dessa forma, essas transformações acontecem simultaneamente à sua provocação, delineando um processo dinâmico entre aspectos técnicos, políticos, econômicos e sociais (Leão e Leão, 2024).

Com o intuito de aprofundar a compreensão deste processo de transição energética, são identificados no Quadro 1 os quatro ciclos da dinâmica energética no contexto global, a saber: ciclo da ‘energia de fluxo’; ciclo da ‘energia mineral’; ciclo do ‘petróleo e da eletricidade’; e um quarto ciclo, denominado intencionalmente de ‘crises e redescobertas’.

**Quadro 1 - Ciclos históricos da dinâmica energética global.**

<b>Ordem</b>	<b>Ciclo</b>	<b>Período</b>	<b>Dependência energética</b>	<b>Características</b>	<b>Revolução Industrial</b>
1º	Energia de Fluxo	Até final do séc. XVII.	Biomassa (lenha), força hidráulica (rodas d'água), força animal e energia eólica (velas de navegação)	Utilização descentralizada. A energia renovável era a opção mais abundante e única tecnicamente disponível.	Pré-Revolução Industrial.
2º	Energia Mineral	Séc. XVIII.	Carvão mineral	Centralização da geração de energia e consolidação da fonte fóssil na evolução da sociedade industrial da época.	I Revolução Industrial
3º	Fossilização/combustível e eletricidade	Séc. XIX e século XX	Petróleo e eletricidade.	Hegemonia do petróleo; Redes elétricas, economia de escala e de escopo; Avanço do setor de transportes e da eletrificação urbana e industrial.	II Revolução Industrial e III Revolução Industrial
4º	Crises e Redescoberta.	Quarto do séc. XX e sec. XXI.		Intensificação da eletrificação, choques de preços do petróleo. Crise ambiental, surgimento do gás natural, energia nuclear. Institucionalização das fontes renováveis, como alternativa estratégica.	IV Revolução Industrial ou Indústria 4.0*.

Nota: Com base em Albuquerque (2021), o mundo vive uma terceira revolução industrial (Rifkin, 2011), ou uma segunda era das máquinas (Brynjolfsson e Mcfee, 2014), ou uma terceira onda (The Economist, 2014) ou uma quarta revolução industrial (Schwab, 2016).

Fonte: Alcoforado (2025). Elaboração própria.

O primeiro ciclo, que abrange a dependência energética da humanidade até o término do século XVII, fundamenta-se em fontes renováveis, tais como a biomassa - lenha; a energia hídrica utilizada para movimentar moinhos; e a energia eólica empregada nas navegações, entre outras. Ambas eram empregadas no cotidiano, de maneira descentralizada e com baixa intensidade energética, característica do período pré-industrial.

Com os progressos na mineração e a identificação do carvão mineral como uma fonte energética, tem-se início, no século XVIII, o fluxo da energia mineral (fóssil), que começa a prevalecer na economia e, por conseguinte, causa transformações sociais, como a eclosão da Primeira Revolução Industrial, na qual o binômio máquina-carvão mineral constitui o núcleo do processo de ampliação da sociedade capitalista de produção, caracterizada pela substituição do trabalho artesanal pelo trabalho assalariado e pela mecanização da produção (Martin, 1992). Neste novo contexto, a centralização da produção de energia começa a dirigir as mudanças sociais e econômicas do período.

A exploração e o uso contemporâneo do petróleo e da eletricidade, sobretudo a partir do final da Segunda Guerra Mundial, deram origem, no século XX, a uma forma de dominação econômica vinculada às revoluções tecnológicas do período - avanços nos meios de transporte e comunicação, produção em larga escala, surgimento do motor de combustão interna, do telégrafo elétrico e da lâmpada incandescente (Martin, 1992; Pinto Jr. et al., 2016; Smil, 2006). Essas inovações, intensificadas por disputas de poder geopolítico, caracterizam o terceiro ciclo, denominado ciclo do Petróleo e da Eletricidade.

Este ciclo estabelece a preponderância do petróleo e o avanço da eletrificação em áreas urbanas e na indústria, além de promover significativas transformações geopolíticas e tecnológicas, com a ascensão da Segunda Revolução Industrial e da Terceira Revolução Industrial, a partir de meados do século XX. É notável o período posterior a 1980, que, com o advento do microprocessador em 1971, define, conforme argumentam Freeman e Perez (1988), o paradigma tecnoeconômico contemporâneo, caracterizado por indústrias-chave como computadores, produtos eletrônicos, software, telecomunicações, novos materiais e serviços de informação (Rovere, 2016).

Finalmente, a partir do quarto quartel do século XX e ao longo do século XXI, observa-se um intenso processo de eletrificação, avanços tecnológicos, incluindo a

criação da Internet, infraestrutura de redes digitais, inteligência artificial, incremento da dependência em relação aos combustíveis fósseis e crises ambientais frequentes, além de oscilações nos preços do petróleo na década de 1970 e pressões sociais.

O quarto ciclo, denominado 'Crises e Redescoberta', avança em direção a uma transição energética influenciada pela crise econômica, resultante do aumento no preço do petróleo, e, como consequência, da urgência em identificar fontes de energia que possam substituir o petróleo ou diminuir a dependência dessa fonte, por meio da implementação do gás natural e da energia nuclear. Esta última, que já era testada desde as décadas de 1940 e 1950 em contextos militares e científicos, gerou grande otimismo nas décadas de 1960 e 1970, sendo considerada uma alternativa promissora para a geração de eletricidade e segurança energética (Hinrichs e Kleinbach, 2003). Ademais, houve a institucionalização das fontes renováveis modernas como uma estratégia alternativa (Pinto Jr. et al., 2016) no contexto das transformações relacionadas ao desenvolvimento do capitalismo no final do século XX e no século XXI.

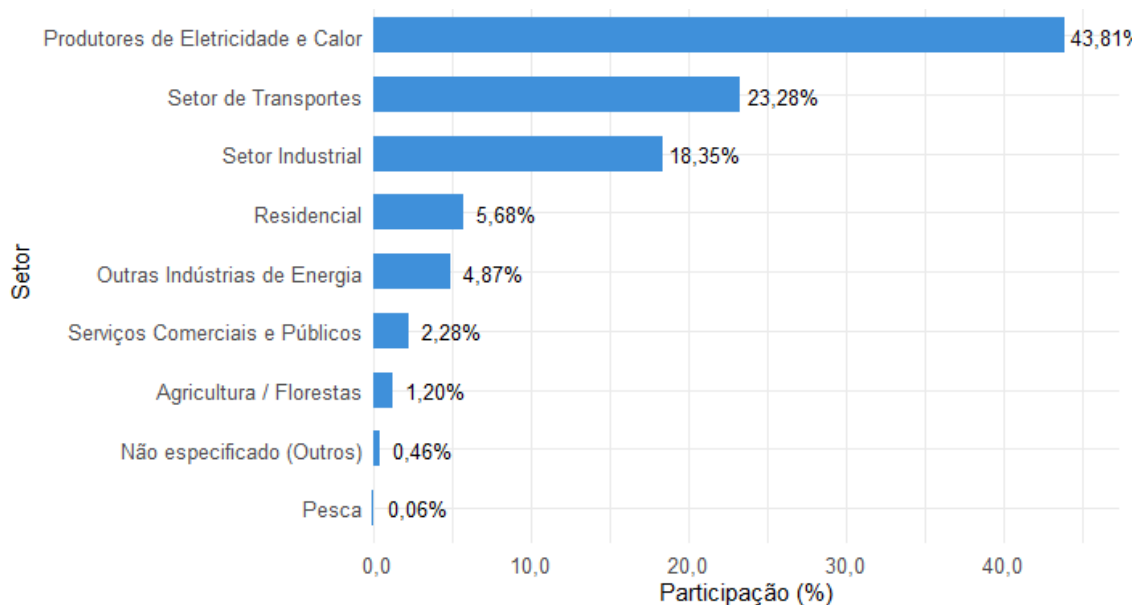
Além disso, é importante ressaltar que a presente transição energética encontra-se inserida em um contexto de aceleração tecnológica sem precedentes, considerando o impacto social, a velocidade e o aprofundamento do aprendizado de máquina, a internet das coisas e novos materiais. Essas inovações, por consequência, exercem uma pressão contínua sobre a demanda por eletricidade, especialmente em virtude das pressões político-sociais que visam à descarbonização da economia, como resposta aos danos ambientais acumulados pela utilização excessiva de fontes fósseis durante os ciclos anteriores de expansão do sistema capitalista de produção.

Neste contexto, esforços significativos foram realizados para promover a substituição dos combustíveis fósseis, com o intuito de atenuar os impactos ambientais acumulados. A Figura 1 evidencia a participação, por setor, nas emissões de 2023 daquele considerado o principal gás de efeito estufa, o dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>.

Observa-se uma acentuada concentração das emissões no segmento de produção e distribuição de eletricidade e calor, responsável por mais de 43% das emissões globais, conforme já destacado na introdução. Essa situação reflete a elevada dependência mundial de combustíveis fósseis, com destaque para carvão e petróleo, além do gás natural em menor proporção, na geração e consumo de energia primária. Em seguida, o

setor de transportes contribuiu com 23,3%, e o setor industrial com 18,45%, totalizando, em conjunto, mais de 80% das emissões globais de CO<sub>2</sub> por setor no mundo em 2022. Este cenário indica a relevância da mobilidade urbana, predominantemente sustentada pela frota de automóveis e transportes públicos movidos a combustíveis fósseis, assim como da produção industrial, na pegada de carbono global.

**Figura 1** - Participação percentual das emissões de CO<sub>2</sub> por setor, no mundo (2022).



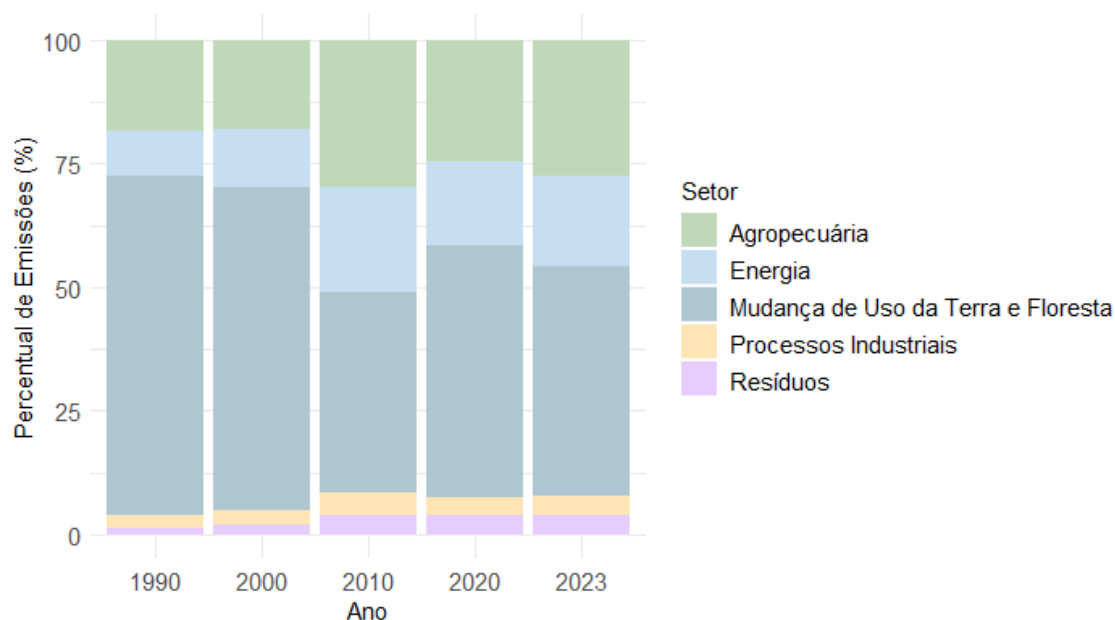
Fonte: IEA (10 jun. 2025). Elaboração própria.

Além disso, observa-se que os setores residencial, de serviços comerciais e públicos apresentaram participações percentuais inferiores, de 5,68% e 2,28%, respectivamente, enquanto atividades como agricultura/florestas, pesca e outros segmentos não definidos contribuíram, considerando o total das emissões globais em 2022, 1,2%, 0,06% e 0,46%, respectivamente. Essas informações enfatizam a urgência de descarbonizar a matriz energética mundial e promover a transição para meios de transporte mais sustentáveis, bem como no que diz respeito a outros setores que colaboram para o aumento da temperatura da superfície terrestre.

Contudo, ao examinar a participação percentual por segmento de emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil, os dados apresentados na Figura 2 indicam que o segmento identificado como Mudança de Uso da Terra e Floresta concentra historicamente a maior parte das emissões ao longo do período analisado. Apesar de uma diminuição na participação percentual ocorrida na última década, que registrou 40,6% em 2010 e 46,2% em 2023, em

comparação aos anos de 1990 e 2000, quando este setor representava mais de 60% das emissões de CO<sub>2</sub>, constatou-se uma taxa média de crescimento negativa de 0,9% ao longo de 33 anos.

**Figura 2** - Participação por setor de emissão de CO<sub>2</sub>, no Brasil (1990-2023).



Fonte: SEEG (2025). Elaboração própria.

Os dados apresentados na Figura 2 também indicam que os setores de emissão, classificados na segunda e terceira posições em relação à participação percentual nas emissões totais de CO<sub>2</sub> no Brasil, correspondem respectivamente à agropecuária e à energia, apresentando uma taxa média de crescimento de 1,5% e 2,4% entre 1990 e 2023. Em contrapartida, os processos industriais, embora apresentem uma representatividade consideravelmente inferior, registram uma taxa média de crescimento de 1,9% ao longo do período, o que se assemelha ao comportamento dos resíduos, cujas emissões aumentaram em 3,4% ao longo de 33 anos.

Conforme dados do IEA (10 jun. 2025), as emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil aumentaram 2,6% entre 1990 e 2022, superando o crescimento de 1,6% das emissões globais nesse intervalo. Entretanto, a alteração percentual em 2010, em comparação ao ano 2000, foi de 27,1%, significativamente inferior à variação percentual registrada em 2000, em relação a 1990, que alcançou 59,5%.

De maneira análoga, em 2022, a referida porcentagem foi ainda menor, atingindo 10,5%, quando calculada com referência ao ano de 2010; embora, em termos absolutos, os dados tenham mostrado incrementos nos anos examinados, totalizando, em 2022, 413,94 Mt CO<sub>2</sub>. A diminuição relativa das emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil estaria principalmente ligada ao enfrentamento do desmatamento.

Além disso, destaca-se a diminuição das emissões provenientes do uso da terra em 2010, conforme evidenciam os dados apresentados na Figura 2. Essa redução foi, em parte, impulsionada pela crise econômica de 2008 e pelas políticas públicas implementadas pelo Governo Federal na região da Amazônia Legal (MMA, 2009), incluindo, por exemplo, a utilização de tecnologia de monitoramento remoto, fiscalização e a aplicação de uma política custo-efetiva, a qual favoreceu a expansão e a manutenção da vegetação secundária na Amazônia (Climate Policy Initiative, 2021).

Entre 2010 e 2023, a taxa de crescimento acumulada das emissões totais do Brasil, conforme dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), foi de 28,7%. No que tange ao setor de Mudança de Uso da Terra e Floresta, observa-se um percentual de 46,6%; Resíduos, 30,9%; Agropecuária, 8,2%; Processos Industriais, 12,5%; e, por fim, Energia, 12,1%.

É importante ressaltar que, apesar de os setores de energia, transporte e indústria serem os principais responsáveis pelas emissões globais de CO<sub>2</sub>, o cenário brasileiro apresenta uma divergência significativa. Historicamente, as emissões provenientes do setor de Uso da Terra e Florestas têm se destacado, indicando que, enquanto países com destaque econômico enfrentam o desafio de descarbonizar suas indústrias e eletrificar suas frotas, o Brasil necessita urgentemente limitar o avanço do desmatamento nos biomas, como o Cerrado, a Amazônia e a Caatinga. De acordo com o Relatório Anual do Desmatamento no Brasil (maio de 2025), em 2024, as áreas desmatadas corresponderam a 52,5%, 30,4% e 14%, respectivamente, da totalidade desmatada no país naquele ano.

Os dados contidos no referido relatório permitem constatar que, no intervalo de 2019 a 2024, a Caatinga perdeu 712.604 hectares, correspondendo a uma taxa média de crescimento de aproximadamente 66% durante esse período, a mais elevada entre os biomas analisados. Tal fato ressalta a necessidade de formular uma estratégia nacional para o combate ao desmatamento, levando em conta as especificidades territoriais de cada

bioma brasileiro. Ademais, essa estratégia deve estar alinhada à agenda climática do país, enfatizando a importância de uma ação coordenada para o controle do desmatamento, a promoção da restauração florestal e a transição para práticas agroecológicas.

Sem desmerecer as medidas setoriais nos moldes globais, que devem servir como diretrizes e/ou caminhos a serem seguidos em contextos específicos, no Brasil, é necessário dedicar esforços ao combate e/ou à mitigação das emissões geradas pelo uso da terra – com ênfase no desmatamento e nas transformações no uso do solo –, principal responsável pela emissão de CO<sub>2</sub>, e não ao setor energético, considerando que a matriz elétrica nacional conta com uma maior participação de fontes renováveis.

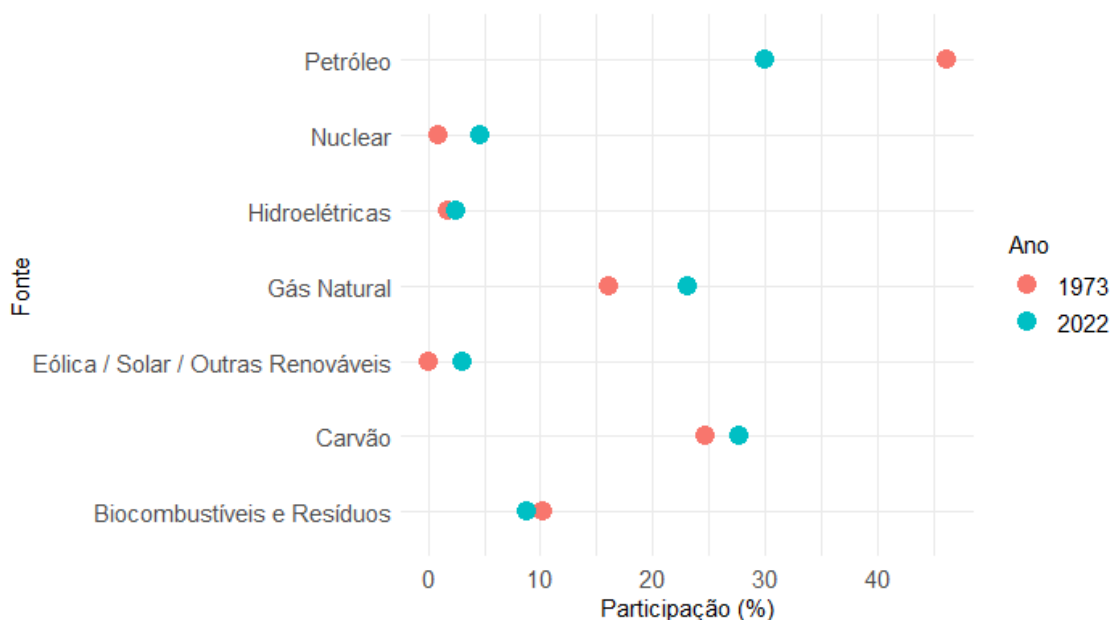
Em âmbito global, o setor de energia destaca-se como o maior emissor de CO<sub>2</sub>, fator atribuído à ampliação dos combustíveis fósseis na matriz energética internacional, conforme evidenciado pelos dados apresentados na Figura 3. No período compreendido entre 1973 e 2022, a participação do petróleo na oferta total, que era de 46,2% em 1973, diminuiu para 29,9% em 2022. Entretanto, o que poderia representar um progresso demonstra uma tendência de diversificação da matriz energética mundial em direção a outras fontes de geração de energia, também provenientes de combustíveis fósseis, como carvão e gás natural. No período, a oferta mundial de energia proveniente do petróleo arrefeceu, em média, 0,88% ao ano entre 1973 e 2022, o que equivale a uma redução linear média de 0,33 pontos percentuais por ano.

Observa-se, em análise comparativa, um incremento de 7 pontos percentuais na participação do gás natural na oferta global de energia em 2023, a qual atinge, assim, uma representatividade de 23,1%, em comparação aos 16,1% registrados em 1973. Observa-se um aumento na participação percentual do carvão mineral, que subiu de 24,7%, em 1973, para 27,6%, em 2022.

Além disso, observa-se um incremento na representatividade da energia nuclear na oferta global total de energia, atingindo 4% durante o mesmo período. Durante o mesmo intervalo, a contribuição das fontes renováveis na provisão de energia global ascendeu de um nível inexistente para 3,06%, resultando em um aumento médio de 0,06 ponto percentual anualmente.

Ademais, constata-se um aumento da representatividade da energia nuclear no total da oferta global de energia de 4% no mesmo período. Para o mesmo período, a participação das renováveis na oferta energética mundial saiu de um patamar nulo para 3,06%, o que corresponde a um ganho médio de 0,06 ponto percentual ao ano.

**Figura 3** - Participação percentual na oferta global de energia, por fonte (1973 e 2022).



Fonte: IEA (2021 e 2025). Elaboração própria.

Esse fenômeno evidencia a diminuição dos custos nivelados da energia oriunda das fontes eólica e solar fotovoltaica, além da ampliação das políticas de incentivo ao desenvolvimento dessas fontes para a produção de eletricidade, especialmente nas últimas duas décadas. Configura-se, assim, um movimento ascendente: entre 2012 e 2022, as energias renováveis modernas alcançaram uma representatividade de 13% em 2022, no consumo global de energia por fonte, em comparação ao percentual de 9,5% em 2012, resultando em um crescimento de 58% ao longo de 10 anos, superior ao apresentado pelos combustíveis, que foi de 13% no mesmo período (REN21, 2024).

De acordo com as informações contidas nos documentos da Agência Internacional de Energia (IEA, 2024), em 2022, 85,7% da oferta global de energia originou-se de fontes fósseis, e houve um progresso limitado ao longo dos anos em direção a uma matriz energética mais sustentável. Observa-se, ao longo dos últimos 50 anos, uma diminuição de apenas 2,2 pontos percentuais na participação das fontes fósseis no total fornecido de

energia, resultando em uma taxa média de crescimento de 1,9% entre os anos de 1972 e 2022.

De maneira similar, informações acerca do consumo total final de energia entre 1972 e 2022 indicam uma taxa média de crescimento de 1,7%, refletindo-se em quase todos os segmentos de energia, destacando-se o carvão (5,4%), a eletricidade (3,3%), o calor (3,2%), o gás natural (2,0%) e os produtos petrolíferos (1,4%), enquanto o consumo final total de energias renováveis e resíduos alcançou 1,2% no mesmo intervalo temporal.

As fontes renováveis modernas têm uma representatividade crescente na oferta global de energia, com a energia eólica e solar apresentando os maiores destaques percentuais, alcançando 3,1% do total mundial em 2022. As hidrelétricas apresentaram um aumento moderado, passando de 1,8% em 1972 para 2,5% em 2022.

Essas constatações demonstram a alteração gradual na matriz energética mundial, no entanto, a matriz se caracteriza mais pela diversificação de fontes fósseis do que por uma transformação voltada para uma maior representatividade das fontes renováveis de energia. Isto é, a participação das fontes renováveis e resíduos no total de energia fornecida aumentou de 12,1%, em 1972, para 14,3%, em 2022, conforme dados do IEA (2024).

Informações da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2025) evidenciam que a matriz energética do Brasil é composta por 49,1% de fontes renováveis, conferindo ao Brasil uma posição relativamente mais favorável em comparação com dados globais, sobretudo no que concerne à matriz elétrica, a qual é predominantemente baseada em fontes renováveis, com a energia hídrica prevalecendo na capacidade de geração de eletricidade, respondendo por pouco mais de 55%, em 2024. Além disso, as fontes renováveis modernas complementam a geração hídrica; assim, em 2024, a participação da energia eólica foi de 14,4% e da solar fotovoltaica, de 5,8%.

Entretanto, a relevância das fontes renováveis na diversificação da matriz elétrica do país não é suficiente para assegurar uma transição energética justa, a qual “deve ser compreendida de forma multifacetada, levando em conta fatores políticos e sociais, além das componentes tecnológicas e ecológicas” (Sun et al., 2023, Apud Brumatti et al., 2024,

p. 232), sem deixar de observar o “engajamento sólido das instituições públicas, dos cidadãos e da sociedade civil” (González et al., 2023, p. 108).

Conforme apontam Coutinho et al. (2024), no Brasil, a transição energética representa não apenas uma resposta à crise climática global, mas também “uma oportunidade de retomar um processo de desenvolvimento e de enfrentar nossos gargalos sociais e econômicos” (Coutinho, Santos e Álvares, 2024, p. 154-155). Dependendo da orientação da agenda de transição justa no país, as particularidades brasileiras podem, de um lado, constituir a base fundamental para a reindustrialização e o desenvolvimento nacional ou, de outro, acentuar uma inserção global subserviente à divisão internacional do trabalho, levando o país a um papel de exportador de commodities. Os autores mencionados ainda destacam os impactos no mundo do trabalho, como, por exemplo, as restrições na contratação de mão de obra em virtude da elevada intensidade tecnológica do setor de energia renovável.

Portanto, o que se pode ressaltar, à luz da análise dos autores mencionados, é que a transição energética, no âmbito das particularidades regionais e dos recursos naturais brasileiros, requer uma estrutura de investimentos e decisões voltadas à diminuição das assimetrias entre os territórios, considerando os aspectos econômicos, sociais e ambientais. A expressão transição energética possui significados variados para diferentes nações, especialmente entre os países em desenvolvimento (Yergin, 2023, p. 395).

No âmbito interno de um país, essa afirmação também se aplica e pode apresentar um nível de complexidade ainda maior. No que diz respeito ao Brasil, o processo de transição energética é acompanhado pela diversificação das fontes de geração de energia elétrica na matriz nacional. Tal diversificação é uma resposta à crise do apagão de 2001, que ocorreu devido à insuficiência de investimentos em geração e transmissão de energia elétrica (Sauer et al., 2001). Essa circunstância, e não outro elemento, foi “decisiva para que o Estado brasileiro decidisse promover a diversificação da matriz elétrica” (Traldi e Rodrigues, 2022, p. 83). Importa observar ainda que a atual transição energética não decorre, prioritariamente, de algum avanço tecnológico disruptivo ou, nos termos de Sachs (2007), descoberta de uma nova fonte de energia, mas sim de uma resposta sistêmica aos efeitos da exploração de combustíveis fósseis, expressa no contexto socioambiental.

Entretanto, conforme Coutinho (2023), existem fatores que restringem as energias renováveis de desempenharem a função histórica que as energias fósseis exerceram no progresso econômico e social dos países: “os seus custos de produção são relativamente altos, considerando os custos externalizados pelos seus produtores, como o custo de distribuição, o custo do complemento de suprimento de energia confiável para compensar a intermitência” (Coutinho, 2023, p. 47).

Além disso, o autor citado chama a atenção para os setores de transportes de mercadorias e pessoas, navegação e aviação, siderurgia e mineração, os quais dependem das energias fósseis, não servindo a energia elétrica para os mesmos fins que os combustíveis líquidos e o carvão. Logo, pensar no processo de transição energética é também trazer à luz da reflexão a transformação da matriz energética, a partir da inserção de combustíveis renováveis nos setores de transportes e indústrias de base.

Esse é um dos pontos-chave da transformação de uma economia de carbono para uma economia de baixo carbono<sup>3</sup> ou de neutralidade de carbono<sup>4</sup> (Yergin, 2023), porque se a “consequência imediata da exploração desenfreada dos recursos naturais, em especial os combustíveis fósseis, é a degradação do meio ambiente” (Filho, 2025, p. 28), então ela deve ser pensada de forma sistêmica, associada às mudanças das políticas energéticas dos países, ressalta o autor citado.

Entretanto, essa transição deve ser justa, o que implica “diminuir as disparidades de renda, riqueza, consumo de energia e emissões per capita, tanto entre as nações quanto internamente em cada uma delas” (Coutinho, 2023, p. 133). Assim, deve-se compreender a expressão “transição energética” sob diferentes perspectivas quanto às desigualdades de renda e ao acesso a serviços fundamentais, como a eletricidade, por parte do Estado e da sociedade. Isso se deve ao fato de que é fundamental que, na transição energética, ocorra igualmente “uma transição da pobreza e da utilização de madeira e resíduos para

---

<sup>3</sup> Na economia com baixa emissão de carbono, as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes das atividades humanas tendem a reduzir ao longo do tempo (Yergin, 2023), o que implica uma transformação na conscientização acerca dos modos de vida e dos padrões de produção e consumo que sejam compatíveis com a capacidade de suporte do ecossistema natural.

<sup>4</sup> Três setores tecnológicos sobressaem no processo rumo à neutralidade de carbono, no qual as emissões são canceladas por meio de mecanismos que absorvem carbono: captura de carbono, hidrogênio, além de baterias e armazenamento de eletricidade (Yergin, 2023).

a energia comercial". "Isto implica em maior saúde e redução da poluição, tanto nas áreas urbanas [...] quanto nas residências rurais" (Yergin, 2023, p. 396).

O acesso à energia "condiciona o desenvolvimento econômico e social de todas as nações" (Pinto Jr., et al., 2016, p. 1); no entanto, no contexto da transição energética, é necessário que esse acesso seja considerado com o objetivo de promover e recuperar as políticas ambientais, bem como incentivar uma transição energética justa. Tal abordagem demandará uma mobilização e uma atuação sistemática e conjunta entre o poder público e a sociedade civil (Coutinho, Santos e Álvares, 2024).

Assim, evidencia-se que o sucesso do atual processo de transição energética está condicionado à implementação de uma abordagem territorial, fundamentada nos princípios de equidade e justiça social, econômica e ambiental. Essa análise deve considerar, em particular, a maneira como a transição energética está se difundindo nos territórios nacionais para a instalação em larga escala de aerogeradores e painéis de geração de energia solar fotovoltaica, gerando uma série de reações nas comunidades impactadas, enquanto ocorre um "forte processo de interiorização da exploração *onshore*" (Maia et al., 2022, p. 22).

No próximo capítulo, aborda-se o Nordeste das energias renováveis, apresentando uma perspectiva sobre a expectativa de desenvolvimento para a região, que se fundamenta no processo de captação desses investimentos "em atendimento a uma demanda energética que cresce a cada ano, com vistas a sustentar o modelo capitalista hegemônico" (Maia et al., 2023, p. 23).

### 3. O NORDESTE DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS: UMA PROMESSA DE DESENVOLVIMENTO.

Neste capítulo, discute-se o Nordeste e a promessa de desenvolvimento atribuída à inserção das energias renováveis modernas, notadamente eólica e solar fotovoltaica, procurando destacar a necessidade de se discutir como a transição energética atual pode atuar em favor do desenvolvimento na perspectiva da sustentabilidade, em especial no caso brasileiro, quando se coloca a expressão “transição energética” como base para a atração dos investimentos em determinados territórios, o que nos leva a crer que essa transição “se coloca apenas como operador da manutenção de um sistema econômico que se concentra em colapso” (Maia et al., 2022, p. 24). Mas, antes, o capítulo destaca um olhar sobre o Brasil e o papel das energias renováveis, cuja dinâmica de crescimento reflete a intensificação do protagonismo de regiões, como o Nordeste, na matriz elétrica nacional, o qual será discutido no tópico 3.2 a seguir.

#### 3.1 UM OLHAR SOBRE O BRASIL E AS ENERGIAS RENOVÁVEIS MODERNAS

Já se enfatizou neste trabalho que o acesso à energia<sup>5</sup> é imprescindível para o desenvolvimento dos países e/ou regiões, do ponto de vista socioeconômico, e que a transição energética só se tornará factível quando ela também se tornar uma transição da pobreza (Yergin, 2023).

O Brasil ocupou, em 2024, a quinta posição em termos de novas adições de energia eólica *onshore* no mundo<sup>6</sup> e de capacidade cumulativa de instalações *onshore*<sup>7</sup>. Em energia solar fotovoltaica, a representatividade do Brasil no mundo em MW, em 2024, foi de 2,9%, estando na sexta posição no *ranking* global, atrás da China (47,7%), EUA (9,5%), Índia (5,2%), Alemanha (4,8%) e Japão (4,8%) (IRENA, 2025a).

---

<sup>5</sup> Energia entendida como a capacidade de realizar trabalho (Smil, 2006).

<sup>6</sup> Em termos de novas adições de energia *onshore* no mundo, em 2024, destaca-se a China, com 70%, EUA (4%), Índia, Alemanha e Brasil, com 3% (GWEC, 2025).

<sup>7</sup> Considerando a capacidade total de instalações de energia eólica *onshore*, os destaques são: China (46%), EUA (15%), Alemanha (6%), Índia (5%) e Brasil e Espanha (3%) (GWEC, 2025).

Tais dados demonstram um país que se destaca relativamente no mundo, por abrigar grandes projetos de geração de energia renovável moderna e, na América do Sul, é líder absoluto, pois, em 2024, representou 74% da capacidade de geração de energia eólica *onshore* na região e cerca de 78% de energia solar fotovoltaica.

Contudo, tais setores estão configurados sob a forma de oligopólio concentrado, sendo intensivo em capital e tecnologia, tendo na inovação o pré-requisito fundamental para a industrialização (GWEC, 2025), o que implica que a inovação está continuamente seguindo uma lógica avançada, baseada no aprendizado de máquina, bem como no projeto de sistemas e estratégias operacionais – incluindo configurações híbridas, integração de baterias e gestão de ativos digitais - tornando-se um fator cada vez mais fundamentado na formação do desempenho industrial no mundo contemporâneo (IRENA, 2025b), em especial no que diz respeito aos ativos solares e eólicos.

A indústria de dispositivos destinados à produção de energia renovável apresenta uma alta concentração geográfica (REN21, 2024). Conforme dados da fonte mencionada, cinco nações detêm mais de 90% da capacidade mundial de fabricação de módulos solares. Dentre esses países, aproximadamente 80% da capacidade total de produção encontra-se na China, seguida por Vietnã, Índia, Malásia e Tailândia. Ademais, a China representa 60% da capacidade global de fabricação de equipamentos para energia eólica e baterias, além de ser responsável por 40% da produção de eletrolisadores. Restam, portanto, a nações como o Brasil, que adquirem esses equipamentos, e os desafios relacionados a “conflitos pela terra nas áreas de implantação, a alta do preço dos imóveis, as limitações de uso impostas aos proprietários dos terrenos arrendados à geração eólica, o desmatamento [...]” (Traldi e Rodrigues, 2022, p. 78).

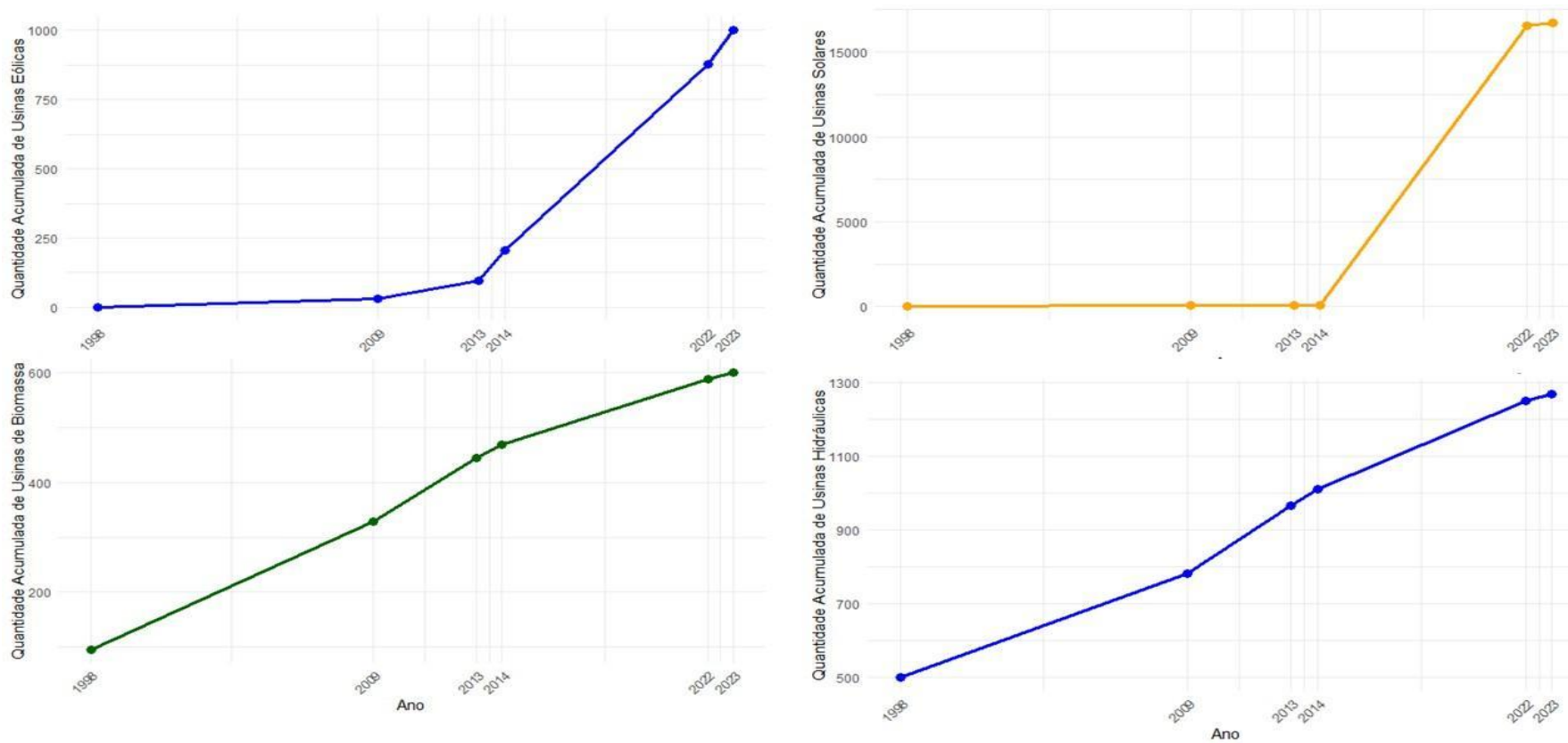
A Figura 4 ilustra a evolução da quantidade total de projetos de usinas renováveis no Brasil, no período de 1998 a 2023, categorizados conforme o tipo de fonte de geração de eletricidade, incluindo eólica, solar, biomassa e hidráulica. A partir das informações fornecidas, constata-se que cada fonte de energia renovável seguiu um percurso singular, refletindo diferentes períodos históricos.

A partir de 2009, as usinas eólicas apresentaram um crescimento notável, que se intensificou consideravelmente após 2014, devido à inclusão dessa fonte nos leilões de energia, sinalizando a consolidação da energia eólica como um elemento fundamental na

diversificação da matriz elétrica do país. As usinas de energia solar fotovoltaica, que até 2010 experienciaram um crescimento exponencial, superaram 15 mil unidades em 2023, sendo fortemente impulsionadas pela adesão a essa fonte no ACR, pela disseminação da geração distribuída e pela diminuição do custo total médio ponderado global dos projetos comissionados, que, em 2024, atingiu US\$ 691/kW, representando uma redução de 87% em relação ao valor registrado em 2010 (IRENA, 2025b).

Em oposição, as usinas de biomassa mostraram um crescimento mais linear e constante ao longo de todo o período, diferentemente das usinas hidrelétricas, que, embora tenham uma representatividade majoritária na capacidade de geração de eletricidade no Brasil, com uma média superior a 80% até o início dos anos 2000, mantiveram um crescimento moderado desde o começo da década de 1990. Isso reforça seu papel histórico, mas limita a expansão intensiva da capacidade de geração em razão das restrições ambientais, legais e territoriais que dificultam a construção de projetos hidrelétricos de grande escala. Considerando que a maior capacidade hídrica disponível para a geração de eletricidade a partir de fonte hídrica está situada nos biomas Amazônia e Cerrado, segundo dados da EPE (2007, p. 148), “70% do potencial hidrelétrico brasileiro a aproveitar localizam-se nesses biomas”, pode-se prever dificuldades para a ampliação da oferta hidrelétrica.

**Figura 4** - Quantidade de empreendimentos por fonte renovável em operação no Brasil, 1998-2023.

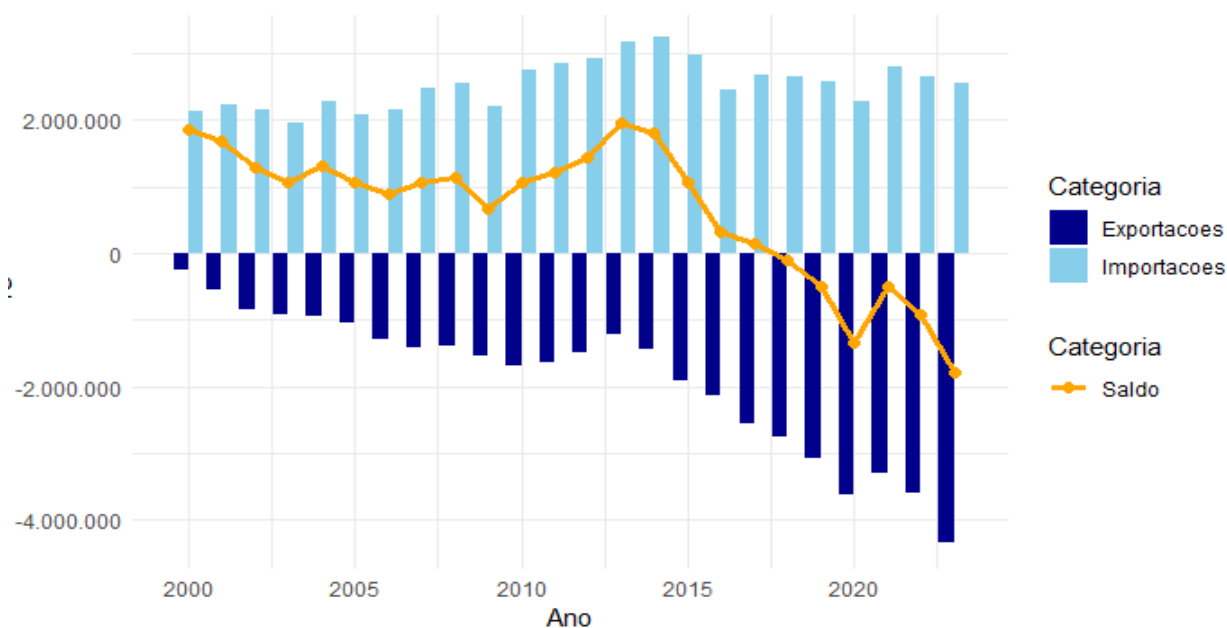


Fonte: ANEEL (2025). Elaboração própria.

Embora o Brasil tenha uma matriz elétrica predominantemente renovável ao longo da sua história, foi a incorporação de novas fontes de geração de eletricidade, especialmente a eólica e a solar fotovoltaica, que expandiu a diversificação dessa matriz. Essa transformação modificou de maneira considerável a participação do país no mercado energético global, permitindo a transição de uma dependência acentuada de importações para uma posição de exportador líquido de energia.

A Figura 5 representa a mudança no saldo das exportações e importações de energia elétrica, apresentadas em GWh. A partir das informações fornecidas, é perceptível que, no começo dos anos 2000, o Brasil enfrentava um déficit no setor energético, com um volume de importações que superava o de exportações. Entretanto, a partir de 2016, observa-se uma tendência ascendente nas exportações (barras azul-escura) e uma diminuição nas importações (barras azul-clara), culminando em superávits no saldo comercial de eletricidade no Brasil, principalmente a partir de 2017.

**Figura 5** - Saldo comercial de energia elétrica no Brasil (em GWh), 2000 a 2023.



Fonte: IEA (2025). Elaboração própria.

A ilustração mencionada demonstra que o Brasil se transforma em um exportador líquido de energia, particularmente na última década. No entanto, as oscilações recentes revelam desafios contínuos, como a dependência da geração hidroelétrica, que, em 2024, representava mais de 50% da capacidade de produção de eletricidade no país, conforme

informações do Balanço Energético Nacional 2024 (EPE, 2025). Essa situação pode comprometer a efetivação da soberania energética e a sustentabilidade do equilíbrio comercial de eletricidade no curto prazo, em virtude da vulnerabilidade da fonte hídrica às alterações climáticas extremas que impactam as condições de precipitação.

A partir de 2020, observa-se uma nova inflexão, caracterizada pela diminuição do superávit no comércio de eletricidade, o que sugere um incremento nas importações ou uma queda nas exportações, resultando na diminuição do saldo comercial de eletricidade. Esse comportamento pode estar relacionado a fatores como os efeitos da pandemia de Covid-19, a intermitência das fontes renováveis, como a solar e a eólica, e a crise hídrica, sendo esta última uma consequência que envolve modificações nas rotas comerciais e/ou nos acordos energéticos, com a finalidade de assegurar a oferta de eletricidade.

A inclinação para um superávit no saldo comercial de energia elétrica no Brasil, conforme demonstrado na Figura 5, ressalta uma transformação estrutural nas fontes de geração de eletricidade, marcadamente com a inclusão de fontes renováveis modernas. Nesse contexto, o Nordeste desempenha um papel fundamental na transição energética do Brasil, conforme será demonstrado no item 3.2.

No tópico subsequente, será abordada a inclusão das fontes de energia renováveis no território brasileiro, com o intuito de ressaltar as etapas de incorporação dessas fontes na matriz elétrica do país, levando em consideração, particularmente, os aspectos institucionais e regulatórios que acompanharam a execução dos empreendimentos.

### **3.1.1 Inserção das energias renováveis no território nacional**

Este subtópico examina a evolução ao longo do tempo da incorporação das energias renováveis no país, com foco particular na energia eólica *onshore*, visando identificar transformações estruturais na trajetória de expansão dessas iniciativas, fundamentando-se em uma abordagem empírica apoiada em séries temporais.

A seleção da energia eólica como foco principal de análise é justificada pelo seu estágio de maturidade e pela sua incorporação como fonte renovável na matriz elétrica do Brasil. Esse fenômeno é fruto de mais de vinte anos de inserção contínua na matriz elétrica nacional, o que possibilita a observação, de maneira consistente, dos efeitos cumulativos do aprendizado institucional, regulatório e produtivo.

Dessa forma, considera-se que a ampliação da energia eólica no Brasil expressa distintos estágios desse processo de amadurecimento, que podem ser analisados empiricamente por meio da observação do acervo acumulado de projetos ao longo do tempo. Do ponto de vista empírico, foi analisado se a trajetória de crescimento da energia eólica exibe uma tendência linear contínua ou se ocorrem variações no ritmo de inserção ao longo do período em questão. Para isso, foi empregada uma base de dados elaborada com informações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2025), abrangendo o intervalo de 1998 a 2024, recorte que possibilita a análise da fase inaugural de implementação da fonte, sua solidificação institucional e os mais recentes avanços na expansão. A seleção desse intervalo de tempo tem como objetivo, também, otimizar a quantidade de dados disponíveis para a estimativa dos modelos, conferindo uma maior robustez estatística às análises de tendências e de mudanças estruturais realizadas.

A expansão da energia eólica, durante o período em análise, revela um percurso ascendente, demonstrando um processo cumulativo de disseminação tecnológica e institucional. A variável de interesse refere-se à capacidade instalada acumulada dos projetos eólicos, medida em megawatts (MW), cuja tendência ascendente não apresenta declínios ao longo do tempo. Decidiu-se pela utilização da capacidade instalada em megawatts (MW) por representar de maneira mais apropriada a escala econômica e energética dos empreendimentos, capturando a intensidade real do investimento e do potencial de geração, aspecto que não é evidenciado pela mera contagem de projetos. Ademais, o MW integra avanços tecnológicos e ampliações de porte ao longo do tempo, constituindo-se como uma medida mais robusta para examinar a maturação, consolidação e transformações de regime do setor.

Em relação à abordagem metodológica implementada, esta consistiu na estimativa de modelos de tendência segmentada, fundamentada no procedimento de quebras estruturais sugerido por Bai e Perron (2003), aplicado à série convertida em logaritmo da capacidade acumulada. Um modelo linear segmentado foi definido como:

$$Y_t = \alpha_j + \beta_j t + \varepsilon_t, \text{ para } t \in (\tau_{j-1}, \tau_j), j=1, \dots, m+1. \quad (1)$$

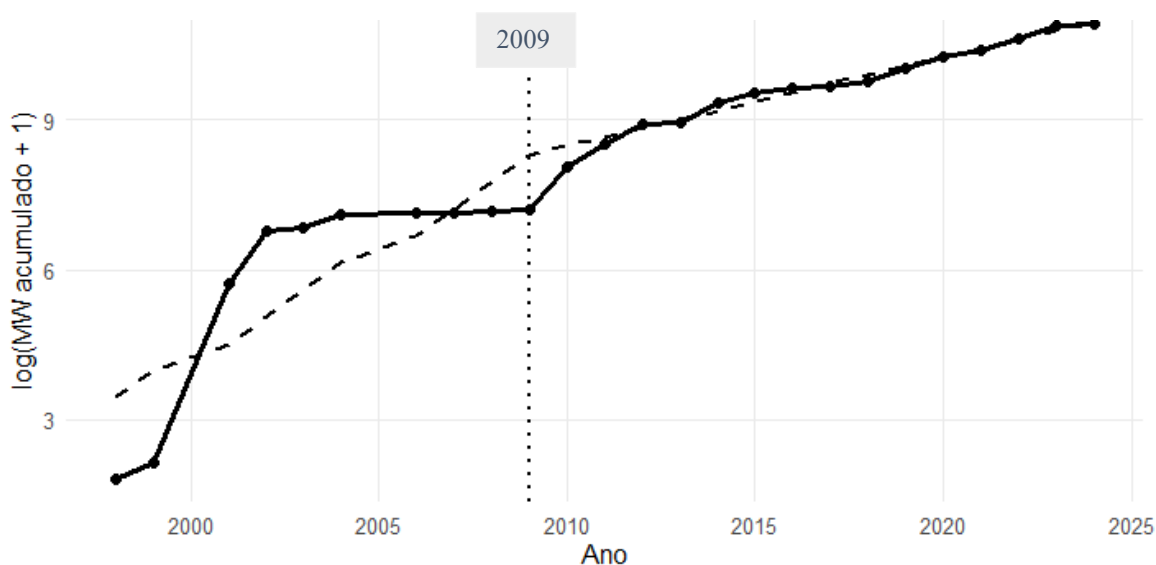
Onde  $Y_t$  representa o logaritmo da capacidade eólica acumulada no ano  $t$ ;  $\alpha_j$  é o nível do regime  $j$ ;  $\beta_j$  é a inclinação do regime  $j$ , ou seja, o ritmo médio anual de expansão;  $\epsilon_t$  é o erro idiossincrático; e  $t_j$  são as datas de quebra que delimitam os regimes.

A presença de alterações estruturais foi primeiramente analisada através do teste supF, o qual refutou a suposição de estabilidade global dos parâmetros. Na sequência, realizou-se a estimativa de modelos com variados quantitativos de quebras estruturais, observando-se um critério de trimming de 15% para prevenir a ocorrência de períodos excessivamente breves. A determinação do número ideal de quebras foi fundamentada nos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC), sendo estabelecido um nível de significância de 5%.

Os resultados sugerem que o modelo que possui uma mudança estrutural predominante, especialmente no ano de 2009, demonstra uma robustez estatística superior. Apesar de o procedimento identificar pontos adicionais que podem indicar falhas, a inserção de regimes complementares não é suportada estatisticamente. Dessa forma, observa-se que o desenvolvimento da energia eólica no Brasil se estrutura empiricamente em duas fases distintas, intermediadas por uma alteração significativa no ritmo de crescimento a partir do final da década de 2000.

A Figura 6 demonstra a evolução da capacidade eólica acumulada, além da principal alteração estrutural observada. Nota-se que, até o ano de 2009, a ampliação se deu de forma moderada, vinculada à etapa inicial de formalização do setor. Desde 2009, observa-se uma aceleração significativa na trajetória de crescimento, caracterizando um novo regime de expansão em escala e de consolidação da energia eólica na matriz elétrica do país.

**Figura 6** - Crescimento acumulado e quebra estrutural de inserção de usinas eólicas no Brasil, entre os anos de 1998 e 2024.



Nota: A série se dá por  $\log(\text{mw\_acumulado} + 1)$ ; a linha tracejada é o ajuste do modelo com duas fases; 2009 registra o ano de inflexão.

Fonte: ANEEL (2025). Elaboração própria.

A identificação das etapas de integração da energia eólica no Brasil fundamentou-se em um conjunto coeso de testes econométricos direcionados à identificação de mudanças estruturais na trajetória de crescimento da capacidade instalada, conforme apresentado no Quadro 2 a seguir. Foi, primeiramente, estimado um modelo de tendência linear simples, o qual indicou um crescimento estatisticamente relevante durante todo o período em questão. Subsequentemente, foi elaborado um modelo de tendência segmentada, que possibilitou a mudança na inclinação da trajetória a partir de um ponto temporal determinado, permitindo, assim, a verificação formal da presença de distintos regimes de crescimento. A comparação entre os modelos foi conduzida por meio dos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC), adotando-se um nível de significância de 5%.

**Quadro 2** - Resultados dos modelos de tendência e mudança estrutural da energia eólica no Brasil (1998–2024).

Modelo	Descrição	Coef. da tendência	p-valor	R <sup>2</sup> ajustado	AIC	BIC
m0 (baseline)	Tendência linear única	0,2823	< 0,01	0,8461	76,04	79,70
m1 (com mudança estrutural)	Tendência com quebra em 2009	Pré-2009: 0,5404 / Pós-2009: 0,1781	< 0,01	0,8798	66,41	71,28

Nota: nível de significância adotado de 5%.

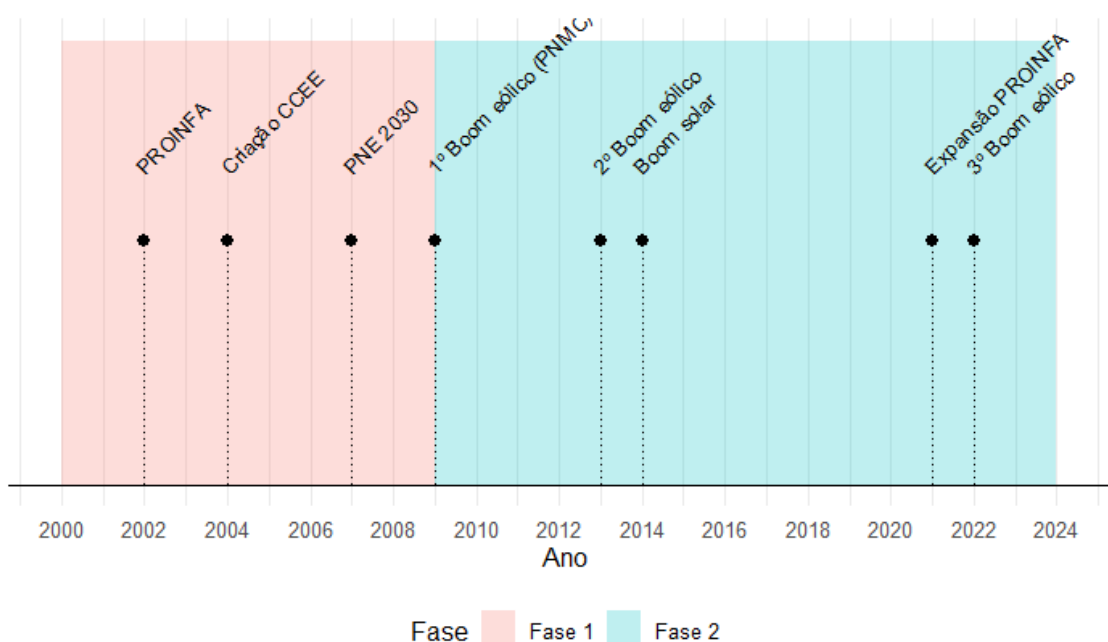
Fonte: ANEEL (2025). Elaboração própria.

Adicionalmente, a estabilidade global dos parâmetros foi analisada por meio do teste supF, que foi calculado a partir da estatística Fstats, cujo resultado (supF = 168,5; p-valor < 0,01) refutou a hipótese nula de não ocorrência de quebras estruturais na série. Além disso, implementou-se o processo de Bai e Perron (2003) para a identificação endógena do número e da localização das quebras, cujos achados revelaram que, apesar de serem identificados vários pontos candidatos a quebras, sendo o ano de 2018 um deles, somente a alteração ocorrida aproximadamente em 2009 possui relevância estatística.

Assim, a evidência acumulada dos testes demonstra a presença de duas fases estatisticamente relevantes na expansão da energia eólica no Brasil, sendo que os movimentos identificados a partir de 2018 são interpretados como um aprofundamento da fase iniciada após 2009. Dessa forma, verificou-se que, no território brasileiro, a incorporação das energias renováveis na matriz elétrica nacional, com foco na energia eólica *onshore*, é definida por duas fases distintas, conforme ilustrado na Figura 7. A linha do tempo abrange o intervalo de 2000 a 2025, definido por critérios institucionais, normativos e pela expansão efetiva dos empreendimentos no território nacional.

À luz da figura citada, sobressaem-se os eventos cruciais que impactam a trajetória de expansão do setor. A segmentação do gráfico possibilita entender de que forma o avanço institucional e as escolhas políticas influenciaram a evolução das novas fontes de energia renovável, destacando-se, em particular, a eólica *onshore*, que serve como base para a análise dos impactos regionais discutidos neste trabalho.

**Figura 7 - Fases de inserção das energias no Brasil.**



Fonte: ANEEL (2025); Decreto nº 5.177/2004; Leis nº: 9.427/1996; 10.438/2002; 10.848/2004; 12.187/2009; e 14.182/2021. Elaboração própria.

Por meio da análise das rupturas estruturais na série temporal de incorporação da energia eólica à matriz elétrica brasileira e seus aspectos econômicos, relacionados à inserção regional da cadeia produtiva, constata-se que a implementação da energia eólica no Brasil foi viabilizada por eventos fundamentais que determinaram o crescimento do setor em duas etapas distintas, separadas por uma alteração estrutural em torno de 2009, quais sejam: a) 1ª etapa: introdução do PROINFA em 2002, estabelecimento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica em 2004, e divulgação do Plano Nacional de Energia (PNE 2030); b) 2ª etapa: primeiros e segundos ciclos de expansão da energia eólica na matriz elétrica nacional, a partir da segunda década dos anos 2000, além do desenvolvimento da energia solar fotovoltaica; ampliação do PROINFA e o terceiro ciclo de crescimento da energia eólica no país. Ressalta-se que, embora o período pós-2018 manifeste características singulares e uma intensificação da expansão, não constitui um novo regime estrutural autônomo, mas sim uma etapa recente de aprofundamento da segunda fase.

Dessa forma, a primeira fase, que abrange os anos de 2000 a 2008, refere-se à introdução inicial do setor no Brasil, apresentando um crescimento ainda moderado após a adoção dos primeiros marcos institucionais. Este estágio sinaliza o começo da

organização do setor, propiciado por ações como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA), a formação da Câmara Comercial de Energia Elétrica (CCEE) e a implementação de estratégias, como o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE-2030) e a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC-2009).

Esse período refere-se à constituição do arcabouço institucional necessário para possibilitar a organização dos primeiros leilões no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e atrair investimentos associados à geração eólica *onshore*, biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), inicialmente, resultando no que foi denominado 1º boom de crescimento da energia eólica na matriz elétrica nacional. Esse fenômeno teve início na segunda década dos anos 2000, quando foi publicada a Política Nacional de Energia (PNE) 2030 e a inserção da fonte eólica no ACR, em 2009, através da realização do Leilão de Reserva (LER).

Na fase inicial, devido à falta de marcos regulatórios mais bem estabelecidos para uma indústria nascente no país e às deficiências na infraestrutura de transmissão e distribuição de energia, como a escassez nas linhas de transmissão (BBC, 07 jun. 2013), as interações entre os agentes nos subespaços onde esses empreendimentos foram implantados foram marcadas por conflitos sociais, ambientais e de infraestrutura. Essa situação se configurou, em grande medida, em razão da exploração do território pelas empresas do setor, acentuando a condição de subdesenvolvimento local, ao invés de promover uma atividade que gerasse transformações sociais no entendimento de Furtado (1961), através da mudança relacional entre os agentes participantes e o espaço, como parte de um processo que poderia aumentar as oportunidades de geração de emprego e renda para a população diretamente afetada pelos investimentos.

Os insumos e a mão de obra qualificada eram majoritariamente oriundos de outras regiões, não havendo a internalização de setores da cadeia produtiva; além disso, havia escassez de profissionais capacitados para atuar diretamente na organização e gestão dos parques de forma gradual. Durante os anos finais desse período, começou a haver a necessidade de mão de obra local, em nível regional, uma vez que essa força de trabalho era utilizada apenas para a fase de implantação dos parques eólicos, a qual demandava baixa capacitação tecnológica. Por outro lado, os movimentos sociais mais estruturados exerceram pressão sobre as instituições e o poder público local, visando promover um debate e uma reestruturação das relações de exploração estabelecidas.

A segunda fase, que abrange os anos subsequentes a 2009, demonstra uma aceleração e uma difusão territorial mais acentuadas, tanto no que tange ao ritmo de implementação dos empreendimentos, quanto à cadeia produtiva, que começa a se concentrar nas regiões sul e sudeste.

Além do aumento da expansão da energia eólica, observa-se também a entrada expressiva da fonte solar. O intervalo é caracterizado pelo segundo auge da energia eólica, com a condução de leilões mais competitivos no Ambiente de Contratação Regulado (ACR), além da constituição de uma cadeia produtiva nacional, focalizada no setor de serviços e situada nos principais centros e polos regionais. Este período também é caracterizado pelo crescimento acentuado da produção de energia solar fotovoltaica, especialmente a partir de 2014. Esse progresso resulta da adoção de políticas de incentivo, redução nos preços das tecnologias voltadas ao setor solar e aumento da previsibilidade normativa.

As exigências do setor tornam-se mais intensas em relação à ampliação do sistema de transmissão e distribuição, assim como à segurança no abastecimento, em virtude da intermitência, que é uma característica das modernas fontes renováveis, como a energia eólica e a solar fotovoltaica.

O que deveria significar uma diminuição nas contendas locais resultou em um incremento nas questões sociais relacionadas à ampliação dos empreendimentos. Nesse cenário, sobressaem-se os denominados filhos do vento e as promessas de geração de renda local, resultantes dos contratos de arrendamento das terras, nos quais se paga uma quantia não regulamentada por cada aerogerador posicionado nessas áreas, o que, por sua vez, propicia conflitos distributivos de terras, evidenciando as chamadas grilagens verdes.

Além disso, verifica-se, entre os anos de 2019 e o presente, um período de intensificação dessa segunda etapa. A ampliação do PROINFA, que resultou no terceiro crescimento significativo do setor eólico a partir de 2022, demonstra um acelerado ingresso de novos projetos, solidificando a região Nordeste como o principal centro da matriz elétrica do país, por meio da incorporação das fontes renováveis de energia - eólica e solar fotovoltaica. Esta etapa também se encontra inserida em um ambiente de disputas regionais. Entretanto, nota-se um aumento nas atividades relacionadas ao setor de geração de energia renovável.

Esse período é caracterizado por uma ampliação estrutural, suportando níveis mais elevados de investimentos e algumas das conexões da cadeia produtiva do setor eólico. É nesse intervalo que o Nordeste consegue assimilar, de maneira mais expressiva, embora ainda restrita, segmentos das empresas do ramo energético, especialmente aquelas vinculadas à cadeia produtiva das usinas e, de forma mais recente, organizações que atuam na fase de manutenção e operação desses empreendimentos.

### 3.2 O NORDESTE COMO ESPAÇO ESTRATÉGICO DO PROCESSO DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO PAÍS: UMA REFLEXÃO À LUZ DA GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL MODERNA NA REGIÃO.

A demanda por energia na sociedade moderna, em atendimento ao padrão de produção e consumo intensivo em exploração de recursos naturais e tecnologia, intensifica o uso de energia originada de combustíveis fósseis<sup>8</sup>. O estilo de vida da sociedade contemporânea, dependente de energia, principalmente eletricidade e combustíveis fósseis, deslanchou a corrida pelo aumento global da oferta interna de energia, bem como o *trade-off* entre estilo de vida humano e a finitude dos recursos naturais, que limitam o crescimento econômico, e tem direcionado a busca por fontes de geração de energia mais sustentáveis.

Desta maneira, essa discussão revela-se fundamental para os diálogos que abrangem tanto a sustentabilidade ambiental quanto a sustentabilidade do desenvolvimento econômico” (Jiusto, 2009, Apud Cataia e Duarte, 2022, p. 768).

Entretanto, o procedimento de produção de eletricidade a partir de fontes renováveis modernas de geração de energia é estruturado para satisfazer o modelo vigente de reprodução e consumo, sob a influência das demandas do poder corporativo (Cunha et al., nov. 2021), subordinando as “forças da natureza” “ao controle humano, conforme são estabelecidos sistemas de transporte e comunicação, divisões territoriais do trabalho e

---

<sup>8</sup> Em 2022, 79% da energia total consumida no mundo teve origem em combustíveis fósseis (REN21, 2024). No Brasil, de acordo com informações do Balanço Energético Nacional (EPE, 2025), as fontes fósseis de energia corresponderam a 59% da geração de energia primária por tipo.

infraestruturas urbanas que servem como base para a acumulação de capital” (Harvey, 2015, p. 42).

É válido ressaltar que, apesar de os recursos naturais estarem distribuídos de forma concentrada em certas áreas do território (CAF, RED, 2024), o que justifica a realização de investimentos em específicas regiões, a discussão em âmbitos global, nacional e regional sobre a transição energética, frequentemente abordada sob a perspectiva da necessidade de uma transição energética justa, não assegura a desmercantilização da natureza (Cunha et al., nov. 2021). Além disso, essa discussão “não se concretiza em processos fundamentados no diálogo e em uma agenda que deve ser compartilhada entre trabalhadores, indústrias e governos” (Cavalcante et al., 2023, p. 17), esses últimos considerados componentes essenciais para caracterizar uma transição energética justa.

O Ministério de Minas e Energia, em parceria com a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)/GmbH, destacou no relatório denominado “Projeto H2Brasil: Transição Energética Justa para Indústrias no Brasil” que a natureza equitativa da transição energética deve levar em conta as comunidades locais, de maneira a assegurar que:

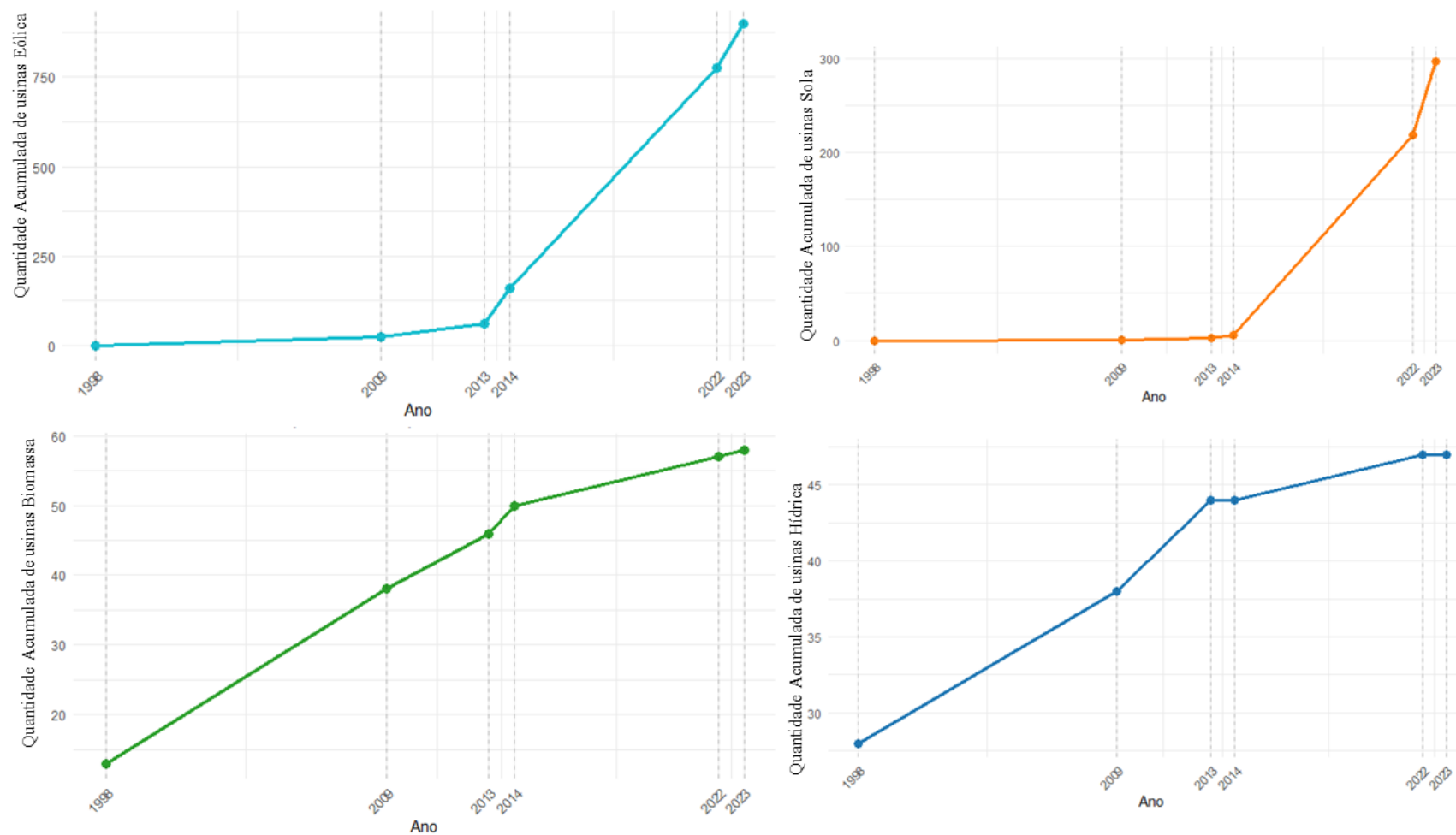
O desenvolvimento econômico seja acompanhado por projetos de formação profissional voltados para o novo contexto industrial, sobretudo em regiões historicamente desfavorecidas, como o Nordeste, que estão sendo priorizadas para novos investimentos e para a criação de hubs industriais focados em descarbonização (MME, out. 2024, p. 8).

Entretanto, levando em consideração a observação de Furtado (2009), que aponta que no contexto da Região Nordeste o desafio está na definição do tipo de industrialização que pode proporcionar condições de desenvolvimento para o local, ao abordar o setor de energia renovável, verifica-se que a cadeia de suprimento de equipamentos voltados para a energia solar fotovoltaica é regida por economias de escala e pela inovação contínua em toda a sua estrutura. Logo, esse fenômeno é observado na energia eólica, uma vez que este setor é intensivo em engenharia e tecnologia, o que implica a necessidade de: “(i) um pacote de conversão eletromecânica e componentes estruturais da nacelle; (ii) um pacote aerodinâmico, que compreende o conjunto de pás e componentes do hub; (iii) um pacote de sustentação do aerogerador, que inclui a torre e seus elementos estruturais” (Araújo e Willcox, 2018, p. 171).

Nesse contexto, a circunstância apresenta um desafio quanto à restrição do incremento de empregos, em virtude da combinação de avanços na eficiência energética, que diminuem a demanda total de energia, e do aumento da produtividade da força de trabalho, conforme apontado pela IEA (2025), associada à revolução tecnológica e ao progresso de materiais e saberes específicos, particularmente concentrados na China, que, por sua vez, detém o domínio sobre todos os segmentos da cadeia de fornecimento de energia solar fotovoltaica (IEA, jul. 2022).

No Brasil, a região Nordeste caracteriza-se como o local onde o processo de transição energética acontece sustentado por uma base capitalista de produção, que facilita “a alteração das dinâmicas territoriais onde são realizados os investimentos de infraestrutura” (Maia et al., 2022, p. 25). Nesse contexto, observa-se uma progressão no número de projetos voltados para a geração de eletricidade a partir de fontes renováveis ao longo dos anos, o que pode ser evidenciado pelas informações apresentadas na Figura 8, na qual as energias eólica e solar fotovoltaica se destacam durante o período analisado.

**Figura 8** - Quantidade de empreendimentos por fonte renovável em operação no Nordeste, 1998-2023.



Fonte: ANEEL (2025). Elaboração própria.

Na Tabela 1, pode-se notar a inclusão das fontes de energia renovável na matriz elétrica da região Nordeste, com ênfase nas energias eólica e solar fotovoltaica. Conforme os dados apresentados, a energia eólica aumentou de 24 empreendimentos em 2009 para 900 projetos em 2023, resultando em um crescimento acumulado de 3.650%, com uma variação média anual aproximada de 63%. Em contrapartida, a energia solar fotovoltaica registrou um crescimento de 4.850%, com uma variação média anual inferior, de 32,3%. Esses números evidenciam a robustez dessas fontes de geração de eletricidade na região, destacando a importância para a segurança do abastecimento no Sistema Interligado Nacional (SIN).

Em contrapartida, as fontes hídricas e a biomassa registraram um incremento inferior, totalizando aproximadamente 24% para a hidroeletricidade e 52,6% para a biomassa. Como consequência, observa-se a formação de um perfil sustentável na produção de eletricidade da região, caracterizando-se pela predominância de fontes eólica e solar fotovoltaica, e, por conseguinte, dependendo das variáveis de intermitência dessas fontes mencionadas.

**Tabela 1** - Inserção das fontes renováveis na matriz elétrica do Nordeste (2009 a 2023).

	Quantidade de Usinas (2009*)	Quantidade de Usinas (2023)	Variação Média Anual (%)	Crescimento Acumulado (%)
Eólica	24	900	62.6	3.650
Solar	6	297	32.3	4.850
Hídrica	38	47	0.64	23.7
Biomassa	38	58	1.43	52.6

Nota: Exceto para a fonte solar fotovoltaica, pois esta fonte começou a fazer parte da matriz elétrica da região, de forma significativa, a partir de 2014, quando foi comercializado pela primeira vez no 6º LER. Fonte: ANEEL (2025). Elaboração própria.

Dessa forma, os dados apresentados indicam que a reconfiguração da região Nordeste, em função da implementação das energias renováveis, está vinculada à posição do Brasil no contexto da diversificação da matriz elétrica nacional. A partir de 2003, iniciam-se a criação de condições institucionais e regulatórias que visam assegurar não somente a modicidade tarifária, essencial para possibilitar o acesso à eletricidade em condições favoráveis, mas, principalmente, a segurança no abastecimento. Isso visa mitigar os riscos de escassez de energia e racionamento, considerando a crise do apagão que afetou o país em 2001 e 2002 (Pinto Jr. et al., 2016).

Dessa forma, a atratividade do Nordeste no setor de geração de energia renovável, a partir daquele instante, deve-se, em primeiro lugar, à sua potencialidade natural para produzir eletricidade a partir de fontes como vento e sol, além da necessidade de direcionar os investimentos da indústria provenientes dos países tradicionais dessa área - Europa e Estados Unidos - e da China, que, desde 2009, já se destacava como um importante ator no setor. Isso se torna evidente no que diz respeito à energia eólica, conforme salientou Macedo (2015), quando destaca o excesso de capacidade não planejada da indústria eólica, em decorrência:

das flutuações não-planejadas da demanda, que, após a crise econômica e financeira que se iniciou em 2008, fez com que o mercado eólico mundial passasse a enfrentar um arrefecimento da demanda por turbinas eólicas, deslocando, assim, para outros países da Ásia e América do Sul empreendedores em busca de novos mercados eólicos em expansão (Macedo, 2015, p. 170).

Certamente, é possível mencionar internamente elementos como o aumento progressivo da demanda interna por energia elétrica (Traldi, 2021), a complementaridade entre as fontes eólica e hidráulica (Bittencourt et al., 2000; Marinho e Aquino, 2011, apud Traldi, 2021), além do empenho do Estado em propiciar uma maior diversificação da matriz elétrica nacional. Esse fator insere o processo de transição energética do país no contexto da expansão das fontes de geração de eletricidade, como parte de um esforço de inclusão de novas fontes de produção de energia.

Entretanto, não se leva em conta a particularidade da região, que abriga uma parte significativa do semiárido brasileiro, aproximadamente 71%, onde reside também 50,5% da população do Nordeste (ASA, 03 jan. 2024), nem os problemas internos, como fatores principais que geram oportunidades de investimentos. Destacam-se, conforme apontado por Maciel e Pontes (2015), a insegurança hídrica e alimentar das populações situadas no Sertão nordestino, a concentração de terras, apesar dos programas de reforma agrária, e o controle do sistema de armazenamento de água por um pequeno grupo, entre outros aspectos, sendo necessário implementar soluções que integrem dimensões naturais e socioculturais, especialmente aquelas voltadas para “a busca por estratégias de coexistência mais harmoniosa da sociedade com as características do meio ambiente no Sertão” (Maciel e Pontes, 2015, p. 13).

Quando se afirma que “o que caracteriza o desenvolvimento é o projeto social subjacente” (Furtado, 2009, p. 26), constata-se que o crescimento econômico, mesmo que

“limpo” ou “verde”, não pode ser considerado sinônimo de desenvolvimento. Este último é compreendido como “um processo de transformação econômica, política e social, através do qual o crescimento do padrão de vida da população tende a tornar-se automático e autônomo” (Bresser-Pereira, 2003, p. 31). Dessa forma, não promoverá, necessariamente, justiça social ou equidade territorial, tampouco sustentabilidade ambiental.

De maneira análoga, a disponibilidade de recursos naturais, por si só, não elucida as razões das distintas taxas de crescimento regional (Kaldor, 1970), e, embora os investimentos em infraestruturas econômicas e sociais sejam imprescindíveis, não asseguram condições adequadas para a superação do subdesenvolvimento (Macedo, 2023).

Portanto, ao considerar o processo de transição energética no Brasil, especialmente na região Nordeste, como um impulso para o desenvolvimento, é fundamental, primeiramente, refletir sobre a atual configuração de poder e confrontar as desigualdades históricas existentes tanto entre as regiões quanto dentro delas. Como salientou Macedo (2023) em sua análise sobre infraestrutura, território e desenvolvimento socioeconômico, a relevância desses investimentos para o crescimento econômico é evidente:

dependerá muito mais do padrão de reprodução do capital dominante numa dada formação socioespacial e do projeto político, econômico e social que se estabelece em cada país com vistas ao futuro. Ou seja, depende do projeto de nação (Macedo, 2023, p. 204).

Chacon (2007) sustenta que o sertão nordestino tem se configurado como uma área de desmobilização em decorrência das políticas públicas que desconsideram sua história, cultura e modos específicos de organização social, o que fortalece um processo histórico de subordinação e esvaziamento de sua identidade. Conforme a autora mencionada, tal processo resulta na expulsão simbólica e física da população nordestina, forçando-a a se deslocar para as periferias urbanas na busca por, em algum espaço geográfico, condições de pertencimento e dignidade, que não são obtidas em sua região natal.

Neste contexto, as fontes de geração de energia renovável que entram no território nordestino situam-se em uma condição análoga à discutida por Chacon (2007), podendo representar uma nova verticalidade dessa mesma lógica de dominação.

A introdução de grandes projetos de energia renovável na região, em particular dos parques eólicos *onshore*, embora envoltos na retórica do desenvolvimento sustentável, ao ignorar as particularidades territoriais relativas à infraestrutura básica, à mão de obra qualificada, à cultura e às condições econômicas, além de levar em conta a disponibilidade de recursos naturais abundantes — como petróleo, vento e sol — “pode resultar em dois caminhos: ou permitir a transformação da estrutura industrial, ou aprofundar a estrutura produtiva existente” (Macedo, 2015, p. 254), podendo, no segundo caso, ocasionar um processo de desterritorialização e ruptura cultural.

Segundo Chacon (2007), essas transformações, ao não interagirem com as diversas realidades territoriais, colocam em risco o agravamento da condição histórica de marginalização da região. Desse modo, a transição energética, além de representar um processo de modificação das condições sociais e econômicas relacionadas à alteração da matriz energética, pode simbolizar um fator de exclusão (Chacon, 2007).

Portanto, é fundamental que o poder nacional “defenda a criação de oportunidades internalizadas de acesso a bens e serviços e coordenar a abertura de horizontes de enriquecimento nas fronteiras internas” (Brandão, 2007, p. 187), possibilitando que esses investimentos, essenciais “para a reprodução e circulação do capital” (Macedo, 2023, p. 209), impactem de maneira quantitativa e qualitativa as regiões e a sociedade que se relaciona diretamente com esses empreendimentos a partir da implementação de projetos em áreas anteriormente ocupadas por “atividades econômicas tradicionais, como pesca artesanal, mariscagem, agricultura familiar, artesanato, entre outras” (Faustino et al., 29 ago. 2023).

Dessa forma, levando em consideração que o setor de energias renováveis está realizando um processo de apropriação de extensas áreas (Traldi e Rodrigues, 2022) no Nordeste brasileiro, sob a justificativa de promover a transição energética nacional, torna-se imprescindível compreender o papel da região Nordeste nesse cenário, além da mera abundância de recursos naturais. O destaque da região na produção de energia renovável moderna tem acarretado “novos usos do espaço” (Traldi e Rodrigues, 2022, p. 93) e a posição estratégica do Brasil dentro da matriz elétrica nacional, considerando a significativa representatividade das fontes renováveis na geração de eletricidade do país.

Na Tabela 2, observa-se a distribuição geográfica e a capacidade outorgada da energia eólica e solar fotovoltaica no Brasil, ressaltando a significativa concentração da geração dessas fontes renováveis na região Nordeste. Com 1.483 usinas e uma potência outorgada que ultrapassa 50 GW, a região Nordeste representa 91% da capacidade total de geração de eletricidade proveniente desse tipo de fonte. Os demais estados da federação brasileira detêm apenas 169 usinas, com uma capacidade ligeiramente inferior a 5 GW, o que corresponde a meros 8,96% do total da capacidade instalada.

Além disso, a região Nordeste concentra 2.218 empreendimentos de usinas solares, correspondendo a 63% do total da capacidade concedida em todo o território brasileiro. A região abriga 70,9% da capacidade de produção conjunta de energia eólica e solar no Brasil. Os dados evidenciam a significância do Nordeste na matriz elétrica do país, conforme já ressaltado, tanto em relação ao número de empreendimentos quanto à potência instalada em megawatts (MW), ressaltando a relevância estratégica da região na transição energética brasileira, ou na diversificação da matriz elétrica nacional.

**Tabela 2** - Número de empreendimentos e potência outorgada de usinas eólicas e solares por recorte regional.

	Eólica		Solar		% da Potência total
	Quantidade de Usinas	Potência Outorgada (MW)	Quantidade de Usinas	Potência Outorgada (MW)	
Nordeste	1.483	50.362.854,0	2.218	88.702.714,8	70,9
Demais estados	169	57.086.281,1	17.55	57.086.281,1	29,1
Brasil	1.652	55.321.322,0	19.768	140.830.527,9	100

Nota: Para o % da potência total considerou-se o somatório da potência outorgada (MW) das fontes eólica e solar, considerando o somatório dos projetos em operação, construção e construção não iniciada.

Fonte: ANEEL (2025). Elaboração própria.

### 3.2.1 Localização espacial da cadeia produtiva da energia eólica no país.

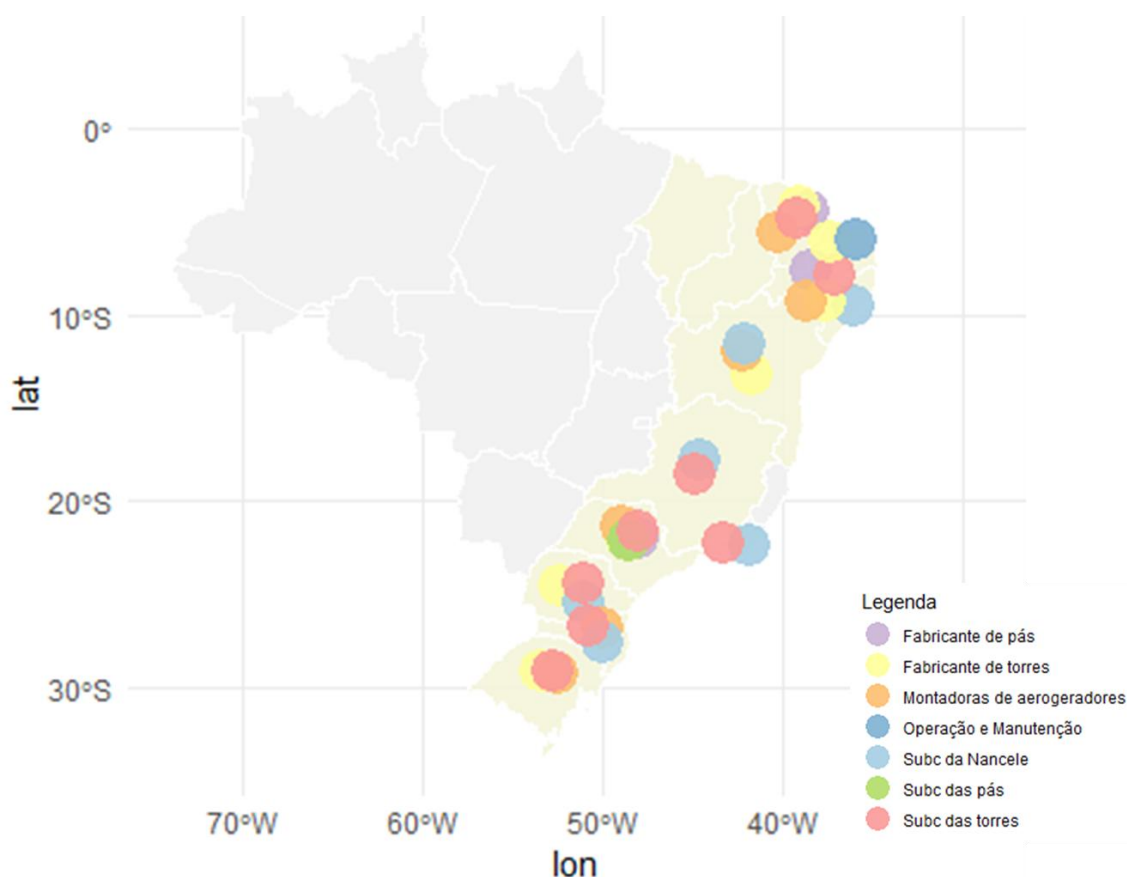
Durante os períodos examinados, a cadeia produtiva do setor passou por um processo de internacionalização. No entanto, apesar da capacidade de aglomeração produtiva observada na região Nordeste e da proximidade em relação aos empreendimentos, observaram-se poucas mudanças qualitativas resultantes da internalização de elos da cadeia setorial nos territórios que hospedam os projetos de energia renovável, no sistema centralizado, em comparação com as regiões Sul e Sudeste

do Brasil. Mesmo assim, a porção adensada na região influenciou e forçou a indústria local a competir na atração de tais investimentos para sua área, com destaque, em particular, para os estados da Bahia, Ceará e Pernambuco, que desde o início receberam elos da cadeia produtiva para a montagem de equipamentos destinados à geração de energia eólica.

Constata-se que, durante a fase inicial da implementação da energia eólica no Brasil (conforme evidenciado na Figura 7), a cadeia produtiva começou a se internacionalizar nas regiões que apresentavam infraestrutura logística, diversificação da produção e economias de escala. Ao longo da segunda fase de inserção da energia eólica no território nacional, iniciada em 2009, a dinâmica da cadeia produtiva passa a apresentar uma regionalização gradual em direção ao Nordeste, especialmente nos segmentos associados à montagem, logística e serviços industriais vinculados aos empreendimentos. A partir de 2018, esse movimento se intensifica, onde a proximidade física em relação aos parques eólicos, juntamente com a presença de uma infraestrutura logística estratégica, propicia a instalação de certos elos produtivos na região. Estes são os casos dos portos de Pecém/CE e Suape/PE, bem como do Polo de Camaçari/BA, que abriga setores como petroquímica, metalurgia, entre outros.

A Figura 9 ilustra a configuração da cadeia produtiva da energia eólica no Brasil, evidenciando os diversos segmentos envolvidos, como a produção de pás, torres, subcomponentes da nacelle, subcomponentes das pás, subcomponentes das torres, fabricantes de aerogeradores e as atividades de operação e manutenção.

**Figura 9** - Localização da cadeia produtiva da energia eólica no território nacional.



Fonte: ABDI (2014) e informações da pesquisa (2025). Elaboração própria.

Com base nas informações contidas na Figura 9, observa-se a localização dos empreendimentos nas regiões e estados que comportam iniciativas de energia eólica *onshore*, especialmente na área designada como corredor de vento (representada pela cor verde-claro), que é mais pronunciada na região Nordeste, ao longo da costa. No entanto, é importante ressaltar que a distribuição territorial desses empreendimentos não se apresenta de maneira uniforme.

O Nordeste configura-se como um centro complementar, caracterizado, em um primeiro momento, por ações com menor valor agregado. Mais recentemente, contudo, a região iniciou a inserção em setores direcionados à operação e manutenção (O&M) dos parques eólicos. A análise espacial possibilita, ademais, a identificação da configuração de dois polos industriais distintos. A primeira região, situada no Sul-Sudeste, é liderada pelo estado de São Paulo (SP) e conta com a significativa participação dos estados do Paraná (PR) e de Santa Catarina (SC).

O segundo polo localiza-se na Região Nordeste, sob a liderança dos estados da Bahia (BA), Ceará (CE) e Pernambuco (PE). Recentemente, nota-se a inserção do Rio Grande do Norte (RN) na estrutura industrial desse setor, com ênfase nas atividades de operação e manutenção (O&M), um segmento estratégico que requer elevada capacidade técnica.

Além disso, o estado de São Paulo sobressai como o principal centro industrial da cadeia eólica no Brasil, reunindo a maior quantidade de empresas em praticamente todos os segmentos examinados. O destaque é especialmente significativo no setor de “Subcomponentes da Nacele”, no qual o estado de São Paulo concentra mais de 30 unidades industriais. Adicionalmente, o estado mencionado também se destaca pela quantidade de empresas atuantes nos setores de subcomponentes do cubo, torres de aço, fabricantes de pás, entre outros. Outros estados que também apresentam participação relevante, embora em menor escala, incluem SC, Minas Gerais (MG) e BA, que possuem atuação em múltiplos segmentos da cadeia.

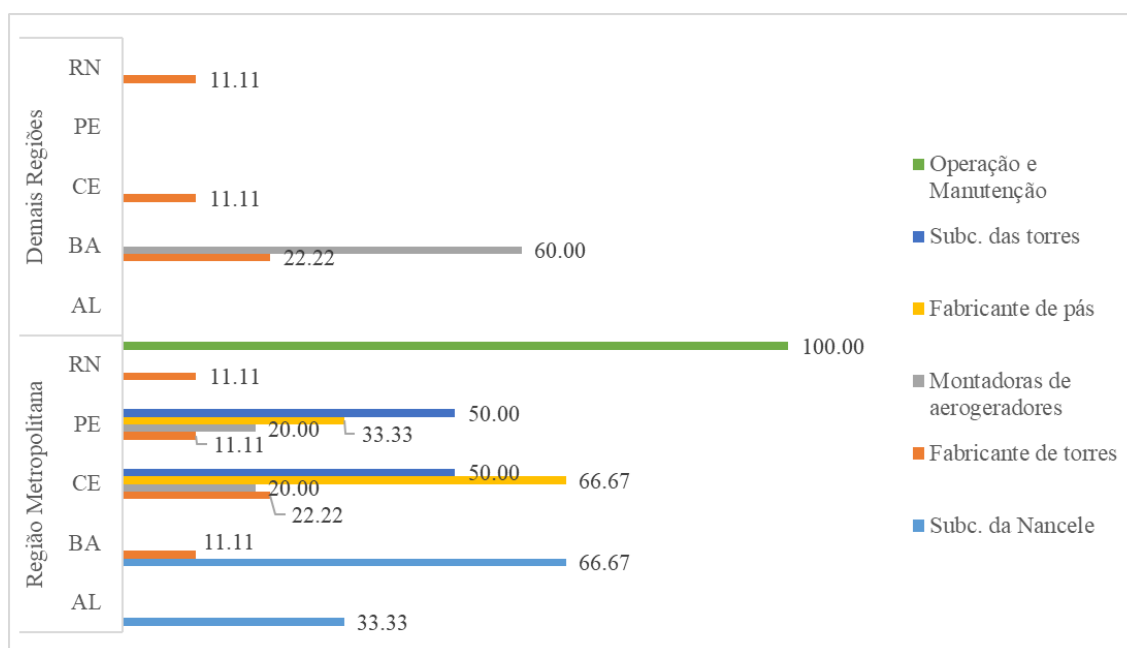
Em relação à Região Nordeste, os estados que possuem a maior concentração industrial são a Bahia, o Ceará e o Rio Grande do Norte. A Bahia destaca-se como o estado do Nordeste que apresenta a maior diversidade na participação da cadeia, incluindo a presença de fabricantes de aerogeradores. O Ceará destaca-se por ter empresas nos setores de torres e pás, enquanto o Rio Grande do Norte, reconhecido nacionalmente pela liderança em capacidade instalada de geração eólica, apresenta em seu mapa empresas dedicadas às atividades de operação e manutenção (O&M) e à fabricação de torres, ambas caracterizadas por uma inserção tardia e restrita à sua região metropolitana. Entretanto, é importante ressaltar que o segmento de operação e manutenção constitui um setor que requer elevada competência técnica.

Essa distribuição evidencia um significativo desequilíbrio territorial na configuração produtiva do setor: enquanto a Região Nordeste agrupa a maior parte dos empreendimentos de geração eólica do país, os principais segmentos industriais da cadeia produtiva permanecem substancialmente concentrados na Região Sudeste, notadamente em São Paulo. Essa assimetria ressalta a inexistência de uma política mais sólida de interiorização da cadeia produtiva, restringindo o potencial de desenvolvimento regional vinculado à transição energética (ABDI, 2014). A assimetria é idêntica em seu espectro

intra-regional. A Figura 10 ilustra a distribuição percentual das empresas pertencentes à cadeia eólica nas regiões metropolitanas e em outras regiões dos estados nordestinos que lograram concentrar parte da cadeia, consolidando tais atividades.

Nota-se que o estado de Pernambuco (PE) ocupa a posição de liderança em quantidade de empresas situadas em regiões metropolitanas, sendo seguido pelo Ceará (CE), Bahia (BA), Rio Grande do Norte (RN) e, por último, Alagoas (AL). A maioria das empresas situadas em capitais e regiões metropolitanas reflete a centralização de infraestrutura, logística e mão de obra especializada, elementos cruciais para a implantação de empreendimentos do setor eólico.

**Figura 10** - Percentual por tipo componente e por localização da cadeia produtiva no Nordeste.

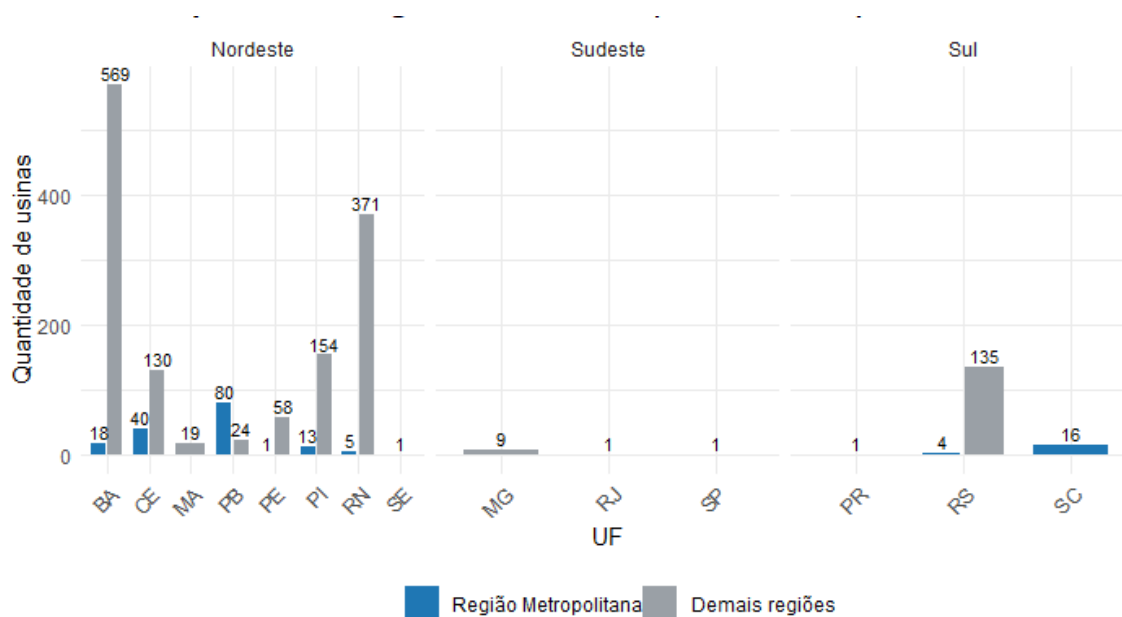


Fonte:ABDI (2014) e informações da pesquisa (2025). Elaboração própria.

A Figura 11 indica que a maior parte dos empreendimentos das usinas localiza-se em outras regiões, com a presença nas regiões metropolitanas sendo bastante reduzida. No Nordeste, as disparidades são notáveis, especialmente na Bahia, no Rio Grande do Norte, no Ceará e em Pernambuco. Simultaneamente, conforme ilustrado na Figura 9, a cadeia produtiva (pás, torres, subcomponentes, montadoras e bases de Operação e Manutenção) continua a ser mais concentrada nas capitais e nas Regiões Metropolitanas (RMs).

Esse dispositivo, no qual as economias de aglomeração urbana sustentam a manufatura e os serviços, enquanto a geração de energia por meio de fonte eólica *onshore* é implementada no interior, resulta da concentração já existente de infraestrutura logística, serviços técnicos especializados e mão de obra qualificada nas regiões metropolitanas. Por outro lado, o elemento natural (vento) está presente em grande quantidade nas áreas internas dos territórios, assim como a diminuição das despesas com aquisição de terras e com licenciamento.

**Figura 11** - Usinas eólicas em Operação e Construção, por região, UF e classe (RM x Demais).



Fonte: ANEEL (2025). Elaboração própria.

Entretanto, essa relação acentua as assimetrias inter e intra-regionais preexistentes e, sem a intervenção intencional das políticas públicas voltadas para direcionar emprego e renda para os subespaços onde se localizam os empreendimentos eólicos, fortalece-se uma relação histórica que é apenas exploratória em relação aos territórios menos desenvolvidos.

Embora seja imprescindível admitir que a indústria de energia eólica apresenta-se como tecnologicamente sofisticada e de alta demanda por capital, a inserção de um grande número de empresas desse segmento não é uma exigência para a operação dos projetos. Contudo, torna-se fundamental promover, se não os elementos da cadeia produtiva, os impactos econômicos nas regiões que hospedam tais empreendimentos, a fim de

implementar mecanismos de compensação, seja de natureza econômico-financeira ou tributária, nos respectivos territórios.

Ademais, é imprescindível assegurar a supervisão rigorosa em relação à proteção social e ambiental da região, o que pode ser realizado por meio de políticas de interiorização produtiva, integração logística e capacitação entre os polos metropolitanos e os territórios de produção, ou ainda por meio da geração de royalties oriundos da produção, ou da tarifação da energia gerada.

Assim sendo, torna-se fundamental examinar até que ponto a euforia em relação ao desenvolvimento ou a condição subserviente de subdesenvolvimento intensificaram as condições já deterioradas dos territórios que recebem esses grandes investimentos. Adicionalmente, é necessário refletir sobre a medida em que o poder público tem apoiado esses modelos de investimento, os quais não promovem alterações significativas nas realidades das comunidades afetadas por tais empreendimentos.

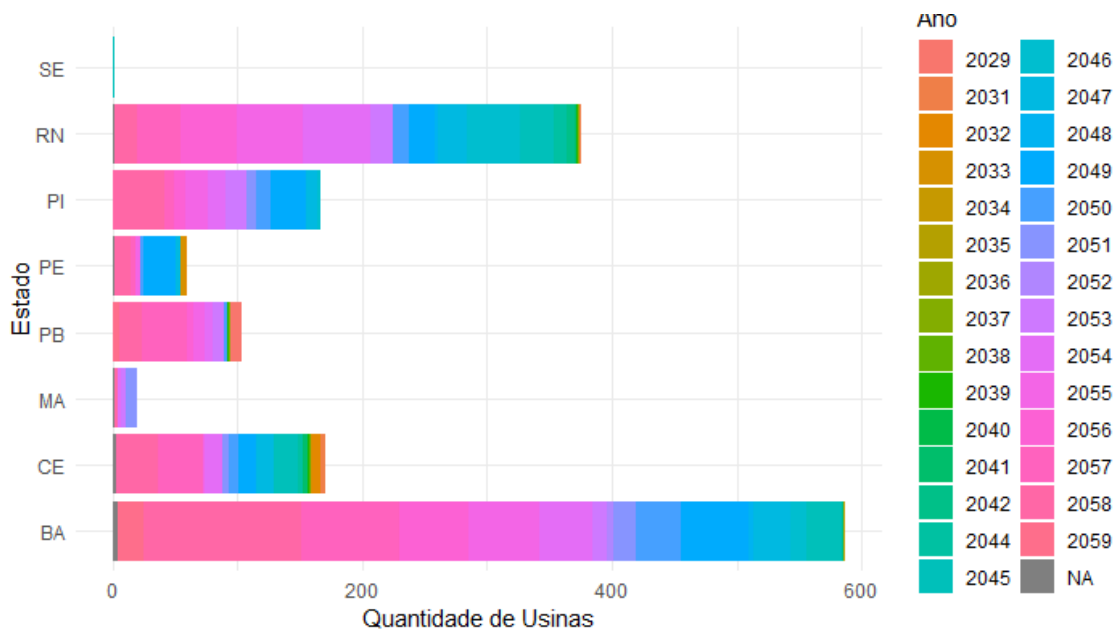
Dentro desse contexto, é importante salientar que, tanto durante a implementação quanto na produção de energia por esses parques, têm-se observado impactos sociais e ambientais negativos nas áreas que recebem tais empreendimentos. Destacam-se, entre outros, os processos de desapropriação de terras, os danos estruturais às habitações provocados pelo uso de explosivos na construção, o ruído das turbinas, os contratos de arrendamento e a assimetria nas negociações, além dos efeitos adversos à saúde ocasionados pelo barulho e pela poeira gerada pela circulação de veículos pesados. Essas circunstâncias revelam não apenas as vulnerabilidades socioeconômicas das localidades, mas também a desigualdade existente entre as regiões geradoras de energia e os núcleos consumidores.

A esses desafios, agrega-se a expectativa de uma “terceira onda” de impactos territoriais e locais, associada ao processo de descomissionamento. A razão para isso reside na iminência do término da vida útil dessas estruturas, o que gera um cenário repleto de incertezas, tanto em aspectos ambientais quanto sociais, considerando a necessidade de remoção, substituição ou reutilização de infraestruturas em grande escala.

A Figura 12 evidencia a distribuição das usinas eólicas por estado, organizadas de acordo com o ano de conclusão da vigência dos empreendimentos. Embora não se refira precisamente ao momento de descomissionamento, considerando que as renovações

contratuais são antecipadas, trata-se de um aviso sobre a durabilidade técnica das instalações. Em média, os contratos são elaborados considerando o limite do período de duração das instalações. Assim, a região Nordeste poderá vivenciar, em um horizonte de curto, médio e longo prazo, um ciclo de descomissionamento dessas infraestruturas, o que pode acarretar repercussões econômicas, sociais e territoriais.

**Figura 12 - Vida útil das usinas na região Nordeste.**



Fonte: ANEEL (2025). Elaboração própria.

É imprescindível ressaltar a importância da atuação do poder público na gestão e no planejamento estratégico, a fim de minimizar os impactos negativos dessa etapa de descomissionamento dos empreendimentos sobre o meio ambiente e a comunidade local. Essa fase pode ser aproveitada, quando adequadamente planejada, para promover a geração de renda e o desenvolvimento de tecnologias em tais regiões.

Portanto, é fundamental considerar o planejamento estruturante relacionado à manutenção e à substituição dessas infraestruturas, cuja vigência final está prevista para as próximas décadas. Este é um momento crucial que demanda preparação e planejamento. Neste contexto, é fundamental entender a dinâmica territorial dessa atividade e a importância da atuação proativa da gestão pública com relação a isso.

A próxima seção se debruça sobre a avaliação empírica, com o objetivo de quantificar os efeitos tangíveis da presença e do crescimento da energia eólica na região,

em uma tentativa de mensurar os impactos da introdução das energias renováveis no Nordeste do Brasil. Para esse fim, utilizam-se, como referência, os projetos de geração eólica *onshore*, uma vez que apresentam maior tempo de maturação no território nacional e possuem maior abrangência na região.

A próxima seção se debruça sobre esse esforço de avaliação empírica, buscando quantificar os impactos concretos da presença e expansão da energia eólica na região, num esforço de tentar quantificar os impactos da inserção das energias renováveis no Nordeste brasileiro. Usa-se, para tanto, como base, os empreendimentos de geração eólica *onshore* por terem maior tempo de maturidade no território nacional e possuírem maior capilaridade na região.

#### 4. IMPACTO REGIONAL VERSUS LOCAL: METODOLOGIA E RESULTADOS

Neste capítulo, são discutidos os aspectos metodológicos utilizados nesta investigação, além de seus resultados, com o objetivo de analisar de forma empírica as implicações das ações do setor de energias renováveis na região Nordeste do Brasil. O objetivo é analisar até que ponto a geração de energias renováveis no Nordeste do Brasil impacta a dinâmica econômica, considerando tanto a dimensão regional, entendida como a própria região Nordeste, quanto a dimensão local, que se refere aos subespaços onde esses empreendimentos estão situados.

Para tanto, este capítulo está estruturado em dois tópicos principais. O primeiro trata dos aspectos metodológicos adotados, detalhando os métodos de construção da base de dados, a seleção das variáveis, a formação dos grupos de tratamento e controle, bem como o modelo econométrico de *Difference-in-Differences* (diff-in-diff) com múltiplos períodos utilizados na estimação dos efeitos. Já no segundo tópico, apresentam-se os resultados obtidos, onde serão discutidas as evidências empíricas obtidas, sua robustez estatística e as implicações para o debate acerca dos efeitos locais e regionais das energias renováveis no Brasil.

##### 4.1 METODOLOGIA

No intuito de avaliar empiricamente as implicações do desenvolvimento das atividades de produção de energias renováveis no Nordeste brasileiro, optou-se pelo método de diff-in-diff. Segundo Wooldridge (2017), o método em questão é amplamente utilizado, e o mais recomendado, para analisar o impacto de um dado evento em um dado intervalo de tempo.

Ademais, o diff-in-diff com múltiplos períodos, conforme a abordagem de Sant'Anna e Zhao (2020), mostra-se apropriado, permitindo estimar efeitos de tratamento, incorporando a heterogeneidade entre os grupos tratados e respeitando a adoção não simultânea dos empreendimentos de energia renovável. Essa escolha metodológica assegura maior validade causal às estimativas e maior aderência à realidade empírica da expansão da energia eólica deste caso de estudo.

A identificação baseia-se na hipótese de tendências paralelas, ou seja, na ausência do tratamento, a trajetória média do desfecho nos dois grupos, tratamento e controle, teria evoluído de forma semelhante. Diferenças fixas entre grupos e choques comuns no tempo são, assim, eliminados pela dupla diferença.

Desta forma, o diff-in-diff analisa o impacto por meio das diferenças na tendência média entre dois grupos, um que tenha recebido a ocorrência do evento e outro que nunca tenha recebido tal evento. Ademais, para validação dos resultados, é necessário que ambos os grupos sejam pariformes, ou seja, que possuam aspectos pareados ou semelhantes. A Tabela 3 evidencia, brevemente, o método diff-in-diff mais comumente usado (o modelo clássico).

**Tabela 3 - Diff-in-diff.**

	Antes	Depois	Diferença
Tratamento	A	B	A-C
Controle	C	D	B-D
diff-in-diff	A-C	B-D	(B-D) -(A-C)

Fonte: WOOLDRIGGE (2017).

No entanto, optou-se aqui por utilizar o modelo de diff-in-diff de Sant’Anna e Zhao (2020), dado que este permite a identificação de efeitos heterogêneos, possibilitando o controle de possíveis vieses relativos à adoção escalonada de eventos, ou seja, assume-se que, uma vez tratadas, as unidades permanecem tratadas nos períodos seguintes, sendo possível a inserção de mais de uma vez o tratamento.

Destaca-se que o método de Sant’Anna e Zhao (2020) é adequado para casos em que se usam controle por covariáveis observadas, ou diferentes grupos de comparação, ou ainda “situações em que as unidades antecipam o tratamento e podem ajustar seu comportamento antes da implementação” (Sant’Anna e Zhao, 2020, p. 32). No entanto, ao aplicar o modelo clássico, pode-se atribuir à operação das usinas um dado impacto que pode ser, de fato, das usinas recorrentemente em construção na mesma região ou ainda a especulação de usinas ainda não iniciadas.

Para o evento aqui considerado, a atividade dos empreendimentos de energia eólica *onshore*, esse método é crucial, visto que os empreendimentos são de longa duração. Soma-se a isso a reinserção de novas usinas de energia na mesma localidade,

impossibilitando, por meio do modelo clássico de diff-in-diff, verificar os efeitos oriundos da operação das usinas em si, ou ainda, somando-se os efeitos das usinas em construção ou das que se encontram na condição de construção não iniciada.

Cientes de que a produção de energia eólica *onshore*, aqui utilizada como *proxy*, é uma atividade intensiva em capital e tecnologia, de maneira que, segundo Simas e Pacca (2013), é durante a implantação dos empreendimentos de geração eólica que se demanda maior intensidade de mão de obra direta e indireta, considerou-se nesse estudo os empreendimentos de energia eólica *onshore* em operação, construção e não iniciados segundo informações da ANEEL (2025).

Com o uso desse método, buscou-se verificar as implicações das usinas eólicas, sob os aspectos econômicos, sociais e ambientais, na região Nordeste, utilizando-se do recorte temporal de 1998 a 2021. Constatou-se que o intervalo para a análise das etapas de incorporação das energias renováveis, abordado no capítulo anterior, foi prolongado até o ano de 2024, a fim de abarcar a trajetória mais atual de crescimento e consolidação do setor no território brasileiro. Contudo, no que diz respeito à etapa econométrica alicerçada no modelo de diferenças em diferenças, o intervalo de tempo foi estabelecido até o ano de 2021. A decisão foi fruto de considerações de ordem técnica e metodológica, pois, embora a análise exploratória inicial levasse em conta o período até 2024, restrições referentes à disponibilidade, padronização e atualização das bases de dados requeridas para a estimativa do modelo determinaram a definição de um horizonte temporal mais limitado, sem prejudicar a consistência estatística e a validade dos resultados empíricos.

A seleção foi realizada de acordo com a disponibilidade de dados, visando contemplar os impactos das decisões após a crise energética brasileira de 2001, os significativos êxitos das energias renováveis contemporâneas e o início da pandemia em 2020, além de investigar alterações de longo prazo, considerando que se refere a investimentos com períodos de maturação prolongados, estabelecendo comparações entre as etapas de introdução da atividade nos territórios do Nordeste brasileiro, conforme descrito no tópico 3.1.1 deste estudo.

Ressalta-se ainda que a análise se concentrou exclusivamente na geração de energia eólica *onshore*, dada sua expressiva presença e capilaridade na região Nordeste, ao contrário de outras fontes renováveis cuja distribuição geográfica é mais restrita. A

variável “usinas eólicas” é utilizada como *proxy* na análise e exposição ao tratamento proposto, permitindo a identificação dos municípios impactados pela instalação dessas unidades geradoras. Quanto à formulação matemática do método com múltiplos períodos e adoção escalonada, o método baseia-se no conceito de  $ATT_{(g,t)}$ , ou seja, o efeito médio do tratamento no tempo  $t$  para as unidades tratadas pela primeira vez no tempo  $g$ .

Assim,

$$ATT_{(g,t)} = \varepsilon \left[ \frac{(Y_t - Y_{g-1})}{G = g} \right] - \varepsilon \left[ \frac{(Y_t - Y_{g-1})}{C_{g,t}} \right] \quad (2)$$

Onde:

- i.  $ATT_{(g,t)}$  é o efeito médio do tratamento no período  $t$  para o grupo que foi tratado pela primeira vez no período  $g$ ;
- ii.  $\varepsilon$  é a esperança matemática, ou seja, o valor esperado da variável aleatória;
- iii.  $G=g$  é o grupo de unidades que recebeu o tratamento pela primeira vez no tempo
- iv.  $Y_t$  é o valor da variável de interesse (por exemplo, emprego) para uma unidade no tempo  $t$
- v.  $Y_{g-1}$  é o valor da variável de interesse no ano anterior ao início do tratamento.

Desta forma, tem-se que a diferença entre essas duas esperanças resulta no efeito médio do evento ocorrido (ATT). A seguir, detalha-se o método de seleção dos grupos de tratamento e controle para a aplicação do modelo aqui apresentado e, em seção posterior, seguem-se seus resultados. Importa destacar que, ao analisar a região Nordeste, objeto de estudo deste trabalho, o uso de diff-in-diff exige cautela adicional, dado que, como já abordado, o Nordeste, apesar de se consolidar como principal fronteira de implantação de empreendimentos eólicos *onshore*, é, ao mesmo tempo, uma região com grandes assimetrias internas e estruturais.

Desta forma, é válido constatar que os impactos da atividade não se distribuem de forma homogênea no território nordestino e, tampouco, os seus territórios são pariformes aos do Sul-Sudeste, que concentra partes da cadeia produtiva dos equipamentos,

consolidando-se como o principal polo industrial do setor no país, como abordado anteriormente.

Assim, comparações que ignorem essas diferenças podem violar a hipótese de tendências paralelas condicionais, introduzindo vieses por composição ou por transbordamentos regionais. Por isso, a formação de grupos de tratamento e controle deve ser sensível ao contexto regional, privilegiando critérios que aproximem estruturas socioeconômicas e trajetórias pré-tratamento, sob pena de atribuir às eólicas efeitos que, na verdade, refletem estruturas produtivas e trajetórias de desenvolvimento díspares. Essa preocupação orienta a discussão que segue sobre a construção dos grupos e a interpretação dos impactos estimados.

Neste contexto, um estudo sobre os efeitos da implantação de parques eólicos nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) para o Nordeste, entre o período de 1998 e 2023, realizado por Silva et al. (2023), concluiu que a presença desses empreendimentos, incluindo os efeitos de transbordamento sobre localidades vizinhas, resultou em uma redução média de 3,473 toneladas de CO<sub>2</sub> *per capita*. Contudo, o impacto só se manifestou de forma estatisticamente significativa após cerca de dez anos da instalação, interpretado pelos autores como um ciclo de maturação em que os ganhos ambientais surgem apenas após a estabilização inicial do crescimento econômico induzido pela entrada dos parques.

Para mensurar tais efeitos, os autores empregaram o modelo de Diferenças em Diferenças com múltiplos períodos, conforme a proposta metodológica de Callaway e Sant’Anna (2021). A estratégia empírica considerou a entrada escalonada dos parques como tratamento e utilizou como critério de formação dos grupos a distância geográfica em relação aos empreendimentos, com recortes de 50, 100, 150 e 200 km, para captar efeitos diretos e de transbordamento. Essa abordagem explorou a heterogeneidade espacial e temporal associada à expansão eólica no Nordeste (Silva et al., 2023).

Contudo, no presente trabalho, parte-se das premissas de que os subespaços próximos podem apresentar trajetórias de desenvolvimento, infraestrutura e capacidade produtiva bastante assimétricas. A título de exemplo, e segundo dados do IBGE Cidades (2025), o município de Pedra Preta, localizado no Rio Grande do Norte, apresentou densidade demográfica de 8,27 hab/km<sup>2</sup> em 2022, com PIB *per capita* de R\$ 14.934,93,

em 2021, e IDHM de 0,558, em 2010, enquanto o município de João Câmara, também localizado no estado do Rio Grande do Norte, distanciando-se apenas 55 km da capital do RN, registra densidade de 46,56 hab/km<sup>2</sup>, um PIB *per capita* de R\$ 35.911,78 e IDHM de 0,595 nos mesmos períodos.

Aqui destaca-se que, embora próximas geograficamente e ambas contempladas com empreendimentos de energia eólica, Pedra Preta, com 16 usinas, e João Câmara, com 29, segundo dados da ANEEL (2025), os indicadores socioeconômicos revelam realidades bastante distintas, evidenciando que a proximidade espacial nesse caso não representa a homogeneidade em termos de desenvolvimento ou de capacidade de absorção dos impactos desses empreendimentos.

Diferentemente, Lessa et al. (2023) consideraram a premissa de que, “como a rota de vento é um fator determinante para a instalação de parques eólicos” (Lessa et al., 2023, p. 6), municípios limítrofes inseridos na rota do vento tenderiam a compartilhar características socioeconômicas semelhantes, configurando-se como candidatos importantes para compor grupos de controle e tratamento. Todavia, como exemplificado anteriormente, essa hipótese não se sustenta de forma homogênea no território nordestino. A região é marcada por fortes assimetrias internas, de ordem econômica, social e infraestrutural, as quais tornam insuficiente a utilização exclusiva da proximidade geográfica, ou da inserção em uma mesma rota de vento, como critério de equivalência entre os municípios.

Subespaços vizinhos podem apresentar trajetórias de desenvolvimento bastante distintas, como demonstraram os indicadores comparativos entre as cidades potiguares analisadas, revelando que a rota de vento, por si só, não garante condições socioeconômicas semelhantes. Contudo, é importante destacar que a utilização da caracterização da rota de vento como recorte inicial pode ser considerada uma amostra geral elegível para a seleção dos grupos, desde que complementada por critérios adicionais. A comparação entre municípios deve necessariamente incorporar parâmetros sociais e econômicos que assegurem maior simetria entre os grupos tratados e os controles, de modo a reduzir vieses e ampliar a validade do desenho de identificação.

No presente trabalho, utiliza-se a densidade demográfica como parâmetro alternativo à parametrização para definição dos grupos de comparação por distância

geográfica. Justifica-se essa escolha por considerar, assim como Araújo (1992, p. 19), que “no Nordeste há vários ‘Nordestes’”, ou seja, não se pode assumir homogeneidade socioeconômica apenas pela proximidade geográfica, sob pena de ferir a hipótese de tendências paralelas, e, com isso, os resultados poderiam não refletir o efeito do tratamento, mas sim fenômenos externos e estruturais. Logo, o método de diferenças não isolaria o efeito causal, misturando impactos do tratamento com mudanças estruturais próprias de cada grupo.

Ademais, considerando que a expansão da energia eólica no Nordeste brasileiro apresenta trajetória marcadamente crescente ao longo do período analisado, optou-se por incluir a variação de tendência temporal no modelo. Essa escolha metodológica busca controlar o fato de que o número de usinas eólicas não se distribui de forma estática no tempo, mas segue um padrão de crescimento quase monotônico, refletindo a intensificação dos investimentos no setor. A incorporação dessa tendência permite isolar de forma mais precisa os efeitos do tratamento, evitando que o simples avanço temporal da instalação de empreendimentos seja confundido com os impactos atribuídos à sua presença. Dessa maneira, assegura-se maior robustez às estimativas, uma vez que a análise passa a capturar não apenas o efeito pontual da entrada dos empreendimentos, mas também a dinâmica de sua expansão contínua.

#### **4.1.1 Formação dos grupos de tratamento e controle**

As áreas com maior densidade populacional costumam, devido a fatores históricos, possuir condições de infraestrutura superiores, uma diversificação produtiva mais ampla e um dinamismo econômico mais acentuado, resultando em grupos de controle mais equilibrados. Ainda se considera a exigência de critérios técnicos para a atração de empreendimentos eólicos nos territórios como uma condição significativa para a constituição dos grupos de controle e tratamento.

Dessa forma, para a formação da amostra analítica, estabeleceu-se um critério técnico de elegibilidade fundamentado na presença de recursos eólicos na região, sendo selecionadas áreas que apresentassem uma velocidade média do vento de, pelo menos, 6 m/s a 100 metros de altura do solo, conforme informações do Novo Atlas (2025). Esse limiar estabelece um “corredor de ventos” e reflete o nível mínimo de viabilidade técnica

frequentemente relacionado à implementação de projetos eólicos. Assim, os territórios que não alcançaram esse patamar foram retirados da amostra geral apta antes da constituição dos grupos de tratamento e controle.

Operacionalmente, o filtro foi implementado ao cruzar os limites territoriais com a superfície espacial do Novo Atlas (2025), atribuindo a cada município a medição da velocidade do vento correspondente ao seu território. A norma de seleção implementada utilizou o indicador territorial de vento, a 100 m de altura, com valor igual ou superior a 6 m/s. Se o território continuar na amostra analítica, poderá ser classificado como tratado, isto é, quando há presença de usina no intervalo considerado, ou como potencial controle, na ausência de usina, de acordo com os demais critérios do estudo.

Esse enquadramento inicial desempenha duas funções metodológicas. Inicialmente, deve-se estabelecer a comparabilidade entre tratados e controles, limitando-os ao mesmo nível tecnicamente viável para a energia eólica, o que contribui para a diminuição de vieses de seleção provocados pela inclusão de localidades sem vocação mínima. Ademais, e em conjunto com os demais critérios, estabelece um padrão de elegibilidade em todas as regiões analisadas, diminuindo a heterogeneidade não observável associada ao recurso natural. Reconhece-se, contudo, que o limiar de 6 m/s é uma convenção razoável; por isso, o estudo aplicou verificações de robustez com pontos de corte alternativos (p.ex., 5,5 m/s e 6,5 m/s).

Além disso, após a identificação dos territórios que possuem equivalente capacidade técnica para atrair tais investimentos, ou seja, a amostra analítica, foram utilizados, por município e por ano, a área territorial municipal em km<sup>2</sup> e as estimativas populacionais anuais, conforme as fontes mencionadas no Quadro 2. Com base na fórmula apresentada a seguir, foi possível estimar a densidade demográfica de cada município.

Assim,

$$Densidade (hab/km^2) = \frac{População\ estimada}{Área\_km^2} \quad (3)$$

As séries foram harmonizadas por município e, diante de lacunas, aplicou-se imputação por interpolação linear univariada no tempo, ou seja, cada valor ausente foi estimado pela média aritmética dos valores imediatamente anterior e posterior; nas extremidades da série, utilizou-se o vizinho mais próximo. O mesmo procedimento foi empregado para preencher as lacunas da variável população. Após a realização do grupo de tratamento, excluíram-se os municípios que permaneceram sem informação de área ou com área igual a zero, a fim de evitar divisões inválidas e vieses na estimação da densidade demográfica.

Dessa maneira, este estudo adota o método fundamentado na densidade populacional dos municípios que abrangem a rota de vento como parâmetro para a caracterização regional dos grupos. Assim, visa-se refletir com maior exatidão as semelhanças técnicas, econômicas e sociais entre os municípios nordestinos. Dessa forma, ao priorizar esse duplo critério, este estudo busca ultrapassar as limitações da mera proximidade geográfica e fornecer estimativas mais robustas acerca dos efeitos da energia eólica na região.

Levando em conta a amostra analítica limitada ao corredor de ventos ( $\geq 6$  m/s), foram definidos os grupos de comparação com fundamento na densidade demográfica, objetivando-se maximizar a comparabilidade socioespacial entre os municípios. Na prática, considera-se o conjunto de municípios da região Nordeste situado ao longo do corredor dos ventos e categoriza-se cada um deles de acordo com a existência de usinas eólicas no intervalo de tempo analisado. Esse trecho inicial apenas reconhece o potencial “tratado” (com usina) e o potencial “controle” (sem usina), sem estabelecer, neste momento, a inclusão definitiva na amostra comparativa.

Subsequentemente, é empregado um critério de elegibilidade baseado na densidade, que garante que os grupos de tratamento e controle apresentem níveis comparáveis de urbanização econômica, diminuindo assim os vieses resultantes de heterogeneidades estruturais. Para tal, calcula-se, para cada município do Nordeste que possui usinas eólicas, a densidade de referência, que corresponde à média da densidade ao longo do período analisado. A partir desse conjunto de médias municipais, é possível estimar a média da amostra ( $\mu_a$ ) e o desvio-padrão da amostra ( $\sigma_a$ ), além de estabelecer a janela de admissibilidade como o intervalo.

Ou seja,

$$[(\mu_a + \sigma_a) \leq \text{Amostra admissível} \leq (\mu_a - \sigma_a)] \quad (4)$$

Onde:  $\mu_a$  é a Média da Amostra e  $\sigma_a$  é o Desvio Padrão da Média da Amostra.

Operacionalmente, fazem parte do grupo de tratamento os municípios nordestinos que possuem energia eólica cuja densidade de referência se encontra na faixa definida. No que diz respeito ao grupo de controle, incluem-se os municípios desprovidos de energia eólica, que se encontram igualmente situados dentro do corredor de ventos e que satisfaçam a mesma faixa de densidade. Essa decisão possibilita que: (i) o corte seja uniforme para ambos os grupos, fundamentado na distribuição dos potenciais analisados; e (ii) ao aplicar a média municipal para estimar  $\mu_a$  e  $\sigma_a$ , previne-se que municípios com séries mais extensas tenham um peso excessivo na determinação dos parâmetros, garantindo estabilidade ao tamanho amostral.

Visando equilibrar a composição espacial e minimizar a probabilidade de haver estados que predominem na amostra, foi implementado um emparelhamento por Unidade da Federação (UF). Assim, para cada Unidade Federativa que contém municípios aptos ao tratamento, é efetuado um sorteio aleatório simples, utilizando uma semente fixa, dentro do grupo de elegíveis do controle na mesma Unidade Federativa, selecionando um número equivalente de observações (município–ano) como o que foi observado no tratamento. Como parte do processo de robustez interna, a presença de outliers foi mitigada antes da implementação da regra de densidade, assegurando a integridade das distribuições e a estabilidade da variância. Foi estabelecido o critério padrão do intervalo interquartil (IQR). Esse procedimento possibilitou a diminuição das caudas extremas de forma simétrica, minimizando o efeito de valores atípicos e favorecendo a superposição de suporte entre os grupos na etapa seguinte.

A amostra final é, portanto, composta por dois conjuntos com critérios espelhados: (i) municípios do Nordeste com eólica e densidade de referência em  $[\mu_a \pm \sigma_a]$ , e (ii) municípios do Nordeste sem eólica, igualmente no corredor de ventos e dentro da mesma faixa de densidade, com tamanhos por UF equalizados por sorteio.

No Quadro 3, a amostra final dos grupos de controle e tratamento encontra-se próxima do balanceamento em tamanho, com 5.256 observações, sendo 113 municípios no controle e 106 no tratamento ao longo de 24 anos. Observa-se que as medidas de

centralidade mostram densidade média de 23,7 hab./km<sup>2</sup> no controle e 28,4 hab./km<sup>2</sup> no tratamento, uma diferença de 4,7 hab./km<sup>2</sup>, cerca de 16,5% da média do tratamento, com medianas muito próximas (21,1 vs. 21,8). Constata-se ainda que a dispersão é maior no tratamento, com desvio padrão de 22,0, do que no controle, com desvio padrão de 11,2. Ademais, o intervalo interquartil (do 25º ao 75º percentil, que concentra os 50% centrais da distribuição) vai de 12,1 a 39,7 hab./km<sup>2</sup> no tratamento (largura 27,6) e de 14,7 a 31,0 hab./km<sup>2</sup> no controle (largura 16,3), com ampla sobreposição.

**Quadro 3** - Estatísticas descritivas por grupo (tratamento versus controle) para o Nordeste.

Grupo	Número de Territórios	Média	DP	P25	Mediana	P75
Controle	113	23,7	11,2	14,7	21,1	31
Tratamento	106	28,4	22,0	12,1	21,8	39,7

Nota: P25 e P75 correspondem, respectivamente, ao 25º e ao 75º percentis da distribuição das observações. Fonte: Elaboração própria. 2025.

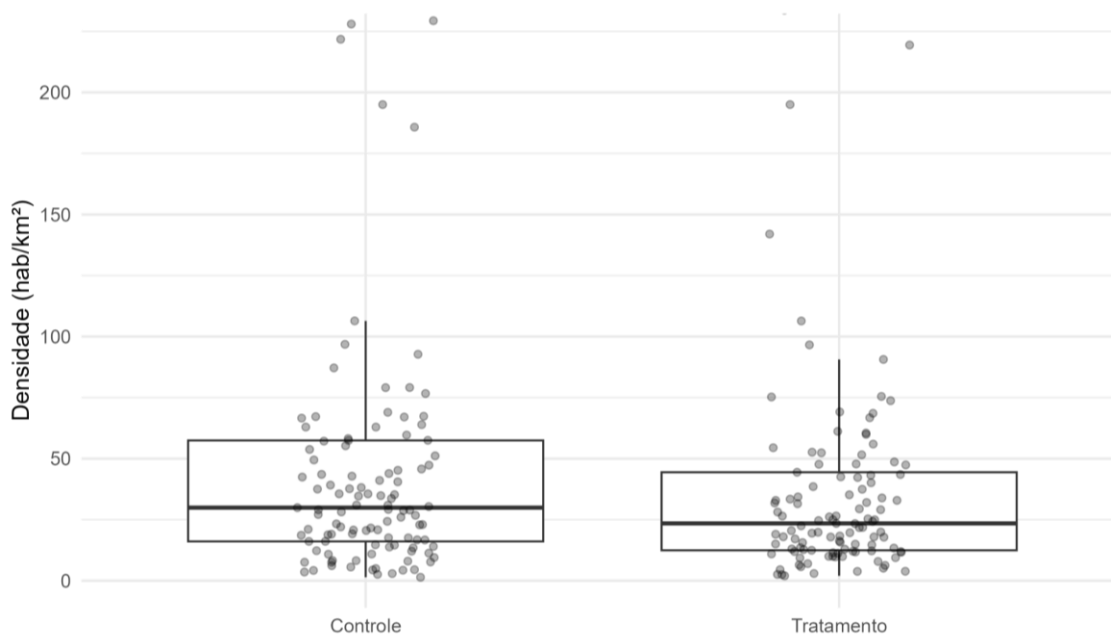
Em suma, o grupo de tratamento demonstra uma média e variabilidade um pouco superiores, contudo, há uma considerável sobreposição significativa no centro das distribuições, mantendo o suporte comum e a viabilidade do desenho de diferenças-em-diferenças. A Figura 13 apresenta uma comparação da distribuição da densidade demográfica entre os grupos designados como Tratamento e Controle. Observa-se que as medianas dos dois grupos estão bastante próximas, e o intervalo interquartil (Q1–Q3), que abriga os 50% centrais, apresenta uma considerável sobreposição, o que indica semelhança em centralidade e dispersão.

Identifica-se a presença de uma assimetria à direita em ambos os agrupamentos, evidenciando um discreto excesso de *outliers* no grupo de controle. Entretanto, os tamanhos das amostras são semelhantes, o que fortalece a comparabilidade visual. Ademais, embora existam assimetrias, as médias apresentam magnitudes comparáveis, havendo um suporte comum entre os grupos, o que torna a amostra adequada para o modelo de Diferenças em Diferenças.

A combinação do critério técnico do corredor do vento com o nivelamento por densidade e o emparelhamento por UF gera grupos de comparação que possuem centro e dispersão semelhantes, apresentando uma leve maior abertura no grupo de controle, além

de um amplo suporte comum. Essa abordagem supera as limitações da mera proximidade geográfica, proporcionando uma base empírica mais robusta para a identificação do efeito do tratamento na região Nordeste.

**Figura 13** - Densidade demográfica: comparação Tratamento–Controle (boxplot, Nordeste).



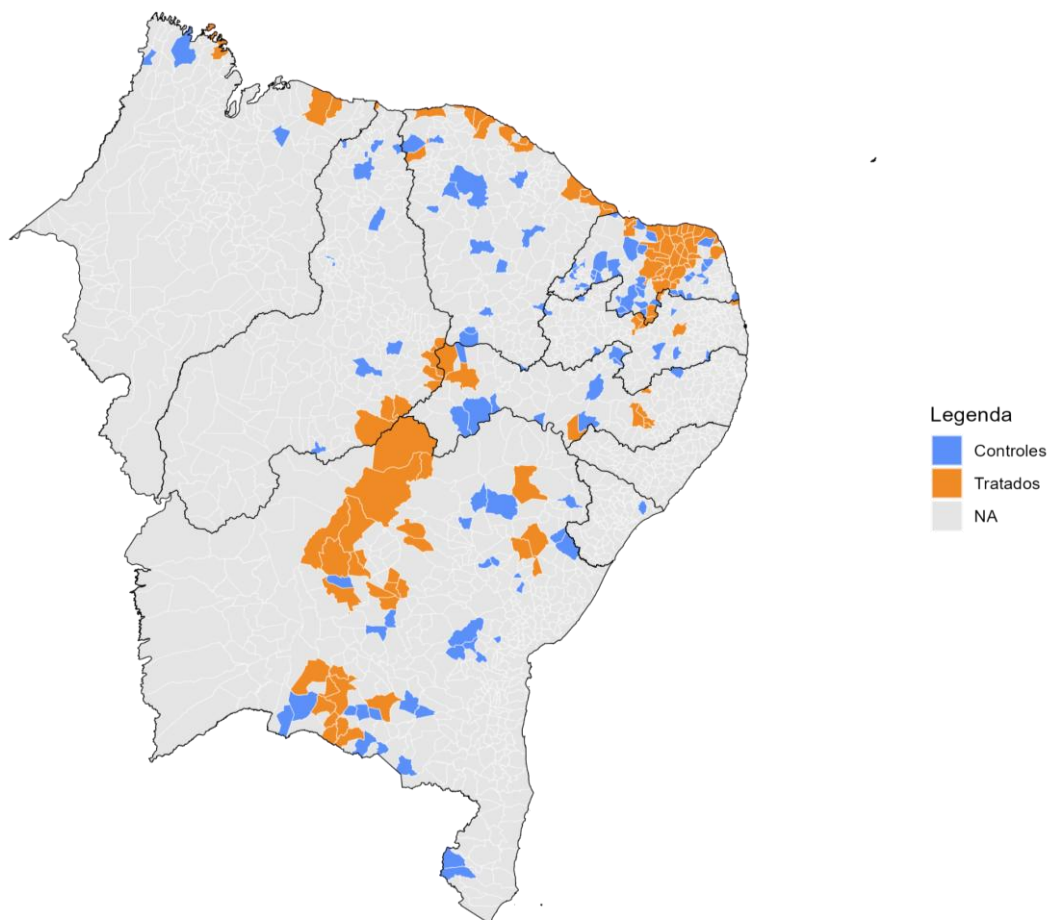
Fonte: Elaboração própria. 2025.

A Figura 14 mostra a distribuição espacial dos municípios tratados, sendo estes 106, e controle, 113, localizados no Nordeste. Visualmente, nota-se que os dois grupos estão intercalados no território: os de controles aparecem próximos aos tratados, preservando o suporte comum espacial desejável para comparação, contudo, considerando os aspectos socioeconômicos dos municípios.

A amostra, por unidade da federação, apresenta uma concentração significativa na Bahia, que conta com 30 municípios no grupo de tratamento e 60 no grupo de controle, e no Rio Grande do Norte, com 37 municípios no grupo de tratamento e 75 no grupo de controle. Esses estados, de forma notável, são aqueles que possuem a maior quantidade de empreendimentos eólicos em seus territórios. Em conjunto, são responsáveis pela maior parte das situações. Constata-se, igualmente, na ilustração, o padrão reconhecido de expansão da energia eólica na região Nordeste, bem como a presença de corredores de vento na área costeira e no semiárido nordestino.

Aponta-se, neste contexto, que os critérios utilizados para a formação dos grupos de controle e tratados possibilitam a comparabilidade regional. No que diz respeito ao desenho empírico, tal abordagem diminui a probabilidade de confrontar realidades assimétricas, contribuindo para a manutenção de contextos institucionais e geográficos semelhantes, como clima e logística, entre outros, o que facilita o isolamento do efeito do tratamento.

**Figura 14** - Localização dos municípios de tratamento e de controle - Nordeste.



Fonte: GEOBR/IBGE (2020). Elaboração própria. 2025.

No subtópico a seguir, descrevem-se as variáveis utilizadas na implementação dos modelos de diferença em diferenças. Em seguida, apresentam-se os resultados.

#### 4.1.2 Variáveis utilizadas

As variáveis analisadas neste trabalho compuseram um painel com dados municipais da região Nordeste, compreendendo o período de 1998 a 2021. As fontes de dados primárias foram a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS): para emprego e renda, aqui compreendida como o valor da remuneração média em salários mínimos; o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): para o PIB municipal, o Valor Adicionado Bruto, população estimada e área territorial dos municípios; a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): para informação de localização dos empreendimentos eólicos e anos de inserção; Novo Atlas: para velocidade do vento; e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA): para a série histórica do IPCA para fins de padronização de valores.

Todas as variáveis monetárias foram atualizadas para valores reais de 2024, assegurando comparabilidade temporal. As variáveis derivadas<sup>9</sup>, como a densidade populacional e o PIB per capita, foram elaboradas na ferramenta R a partir das bases originais. Assim sendo, no Quadro 4, apresentam-se as unidades de medida e as fontes elencadas.

**Quadro 4 - Variáveis.**

Variável	Unidade	Fonte
Empregos	Unidades (em mil)	RAIS
Renda	R\$ em mil	RAIS
Valor Adicionado Bruto	R\$ em mil	IBGE
Usinas Eólicas	Unidades	ANEEL
População Residente (total)	Unidade (em mil)	IBGE
Área total dos municípios	Km <sup>2</sup>	IBGE
Densidade Estimada	hab/Km <sup>2</sup>	laboração própria segundo (IBGE)
PIB Municipal	R\$ em mil	IBGE
PIB <i>per capita</i>	R\$ em mil	Elaboração própria segundo (IBGE)
IPCA	Porcentagem	IPEA DATA
Velocidade do Vento	m/s	Novo Atlas

Nota: Valores atualizados pelo IPCA acumulado em 2025.

Fonte: Elaboração própria. 2025.

É importante ressaltar que, quando a fonte não dispunha de uma série única e contínua, a exemplo da RAIS, que sofre alterações metodológicas em alguns períodos, o

<sup>9</sup> Densidade Estimada (hab/km<sup>2</sup>) = População (hab) / Área (km<sup>2</sup>); e PIB *per capita* estimado (R\$/hab) = PIB (R\$) / População estimada (hab).

painel foi completado com as informações disponíveis, preservando a coerência de unidades e registrando as versões utilizadas. Embora tais mudanças desaconselhem comparações diretas de níveis entre anos específicos, elas não afetam diretamente a estratégia aqui empregada, visto que o modelo de Diferenças em Diferenças opera sobre variações intra-municipais ao longo do tempo, isto é, sobre as diferenças ano a ano da amostra. Assim, quebras comuns de nível tendem a ser absorvidas pela diferenciação temporal, pois estas se incidem de forma sistematicamente distinta entre tratamento e controle.

Importa destacar ainda que, em casos de lacunas no painel, adotou-se imputação pontual por interpolação simples, preenchendo o valor ausente pela média entre os anos imediatamente anteriores e posteriores ao hiato. A opção preserva a tendência local da série e reduz ruído de curto prazo, sem alterar níveis de forma arbitrária.

Por fim, no próximo tópico serão apresentados os resultados obtidos e as discussões acerca da temática em análise.

## 4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente tópico é dedicado à apresentação e análise dos principais resultados a serem obtidos com base na aplicação do modelo econométrico de Diferenças em Diferenças, com múltiplos períodos, conforme metodologia descrita no tópico anterior. Destaca-se, aqui, que a adoção do modelo de diff-in-diff permitiu a análise sobre os aspectos econômicos na região Nordeste em termos de emprego, renda e Valor Adicionado Bruto. A Figura 15, baseada em painéis de estudo de eventos, tem como finalidade inicial testar, em cada especificação, se a amostra dos grupos tratados e controle apresentavam tendências paralelas no período pré-tratamento, em referência à variável emprego no Nordeste.

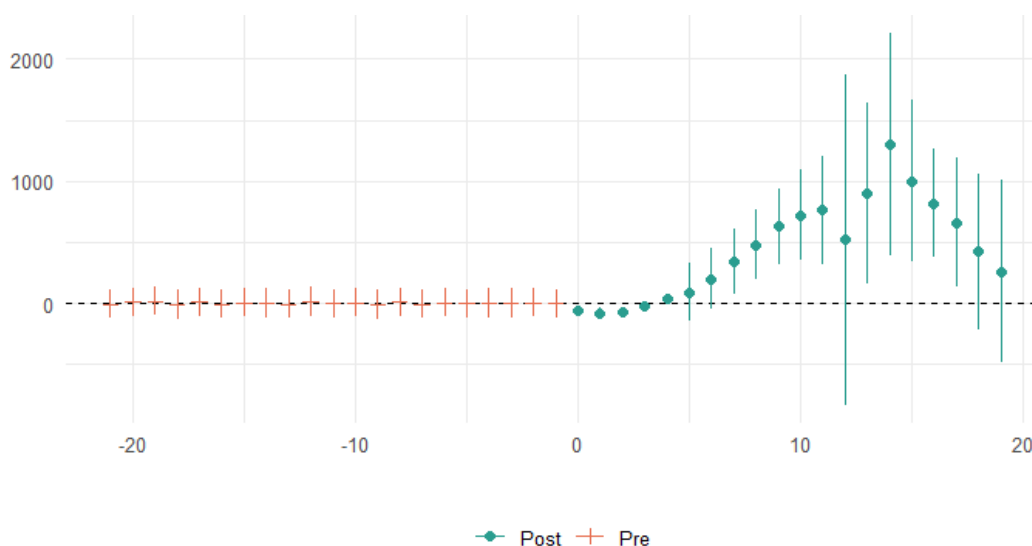
Como explicado por Silva et al. (2023), as linhas verticais indicam os intervalos de confiança em torno das estimativas (os pontos). As barras vermelhas correspondem ao período pré-tratamento e servem para testar a hipótese nula de pré-tendências paralelas condicionais às covariáveis; não a rejeitamos quando todos os intervalos incluem o zero antes da intervenção. Já as estimativas azuis, do pós-tratamento, refletem o efeito da

intervenção e são consideradas estatisticamente significativas quando seus intervalos de confiança não cruzam o zero.

Observa-se que a análise do impacto para o emprego no tempo pós-tratamento inclui trechos em que os intervalos de confiança são diferentes de zero, sinalizando ganhos estatisticamente significativos, coerentes com a análise das fases de inserção discutidas no capítulo anterior.

No período correspondente à 1ª fase, anos de 2000 a 2008, quando o setor ainda se estruturava com base na implementação do PROINFA, surgimento da CCEE e do PNE-2030, as estimativas ficam muito próximas de zero, com oscilações pequenas. Em termos substantivos, isso indica que, antes da difusão da energia eólica, o crescimento do emprego associado ao setor no Nordeste era incipiente, sem efeitos médios detectáveis.

**Figura 15** - Análise pré e pós-tratamento sobre o emprego.



Fonte: Elaboração própria, 2025.

A partir da segunda fase, que se inicia em 2009, quando a energia eólica é incorporada ao Ambiente de Contratação Regulada (ACR), os leilões se tornam mais frequentes e a cadeia produtiva adquire uma abrangência tanto nacional quanto regional, com a energia solar fotovoltaica ganhando destaque a partir de 2014. Portanto, a ilustração mencionada demonstra a crescente intensificação dos efeitos após o tratamento. Isto é, os índices evoluem de valores modestos nos anos iniciais para incrementos positivos crescentes, atingindo extremos significativos logo após o segundo pico da energia eólica,

que ocorreu entre 2012 e 2016. Aqui, a expansão da atividade eólica no Nordeste, com a captação de algumas empresas ligadas ao setor de montagem, construção e logística, aquece as contratações, ativando encadeamentos na região. Nesse momento, há a oferta de emprego desencadeada pela inserção da energia eólica, iniciando assim um tímido “espraiamento” na região, contudo, concentrando-se nos polos metropolitanos e centrais, acompanhando o 2º boom de implantação desta fonte na matriz elétrica nacional.

A partir de 2019, no estágio de aprofundamento, observa-se um ciclo de expansão e consolidação. As projeções apresentam maior instabilidade e um certo amainar dos extremos registrados anteriormente, acompanhadas de intervalos de confiança mais amplos. Neste contexto, deduz-se o impacto do começo da pandemia de Covid-19 sobre a liberação de recursos para financiamento e licenciamento de empreendimentos, bem como a diminuição das atividades associadas, como a instalação de aerogeradores, o que resultou na redução do impacto médio sobre o emprego, embora ganhos pontuais tenham sido observados em determinados anos. Esta análise é também consistente com a expansão recente do PROINFA e com o “3º boom”, mas com efeitos laborais médios mais moderados.

É relevante enfatizar que a figura em consideração apresenta efeitos médios regionais, os quais não são homogêneos entre os diferentes territórios e subespaços onde os empreendimentos estão localizados. Conforme abordado anteriormente, as grandes cidades e os centros de maior vigor econômico no Nordeste concentram uma parte significativa dos crescimentos nos índices de emprego, enquanto diversos municípios que recebem investimentos em energia eólica, especialmente aqueles situados fora dos eixos dinâmicos, não conseguem absorver, ou absorvem uma parcela reduzida, dos efeitos encadeados. Após a conclusão da etapa de construção dos parques eólicos, vinculada à implantação dos empreendimentos, os impactos socioeconômicos começam a se evidenciar, refletindo a diminuição dos níveis de contratações e, conseqüentemente, dos mecanismos de geração de renda na localidade.

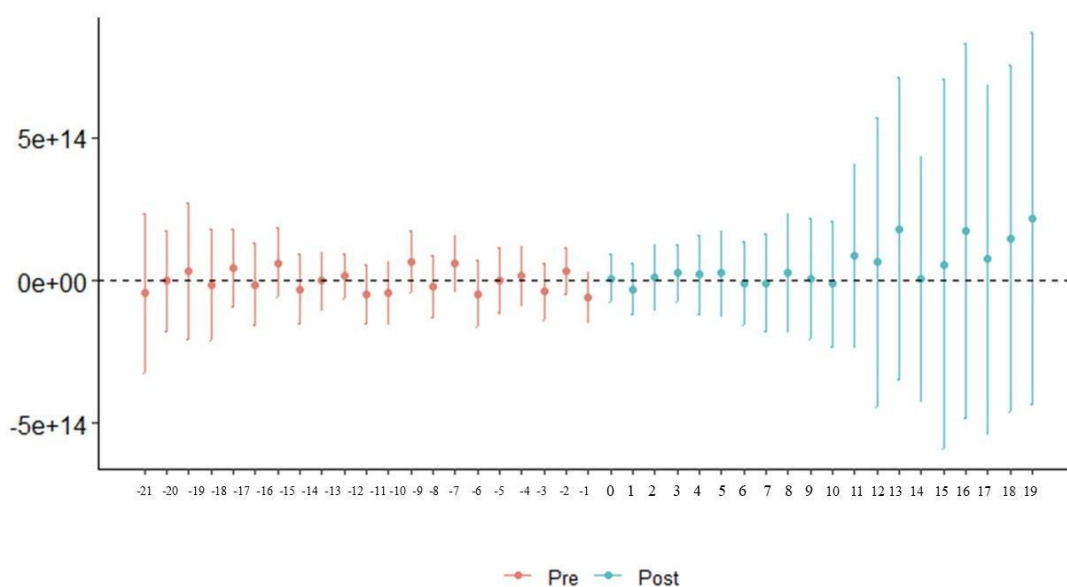
Em síntese, o padrão temporal de ocupação no Nordeste confirma a divisão analítica das etapas mencionadas anteriormente, com a fase inicial apresentando-se de forma incipiente nesse contexto. Na segunda fase, ao contrário, inicia-se um processo de significativa difusão e aceleração da atividade, no qual os impactos médios sobre o

emprego se intensificam, alcançando máximos nas contratações. Durante o estágio de aprofundamento da segunda fase, denominado consolidação da atividade eólica na localidade, os impactos sobre o saldo de empregos revelam-se menos intensos e apresentam certa incerteza. Desta forma, os resultados corroboram com as quebras estruturais e com a narrativa institucional do setor apresentada no capítulo anterior, reforçando que a inserção da energia eólica produz impactos laborais concentrados no tempo e no espaço, crescendo em média a partir da segunda fase, mas de forma desigual entre os diferentes territórios nordestinos.

A Figura 16 fundamenta-se em uma trajetória dinâmica por etapas, no que diz respeito à massa salarial, evidenciando um padrão bastante elucidativo para a região Nordeste.

Na primeira fase, os impactos da energia eólica sobre a massa salarial são ainda rudimentares, mantendo-se essa situação até o começo da segunda fase. Esta configuração destaca a qualidade das remunerações obtidas nesse intervalo na região Nordeste, caracterizando-se predominantemente por postos de trabalho de baixa qualificação e baixos salários, os quais estão associados a frentes de obras fragmentadas, um segmento pouco consolidado devido à dependência de insumos provenientes de fora da região.

**Figura 16** - Análise pré e pós-tratamento sobre renda média.



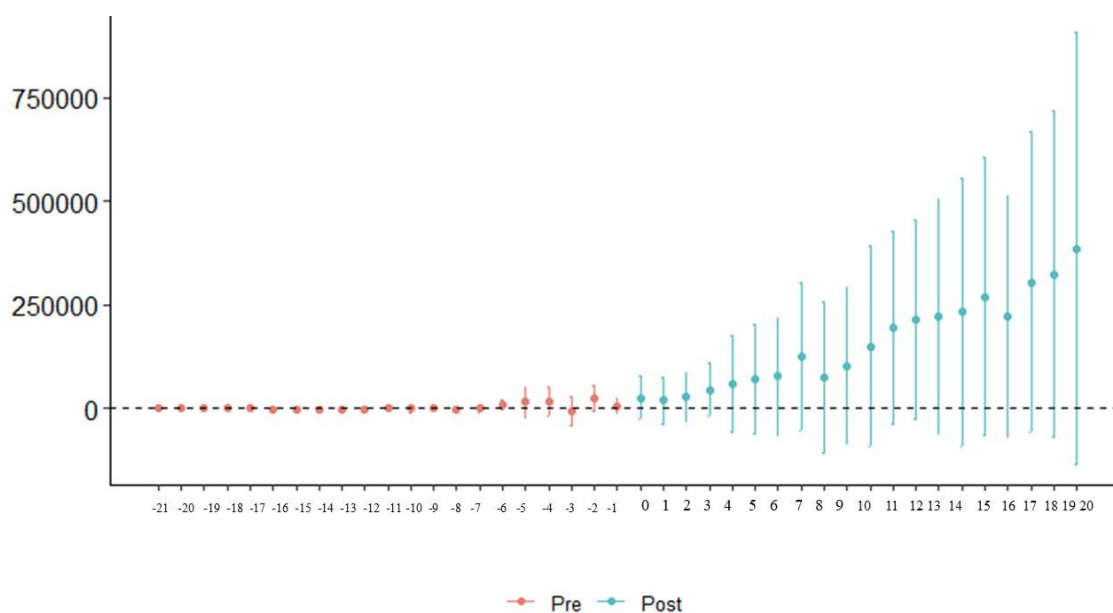
Fonte: Elaboração própria, 2025.

Assim, constata-se que, mesmo com alguma movimentação relacionada às contratações, o salário médio regional pouco se altera. A partir de meados da segunda fase, contudo, observa-se ampliação do nível de renda, coerente com a maior densidade de projetos, a difusão dos serviços especializados e algum avanço no sentido da internalização da cadeia. Tal movimento é arrefecido na transição entre o período pandêmico, aqui inferindo-se sobre o impacto da pandemia de Covid-19, onde ocorre uma desaceleração dos investimentos de energia eólica, gargalos logísticos e arrefecimento do nível de atividades de montagem/serviços mais intensivos em mão de obra.

Durante o ciclo de aprofundamento da segunda fase, observa-se um aumento na renda média, correspondente a uma inserção mais evidente de elos da cadeia relacionados à Operação e Manutenção (O&M) dos aerogeradores. Embora a operação e manutenção (O&M) empregue um número menor de trabalhadores em comparação à instalação de parques eólicos, requer funções mais especializadas (como técnicos, eletricitas de alta tensão, supervisão e planejamento), com remunerações relativamente superiores. Entretanto, ressalta-se que, embora os efeitos médios das variáveis analisadas sejam estimados para a região Nordeste, está claro que os impactos efetivos não são uniformes entre os diferentes territórios. Além disso, pelo fato de a infraestrutura de O&M estabelecida possuir melhores encadeamentos produtivos e salários, estes se concentram, também, nas metrópoles e polos dinâmicos.

Em relação ao Valor Adicionado Bruto (VAB), conforme analisado na Figura 17, os dados evidenciam que os impactos decorrentes da implementação de empreendimentos de energia eólica na região Nordeste, durante o período correspondente à primeira fase, revelam efeitos modestos. Até mesmo nos anos iniciais de exposição, os pontos flutuam em torno de zero, o que sugere uma reduzida internalização da cadeia e, por conseguinte, impactos locais restritos.

**Figura 17** - Análise pré e pós-tratamento sobre Valor Adicionado Bruto.



Fonte: Elaboração própria, 2025.

Na segunda fase, o valor adicionado bruto demonstra uma trajetória contínua e crescente, com as estimativas após o tratamento aumentando gradualmente, notadamente nos anos intermediários dessa fase. Neste contexto, ressalta-se o auge associado à dinâmica das obras de edificação dos parques, à instalação dos aerogeradores e aos serviços, os quais aumentaram o valor da produção regional em detrimento do consumo intermediário, promovendo o Valor Adicionado Bruto (VAB) por meio da construção, da logística e dos serviços empresariais, além de conexões relacionadas às manufaturas e à manutenção dos parques eólicos no ciclo de aprofundamento da segunda fase.

Durante o intervalo desse ciclo, que abrange os anos de 2019 a 2021, o VAB apresenta uma tendência ascendente; porém, os intervalos de confiança são mais amplos, o que reflete uma análise que inclui um número reduzido de anos. Isso resulta em menos cortes com janelas extensas e em uma maior heterogeneidade entre áreas e projetos. Mesmo assim, o estágio mais elevado indica a necessidade de integrar as atividades de Operação e Manutenção (O&M) com os serviços técnicos, os quais, apesar de serem menos intensivos em mão de obra em comparação ao período de implementação dos projetos, acrescentam valor através da formação qualificada da força de trabalho, serviços com maior conteúdo tecnológico e contratos de longa duração.

Finalmente, nota-se que os incrementos no Valor Adicionado Bruto (VAB) tendem a ser mais elevados em áreas que abrigam polos e metrópoles, concentrando, dessa forma, fornecedores, engenharia, logística e serviços financeiros disponíveis, e são reduzidos quando se restringem a municípios com uma base produtiva limitada. De forma conjunta, a Figura 17 substancia a narrativa em etapas: a primeira fase, inicial; o início da segunda fase, marcado por um aumento robusto e contínuo do Valor Adicionado Bruto (VAB); e o aprofundamento da segunda fase, que preserva um patamar elevado, porém com maior incerteza, o que é compatível com a transição do ciclo de implementação para a maturação do complexo eólico no Nordeste.

A Tabela 4 demonstra os resultados médios previstos por fase, para cada variável analisada. Quanto ao emprego, os efeitos médios por município, por ano e por fase são os seguintes: na 1ª fase, observa-se uma redução de aproximadamente quarenta empregos (-40), demonstrando uma contração no mercado de trabalho; no início da 2ª fase, verifica-se, em média, a criação de mais de 594 empregos anualmente; por sua vez, no estágio de aprofundamento da 2ª fase, registra-se, em média, um aumento de 632 empregos por ano. Em termos médios, durante o período total, registra-se a criação de cerca de 3.160 empregos por município ao longo dos oito anos da etapa inicial.

Na primeira fase, observa-se uma redução no nível de renda, enquanto no início da segunda fase, há um aumento, embora o aprofundamento desta fase não seja relevante. Aproxima-se da quantia de R\$ 1,14 trilhão o total estimado de recursos adicionados à região ao longo das três etapas. No que se refere ao VAB, constata-se a primeira fase e o início da segunda fase (até 2018), as quais apresentam estatísticas relevantes, com acréscimos médios de R\$ 21 milhões e R\$ 353 milhões, respectivamente. Em média, a influência sobre o VAB é calculada em um aumento médio de R\$ 390 para as três etapas.

Diante do exposto, verifica-se que a inclusão de empreendimentos eólicos na região Nordeste ocorre em duas etapas distintas, sendo a mais recente marcada por um processo de intensificação a partir do ano de 2019. No que diz respeito ao emprego e à renda, a aceleração da geração média inicia-se no início da segunda fase, permanecendo em um nível superior; por outro lado, em relação ao Valor Adicionado Bruto (VAB), este demonstra um aumento econômico agregado nas primeiras e segundas fases de difusão.

**Tabela 4** - Impactos médios do tratamento por fase da expansão eólica: emprego, massa salarial e VAB.

Variável	Fase	ATT (efeito médio)	SE (erro- padrão)	IC95% – LI	IC95% – LS	p-valor	Sig
Emprego	F1	-40.0	19.5	-78.2	-1.76	0.0404	**
Emprego	F2	594	264	76.6	1,110	0.0244	**
Emprego	F3	632	308	27.7	1,240	0.0404	**
Renda (massa)	F1	-3.20e 13	1.94E+13	-7.00e 13	6.01E+12	0.0989	*
Renda (massa)	F2	9.70E+13	4.73E+13	4.26E+12	1.90E+14	0.0404	**
Renda (massa)	F3	6.60E+13	6.60E+13	-6.34e 13	1.95E+14	0.317	—
VAB	F1	21,000	10,500	420	41,580	0.0455	**
VAB	F2	353,000	176,000	7,060	699,000	0.0455	**
VAB	F3	796,000	590,000	-360,0 00	1,950,000	0.177	—

Nota: Significância: \* = 10%, \*\* = 5%, \*\*\* = 1%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Importa destacar que se trata de efeitos médios para a região Nordeste e que este não tem transbordamento homogêneo nos subespaços onde estão alocados os empreendimentos. Do ponto de vista regional, a inserção da energia eólica engendra encadeamentos produtivos, geração de emprego e renda, atração de investimentos, qualificação de mão de obra, capacitação tecnológica, entre outros, concentrando elos importantes da cadeia em alguns estados do Nordeste que já possuem economias de escala e de escopo e infraestrutura logística capaz para garantir a movimentação eficiente da cadeia de produção de equipamentos ligados à geração de energia eólica.

No entanto, isso não se sustenta do ponto de vista local, haja vista as especificidades existentes de cada localidade, bem como da cadeia de produção do setor eólico, o qual, por ser intensivo em capital e trabalho, demanda poucas contratações de mão de obra, notadamente a partir da fase de operação comercial, quando se concentra mão de obra específica e qualificada para operar os parques eólicos, sendo estes controlados por mecanismos tecnológicos avançados nas fases de O&M, em razão do grau de inovação tecnológica existente, baseada em tecnologia digital e inteligência artificial, com objetivo de aumentar a eficiência dos parques e o aumento da produtividade na geração de eletricidade por esse tipo de fonte.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A concentração da produção das energias renováveis modernas na região Nordeste, como a eólica e a solar, se deu pelas condições naturais favoráveis da região nos diversos territórios do Nordeste e Sul do país. O Nordeste se consolidou como o principal destino dos investimentos em novas fontes renováveis, especialmente a eólica e, nos últimos anos, a solar. Essa inserção das energias renováveis no território nordestino, ao mesmo tempo em que reforça sua centralidade na transição energética brasileira, levanta questionamentos quanto aos seus impactos na região.

Como apresentado no Quadro 1, os grandes saltos de paradigmas e transformações industriais, que moldaram o sistema socioproductivo e as estruturas de poder, perpassam também por mudanças estruturais no campo da energia. Assim, pode-se deduzir que as transformações e a transição energética moldam o desenvolvimento social e econômico das sociedades contemporâneas.

De forma mais clara, a expressão “transição energética” poderia ser um estopim de mudança de paradigma social se ela não estivesse assentada somente na finitude dos combustíveis fósseis que sustentam o sistema capitalista de produção ao longo do tempo. Mesmo trazendo para o debate a preocupação ambiental e a ideia de desenvolvimento sustentável, essa transição energética que se discute atualmente se contradiz ao discurso de sustentabilidade. Este trabalho teve como objetivo analisar a inserção das energias renováveis no Nordeste brasileiro, com foco na energia eólica *onshore*, e suas implicações para o desenvolvimento regional/local, perpassando pela discussão sobre transição energética e sentido dela no contexto regional.

Através da utilização do método de Diferenças em Diferenças com múltiplos períodos, o presente estudo objetiva avaliar os impactos socioeconômicos resultantes da implementação de projetos de energia eólica, focando em um recorte específico a fim de identificar elementos de análise sobre os municípios diretamente influenciados por tais investimentos em larga escala. Partiu-se da suposição de que a expansão da energia eólica na região Nordeste se organiza em duas etapas distintas: (i) uma etapa inicial, caracterizada pela captação de investimentos externos e pela instalação dispersa de parques; (ii) uma segunda etapa, voltada para a consolidação institucional e para o aumento da capacidade instalada. Onde também se destaca a inserção inicial da cadeia

produtiva nos territórios que a acolhem. Ao longo da análise, verificou-se se essas fases correspondem também a mudanças significativas nos indicadores de desenvolvimento econômico e social local.

De maneira geral, a inserção da energia eólica na região Nordeste se estrutura em duas etapas; em relação ao emprego e à renda, os efeitos médios começam a apresentar resultados significativamente positivos a partir do início da segunda etapa e se mantêm em níveis mais elevados durante o aprofundamento dessa fase, que é caracterizado pelo período posterior a 2018. Por outro lado, o Valor Adicionado Bruto (VAB) indica um ganho econômico agregado já na primeira fase e, especialmente, na segunda fase, com índices altos durante o ciclo de aprofundamento dessa etapa. Destaca-se que se referem a efeitos médios regionais, sem uma difusão uniforme pelo território; ou seja, os benefícios se concentram em metrópoles e em eixos dinâmicos, com uma disseminação parcial para subespaços receptores.

Em síntese, a energia eólica desempenha um papel vital na promoção da dinamização econômica; entretanto, seus benefícios são distribuídos de maneira desigual pelo território, o que implica a necessidade de políticas adicionais para expandir sua abrangência geográfica.

Contudo, pelas análises iniciais, infere-se que os efeitos da inserção das energias renováveis na região Nordeste, em especial a energia eólica, são multifacetados. Em termos econômicos, os resultados prévios não demonstram efeitos distributivos robustos no curto prazo, reforçando a crítica de que o modelo de transição energética brasileiro, embora promova a diversificação da matriz elétrica nacional, não assegura, por si só, um processo de transição energética justa e equitativa. Em contrapartida, observaram-se movimentações estruturais, ainda que limitadas, as quais apontam para uma maior ancoragem da atividade no território, como a inserção de algumas partes da cadeia produtiva em determinadas localidades. Contudo, esse movimento concentrou-se nas regiões metropolitanas ou nos polos centrais dos territórios, não sendo significativo nos municípios onde estão alocados os empreendimentos.

As hipóteses formuladas foram parcialmente confirmadas. As fases identificadas na trajetória da energia eólica no Nordeste são observáveis empiricamente. Contudo, apesar de se ter uma inserção incipiente da cadeia produtiva na região Nordeste, ela não apresenta rebatimentos significativos nos territórios receptores dos empreendimentos.

Isso sugere que a instalação desses empreendimentos, apesar de representar uma mudança relevante na configuração produtiva de parte do território abrangido pelos parques eólicos, ainda não se traduziu plenamente em benefícios amplos para as populações locais, apesar da maturação dos empreendimentos na região.

Dentre as principais contribuições desta dissertação, ressalta-se a conexão entre uma perspectiva crítica da transição energética e uma análise empírica, visando mensurar efeitos e desafiar narrativas estabelecidas a respeito dos impactos benéficos da energia renovável. A integração de dados econômicos, variáveis territoriais e técnicas de avaliação de impacto confere solidez às conclusões e enriquece a compreensão da intrincada relação entre energia, território e desenvolvimento.

Como ocorre em toda pesquisa, esta, igualmente, apresenta limitações. A primeira diz respeito à acessibilidade e ao detalhamento das informações, em especial no que se refere a indicadores sociais e ambientais no âmbito municipal. A segunda questão está intrinsecamente relacionada à natureza da metodologia utilizada, que, embora seja sólida para a inferência causal, não consegue abarcar de maneira completa as dinâmicas qualitativas e as transformações subjetivas ocorridas nos territórios. Além disso, o recorte temporal até 2021 aplicado ao modelo *diff-in-diff* impede a análise de efeitos pós-pandemia, que podem ser relevantes no setor energético.

Recomenda-se, assim, que pesquisas posteriores avancem na inclusão de análises qualitativas, a exemplo de estudos de caso em comunidades afetadas, e que ampliem a perspectiva para outras fontes de energia renovável, como a energia solar. Além disso, seria significativo investigar de forma mais aprofundada a cadeia produtiva do setor, os arranjos institucionais associados e os processos de resistência e negociação realizados pelos sujeitos territoriais.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil**. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e do Comércio Exterior. 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Sistema de Informação de Geração Aneel (SIGA). <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- \_\_\_\_\_. **Banco de Informações de Geração (BIG)**. Capacidade de Geração no Brasil. <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 15 jun. 2025.
- \_\_\_\_\_. **Capacidade de geração do Brasil**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- \_\_\_\_\_. **Capacidade de geração do Brasil**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/>. Acesso em: 04 ago. 2025.
- ALBUQUERQUE, E. M. **Revoluções tecnológicas e general purpose technologies: mudança técnica, dinâmica e transformação do capitalismo**. In: RAPINI, M. S. [et al.]. *Economia da Ciência, tecnologia e inovação: fundamentos teóricos e a economia global*. 2. Ed. Belo Horizonte: UFMG, 2021.
- ALCOFORADO, F. **As revoluções energéticas ao longo da história e sua futura evolução rumo à energia limpa e renovável**. Disponível em: <https://www.academia.edu>. Acesso em: 18 maio 2025.
- ALVARES, T. de O.; LEÃO, R. P. F.; et al. (Orgs.). **Transição energética: geopolítica, corporações, finanças e trabalho [recurso digital]**. Rio de Janeiro: Telha, 2024. ISBN 978-65-5412-498-0.
- ARAÚJO, T. B. **Nordeste, Nordestes: Que Nordeste?**. Revista Teoria e Debate, São Paulo, no 3, jul-set. 1992.
- ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (ASA). **Semiárido brasileiro**. Última atualização: Resolução Condel / Sudene nº 176, de 3 de janeiro de 2024. Disponível em: <https://asabrasil.org.br/semiarido/>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- AZEVEDO, J. S. G. de; LEÃO, R. P. F. **Economia política da transição energética: um olhar sobre os atores não convencionais**. In: SANTOS, Mahatma Ramos dos; ALVARES, Ticiania de Oliveira; LEÃO, Rodrigo Pimentel Ferreira; et al. (Orgs.). *Transição energética: geopolítica, corporações, finanças e trabalho [recurso digital]*. Rio de Janeiro: Telha, 2024. ISBN 978-65-5412-498-0.
- BAI, J.; PERRON, P. **Computation and analysis of multiple structural change models**. Journal of Applied Econometrics, Chichester, v. 18, n. 1, p. 1–22, 2003.
- BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento e Meio Ambiente: as estratégias de mudanças da Agenda 21**. 15ª ed. Petrópolis/RJ: Vozes, 2014.

BARROS-PLATIAU, Ana Flávia; VARELLA, Marcelo Dias; SCHLEICHER, Rafael T. Meio ambiente e relações internacionais: perspectivas teóricas, respostas institucionais e novas dimensões de debate. *Revista Brasileira de Política Internacional*, Brasília, v. 47, n. 2, p. 100-130, dez. 2004. DOI <https://doi.org/10.1590/S0034-73292004000200004>.

BBC NEWS BRASIL. **Série de entraves limita uso da energia eólica no Brasil**. Atualizado 7 jun. 2013. Disponível em: [https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/06/130604\\_energia\\_eolica\\_mdb](https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/06/130604_energia_eolica_mdb). Acesso em: 29 ago. 2025

BRANDÃO, C. B. **Território e desenvolvimento**: as múltiplas escalas entre o local e o global. 1. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2007.

BRASIL. **Decreto nº 5.177**, de 12 de agosto de 2004. Dispõe sobre a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 13 ago. 2004.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 9.427**, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 27 dez. 1996.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 10.438**, de 26 de abril de 2002. Altera dispositivos das Leis nº 9.991, de 24 de julho de 2000, nº 9.074, de 7 de julho de 1995, nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e dá outras providências, com o objetivo de introduzir mecanismos de estímulo à produção de energia elétrica a partir de fontes alternativas. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 29 abr. 2002.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 10.848**, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, e 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 16 mar. 2004.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 12.187**, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 30 dez. 2009.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 14.182**, de 12 de julho de 2021. Dispõe sobre a desestatização da Eletrobras, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, e 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 13 jul. 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030: relatório final**. Brasília: MME/EPE, 2007. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia---PNE>. Acesso em: 25 de jun. de 2025.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras

providências. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm). Acesso em: 03 de agosto de 20225.

BRANNSTROM, C.; SEGHEZZO, L.; GORAYEB, A. **Descarbonização na América do Sul: conexões entre o Brasil e a Argentina**. Mossoró, RN: Edições UERN, 2022.

BRESSER-PEREIRA, L. C. **Desenvolvimento e crise no Brasil**: história, economia e política de Getúlio Vargas a Lula. São Paulo: Ed. 34, 2003. 456 P.

BRUMATTI, D. V.; CHAVES, G. L. D.; SIMAN, R. R. **Proposição de princípios orientadores para uma transição energética justa**. In: Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2024) v. 11, n. 2, p. 231–240.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **Leilões**. Ago. 2025. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/mercado/leilao-mercado>. Acesso em: 29 ago. 2025.

CAF - BANCO DE DESENVOLVIMENTO DA AMÉRICA LATINA E CARIBE. **RELATÓRIO DE ECONOMIA E DESENVOLVIMENTO (RED 2024). Energias renovadas: uma transição energética justa para o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: [scioteca.caf.com](https://www.scioteca.caf.com). Acesso em: 25 ago. 2025.

CARVALHO, P. G. M.; BARCELLOS, F. C. **Mensurando a sustentabilidade**. In: MAY, Peter H. (Org.). *Economia do Meio Ambiente*. 3º Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

CATAIA, M.; DUARTE, L. **TERRITÓRIO E ENERGIA: CRÍTICA DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA**. In: REVISTA DA ANPEGE. V. 18. Nº. 36, ANO 2022 e-ISSN: 1679-768X.

CETESB/SP. **Declaração da Conferência da ONU no Ambiente Humano**, Estocolmo, 5-16 de junho de 1972. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/33/2016/09/>. Acesso em: 01 ago. 2025.

CAVALCANTE, A. M. G; SOUZA, L. E. V.; PEREIRA, M. G. **Dossiê: Transições energéticas justas**. In: Sustainability in Debate - Brasília, v. 14, n.3, p. 17-20, dez/2023.

CHACON, S. S. **O sertanejo e o caminho das águas: políticas públicas, modernidade e sustentabilidade no semi-árido**. 2007. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007. 354 p. (Série BNB teses e dissertações, n. 08). ISBN 978-85-8706296-3

CHOMSKY, N.; POLLIN, R. **Crise climática e o Green New Deal Global**. Rio de Janeiro: Editora Roça Nova, 2020.

CLIMATE POLICY INITIATIVE. **Políticas públicas para proteção da floresta amazônica**: o que funciona e como melhorar. Rio de Janeiro: PUC/RJ, julho 2021.

CLIMATEWATCH. **Historical GHG Emissions**. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/>. Acesso em: 26 de jul., de 2025.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

COUTINHO, I. ; SANTOS, M. dos; ALVARES, T. **Brasil, transição justa e empregos verdes: uma agenda em construção**. In: SANTOS, Mahatma Ramos dos; COUTINHO, F. **A verdadeira transição energética justa**. ABET - Associação dos Engenheiros da Petrobrás, 2022. eBook Kindle.

CUNHA, G.; ROIZMAN, L.; LOBO, N.; MOREIRA, S. L. S.; MORENO, T. **DEMOCRATIZAÇÃO ENERGÉTICA E TRANSIÇÃO JUSTA NA AMÉRICA LATINA E NO CARIBE**. Tradução: Celina Lagrutta, nov., 2021. Disponível em: <https://csa-csi.org/>. Acesso em: 23 ago. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Matriz energética e elétrica**. ABCDEnergia, [S.l.], s.d. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 27 jun. 2025.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2025: Ano Base 2024**. Rio de Janeiro: EPE, mai. de 2025.

\_\_\_\_\_. **Anuário de Energia Elétrica 20 anos**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/>. Acesso em: 04 ago. 2025.

\_\_\_\_\_. **Balanco Energético Nacional 2024: Ano base 2023**. Rio de Janeiro: EPE, 2024.

\_\_\_\_\_. **Balanco Energético Nacional 2025: Ano base 2024**. Rio de Janeiro : EPE, 2025.

FAUSTINO, C.; TUPINAMBÁ, S. V.; MEIRELLES, E. **Impactos e danos socioambientais da energia eólica no ambiente marinho-costeiro no Ceará**. In: Fundação Rosa Luxemburgo: Brasil e Paraguai. 29/08/2023. Disponível em: <https://rosalux.org.br/>. Acesso em: 14 de ago. 2025.

FAVARETO, A.; ABRAMOVAY, R.; DO CARMO D'OLIVEIRA, M.; FÁBIO DINIZ, J.; y SAES, B. 2011. “**Desenvolvimento territorial em uma região do Semi-árido do Nordeste brasileiro – para além das transferências de renda**”. Documento de Trabajo N° 83. Programa Dinámicas Territoriales Rurales. Rimisp, Santiago, Chile.

FILHO, F. L. **Hidrogênio verde e transição energética**. 2025. eBook Kindle.

FURTADO, C. **O Nordeste: reflexões sobre uma política alternativa de desenvolvimento**. In: Celso Furtado [et al.]. O pensamento de Celso Furtado e o Nordeste hoje. Rio de Janeiro: Contraponto: Centro Internacional Celso Furtado de Políticas para o Desenvolvimento: Banco do Nordeste do Brasil, 2009.

FURTADO, C. **Desenvolvimento e Subdesenvolvimento**. Editora: Contraponto Ltda. 1961.

GALEANO, E. **As veias abertas da América Latina**. Porto Alegre: L&PM, 2022.391 p. ISBN 9788525420695.

GIL, A. C. 1946. **Como elaborar projetos de pesquisa**/Antônio Carlos Gil. - 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002. ISBN 85-224-3169-8.

GONZÁLEZ, A. B. P.; SILVINO, A. S.; MACIA, Y. M.; FERREIRA, L. C. **Condições institucionais para o desenvolvimento das comunidades energéticas no Chile e no Brasil**. In: Sustainability in Debate - Brasília, v. 14, n.3, p. 105-121, dez/2023.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). **GLOBAL WIND REPORT 2025**. 23 April 2025. Disponível em: <https://www.gwec.net/>. Acesso em: 26 ago. 2025.

HARVEY, D. **Espaços de esperança**. 7ª ed. São Paulo: Edições Loyola, 2015.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. Tradução técnica Flavio Maron Vichi, Leonardo Freire de Melo. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

HIRSCHAM, A. O. **Estratégia do Desenvolvimento Econômico**. Editora: Fundo de Cultura. 1961.

HOFSTAETTER, M. **Turismo e parques eólicos no litoral norte potiguar: espaços de valorização do capital e do aprofundamento das vulnerabilidades**. 2021. 313f. Tese (Doutorado em Turismo) - Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

\_\_\_\_\_. **ENERGIA EÓLICA: Entre Ventos, Impactos e Vulnerabilidades Socioambientais no Rio Grande do Norte**. 2016. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Políticas Públicas, Departamento de Políticas Públicas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Cap. 6.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Brazil**. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/brazil>. Acesso em: 23 jun. 2025.

\_\_\_\_\_. **Special Report on Solar PV Global Supply Chains**. Julho 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports>. Acesso em 01 julho 2023.

\_\_\_\_\_. **World: Energy mix**. Disponível em: <https://www.iea.org/world/energy-mix>. Acesso em: 23 jun. 2025.

\_\_\_\_\_. **Key World Energy Statistics 2021**. Paris: IEA, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview-2023>. Acesso em: 23 jun. 2025.

\_\_\_\_\_. **Key World Energy Statistics 2024**. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview-2023>. Acesso em: 23 jun. 2025.

\_\_\_\_\_. **World Energy Balances**. Julho 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acesso em: 27 jul. de 2025.

\_\_\_\_\_. **Energy Statistics Data Browser**. 10 jun. 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acesso em: 04 ago. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **SIDRA: Produto Interno Bruto dos Municípios** – Tabelas. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>. Acesso em: 18 jul. 2025.

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico**. Disponível em:  
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/22827-censo-demografico-2022.html?=&t=resultados>. Acesso em: 27 ago. 2025.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Contas Regionais (SCR)**. Disponível em:  
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9054-contas-regionais-do-brasil.html?=&t=conceitos-e-metodos>. Acesso em: 25. ago. 2025.

\_\_\_\_\_. **Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação**. Disponível em:  
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=17283&t=downloads>. Acesso em: 28 jul. 2025.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua)**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pnadct/tabelas>. Acesso em: 18 jul. 2025.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pnad/tabelas>. Acesso em: 18 jul. 2025.

\_\_\_\_\_. **Valor Adicionado Bruto Total a Preços Correntes – Tabelas**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938>. Acesso em: 18 jul. 2025.

\_\_\_\_\_. **Valor Adicionado Bruto da Indústria a Preços Correntes – Tabelas**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938> (com filtro setorial para Indústria). Acesso em: 18 jul. 2025.

\_\_\_\_\_. **Valor Adicionado Bruto dos Serviços, excluindo atividades da administração pública – Tabelas**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938> (com filtro setorial para serviços privados). Acesso em: 18 jul. 2025.

\_\_\_\_\_. **Cidades**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2025. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 29 ago. 2025.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)**. São Paulo: IEMA, 2024. Disponível em:  
<https://plataforma.seeg.eco.br/?yearRange%5B0%5D=1990&yearRange%5B1%5D=2023&emissionType%5B0%5D=1&gas=8&groupBy=Sector&rankBy=State&filtersTab=filters>. Acesso em: 23 jun. 2025. Acesso em: 24 jun. 2025.

\_\_\_\_\_. **Nota Técnica SEEG n. 12 – Mudança de Uso da Terra e Floresta – Brasil**. São Paulo: IEMA, 2024. Disponível em: <https://seeg.eco.br>. Acesso em: 24 jun. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **IpeaData**: Sistema de dados e indicadores econômicos e sociais. Disponível em: <https://ipeadata.gov.br/>. Acesso em: 18 jul. 2025.

IPCC, 2023: **Sumário para Formuladores de Políticas**. Em: Mudança do Clima 2023: Relatório Síntese. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima [Equipe Principal

de Redação, H Lee e J. Romero (eds.)]. IPCC, Genebra, Suíça, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.

IRENA (2025a), **Renewable energy statistics 2025**, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2025b), **Renewable power generation costs in 2024**, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2022), **Renewable power generation costs in 2022**, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

JACOBI, P. **Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade**. Cadernos de Pesquisa, n. 118, março/ 2003 Cadernos de Pesquisa, n. 118, p. 189-205, março/ 2003.

KALDOR, N. **The case for regional policies**. In: Scottish Journal of Political Economy. November 1970.

LEÃO, R. P. F.; COSTA, R. R. da; LEÃO, A. P. F. **A distinta estratégia de transição energética nas majors da Europa e dos Estados Unidos**. In: SANTOS, M. R. dos; ALVARES, T. O.; LEÃO, R. P. Rio de Janeiro: Editora Telha, 2024.

LEÃO, R. P. F. ; LEÃO, A. P. F. **Interpretações sobre a transição energética e o papel dos atores centrais: a visão do INEEP**. In: SANTOS, Mahatma Ramos dos; LEONE, Cíntia. **Crescimento da energia renovável no Brasil está atrelado à grilagem de terras**. A ECONOMIA B, 20 de maio de 2024. Disponível em: <https://www.aeconomiab.com/crescimento-da-energia-renovavel-no-brasil-esta-atrelada-a-grilagem-de-terras>. Acesso em: 25 jul. 2025.

LEITE, A. D. **A energia do Brasil**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Lexikon, 2014.

LESSA, C. **Quinze anos de política econômica**. São Paulo: Brasiliense, 1982

LESSA, Laura Cunha Rebouças; SAMPAIO, Maria Analice dos Santos; COSTA, Edward Martins; IRFFI, Guilherme; KHAN, Ahmad Saeed. **A instalação de parques eólicos nos municípios nordestinos afeta o mercado de trabalho local?** In: ANPEC – Encontro Nacional de Economia, 2023, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: ANPEC, 2023.

LUSTOSA, M. C. J.; CÁNEPA, E. M.; YOUNG, C. E. F. **Política Ambiental**. In: MAY, P. (Org.) Economia do Meio Ambiente. 3ª ed. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2018. Ebook. ISBN 9788595153622.

MAIA, F. J. F.; BATISTA, M. P.; SILVA, T. A. A.; RODRÍGUEZ, D. C. **Energia eólica: contratos, renda da terra e regularização fundiária**. Rio de Janeiro: Editora Lumen Juris, 2022. eBook Kindle

MACEDO, F. C. de. **Desenvolvimento regional no Brasil no século XXI**. Campina Grande: EDUEPB, 2023.

MACEDO, L. D. de. **Produção de energia elétrica por fonte eólica no Brasil e aspectos de seu impacto na região Nordeste e Rio Grande do Norte**. 2015. 324 f.

Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

MACIEL, C.; PONTES, E. T. **Seca e convivência com o semiárido**: Adaptação ao meio e patrimonialização da Caatinga no Nordeste brasileiro. 1ª ed. Rio de Janeiro: consequência Editora, 2015.

MARTIN, J-M. **A Economia Mundial da Energia**. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1992.

MAPBIOMAS. **Plataforma MapBiomias** – Coleção 8.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Disponível em:

<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura>. Acesso em: 4 jul. 2025.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; BEHRENS, W. W. **The Limits to Growth**: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. POTOMAC ASSOCIATES BOOK, Universe Books NEW YORK, 1972.

MELO, E. A. de O. **Geração de energia eólica onshore no Rio Grande do Norte: uma avaliação sobre o emprego formal e arrecadação tributária**. 2021. 73 f. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Natal, 2021.

MENDONÇA, F.; DIAS, M. A. **Meio ambiente e sustentabilidade**. Curitiba/Paraná: Editora intersaberes, 2019.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Desmatamento cai 82% nos últimos meses de 2008**. Publicado em 23 jan. 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/desmatamento-cai-82-nos-ultimos-meses-de-2008>. Acesso em: 4 jul. 2025

MUSA, E. **Tendências e desafios para a América Latina à luz das reconfigurações do sistema mundial**: Uma análise geopolítica desde o Sul Global. In: BJIR, Marília, vol. 13 (2024): publicação contínua. DOI: <https://doi.org/10.36311/2237-7743.2024.v13.e024008>.

MYRDAL, G. **Teoria econômica e regiões subdesenvolvidas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Saga, 1968.

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. **O que são eventos climáticos extremos e por que eles são tão perigosos?**. National Geographic Brasil, 10 maio 2024. Atualizado em 10 jan. 2025. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2024/05/o-que-sao-eventos-climaticos-extremos-e-por-que-eles-sao- tao-perigosos>. Acesso em: 24 jun. 2025.

NOVO ATLAS. **Mapas temáticos**. Disponível em: <https://novoatlas.azurewebsites.net/index.php/mapas-tematicos/>. Acesso em: 29 jul. 2025.

OLHAR DIGITAL. **Por que o Nordeste concentra quase toda a energia eólica produzida no Brasil?** Por Alessandro di Lorenzo, em 11/08/2024. disponível em: <https://olhardigital.com.br>. Acesso em: 26 ago. 2025.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA (ONS). **Carga e geração**. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao>. Acesso em: 26 ago. 2025.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>

PINTO JR., H. Q. (Org.); ALMEIDA, E. F.; BOMTEMPO, J. V.; IOOTY, M.; BICALHO, R. G. **Economia da energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

PORTILLO, Germán. **Quando acabará o petróleo**: o que devemos esperar e suas consequências. *RenovablesVerdes*, [s.l.], 24 jun. 2025. Disponível em: <https://pt.renovablesverdes.com/quando-o-%C3%B3leo-acabou/>. Acesso em: 24 jun. 2025.

PORTILHO, F. **Sustentabilidade ambiental, consumo e cidadania**. São Paulo: Cortez, 2005.

PHILLIPPI Jr., A.; MALHEIROS, T. F. **Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental**. Barueri/SP: Manole, 2012 (Coleção ambiental; 12).

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Brasília: PNUD, 2013. Disponível em: <http://idhm.org.br/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

\_\_\_\_\_. **Brasil reduziu emissões de gás carbônico em mais de 50% de 2005 a 2010**. <https://brasil.un.org/pt-br/72980-brasil-reduziu-emiss%C3%B5es-de-g%C3%A1s-carb%C3%B4nico-em-mais-de-50-de-2005-2010-apontam-governo-e-pnud>. Acesso em: 23 jul. 2025.

RAD2024: **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2024** - São Paulo, Brasil - MapBiomass, 2025 - 209 páginas. DOI: DOI 10.1088/1748-9326/ac5193 - <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac5193> doi: 10.1088/1748-9326/ac5193.

RAMOS, Pérsio; PEREIRA, Mariana Viegas. **A virada do Sul Global: estratégias, disputas e reposicionamentos internacionais**. *Revista Brasileira de Política Internacional*, v. 65, n. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-7329220022>. Acesso em: 27 jul. 2025.

R CORE TEAM (2016). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available in: <<https://www.R-project.org>> (Accessed on June 10, 2016).

RELAÇÃO ANUAL DE INFORMAÇÕES SOCIAIS (RAIS). **Vínculos por Grandes Setores**. <http://bi.mte.gov.br/bgcaged/rais.php>. Acesso em: 15 jun. 2021.

REN21. 2024. **Renewables 2024: Global Status Report Collection, Global Overview** (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-948393-13-7

RODRIGUES, D. F. **A política brasileira de mudanças climáticas: competição, cooperação e diversidade institucional.** Fortaleza: Edições UFC, 2014.

ROVERE, Renata. **Paradigmas e trajetórias tecnológicas.** IN: Victor Pelaez & Tamás Szmrecsányi ( orgs.). *A Economia da Inovação Tecnológica* São Paulo: Hucitec. Ordem dos Economistas do Brasil, 2006.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável.** Organização: Paula Yone Stroh. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

SACHS, I.; LOPES, C.; DOWBOR, L. **Crises e oportunidades em tempos de mudança.** In: *Desenvolvimento, inovação e sustentabilidade: contribuições de Ignacy Sachs.* 1º Ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2014.

\_\_\_\_\_. *A revolução energética do século XXI.* In: ESTUDOS AVANÇADOS 21 (59), 2007.

SANT'ANNA, Pedro H. C.; ZHAO, Jun. **Doubly robust difference-in-differences estimators.** *Journal of Econometrics*, v. 219, n. 1, p. 101–122, nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.06.003>. Acesso em: 18 mai. 2025.

SANTOS, F. A. C. M. M; SANTOS, F, M. S. M. **Geração distribuída versus centralizada.** In: *Millenium*, ISSN-e 1647-662X, N°. 35, 2008. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/>. Acesso em: 04 ago. 2025.

SANTOS, Mahatma Ramos dos; ÁLVARES, Ticiania de Oliveira; LEÃO, Rodrigo Pimentel Ferreira; COUTINHO, Isadora (orgs.). **Transição energética: geopolítica, corporações, finanças e trabalho** [recurso eletrônico]. Rio de Janeiro: Telha, 2024. ISBN 978-65-5412-498-0.

SMIL, V. **Energy: A Beginner's Guide.** Oneworld Oxford Publications, 2006.

SMIL, V. **Energy Transitions: Global and National Perspectives.** Second Edition. Santa Barbara, California : Praeger, an imprint of ABC-CLIO, LLC, [2017].

SMIL, V. **DOSSIER. DÉCARBONNER Entre le rêve et la réalité.** Le document de référence de Vaclav Smil, Le « Penseur de l'énergie. In: N° 22 - Transitions & énergies. 2024. Disponível em: <https://vaclavsmil.com/wp-content/uploads/2024/10/dossier2-smil.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2025.

SAUER, I. L.; VIEIRA, J. P.; KIRCHNER, C. A. R. **O RACIONAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DECRETADO EM 2001: UM ESTUDO SOBRE AS CAUSAS E AS RESPONSABILIDADES.** In: *Estudo sobre o Racionamento.* 15/12/2001.

SILVA, E. S.; ALMEIDA, A. T. C.; AZZONI, C. R.; SANTOS, L. M. S. **Efeitos da expansão dos parques eólicos sobre as emissões de gases do efeito estufa nos municípios do Nordeste brasileiro.** João Pessoa: UFPB/USP, 2023.

SIMAS, M; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. *Estudos avançados*, v. 27, p. 99-116, 2013.

SOMER, O.; SILVA, E. H. de.; SILVA, G. K. A. **Análise do potencial da energia solar fotovoltaica no Nordeste do Brasil**. Recife: O Autor, 2021. 41 p. (Artigo apresentado ao Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA).

SOUZA, M. C. O.; CORAZZA, R. I. **Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa**. *Desenvolv. Meio Ambiente*, v. 42, p. 52-80, dez. 2017.

SOUZA, N. A. **Economia brasileira contemporânea: de Getúlio a Lula**. São Paulo: Atlas, 2007.

SUZIGAN, W. **Indústria brasileira: origem e desenvolvimento**. São Paulo: Hucitec, Ed. da Unicamp, 2000 (Economia & Planejamento; 40. Série “Teses e Pesquisas”; 24).

TRALDI, M.; RODRIGUES, A. M. **Acumulação por despossessão: a privatização dos ventos para a produção de energia eólica no semiárido brasileiro**. 1ª ed. Curitiba: Appris, 2022.

UNITED NATIONS, CONFERENCE OF THE PARTIES. UNFCCC. Report of the Conference of the Parties on its fifteenth session, held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009/CCC/CP/2009/11/Add.1, 30 March 2010.

VEIGA, J. E. da. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI**. Rio de Janeiro: Garamond, 2010.

\_\_\_\_\_. **Para entender o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Editora 34, 2015.

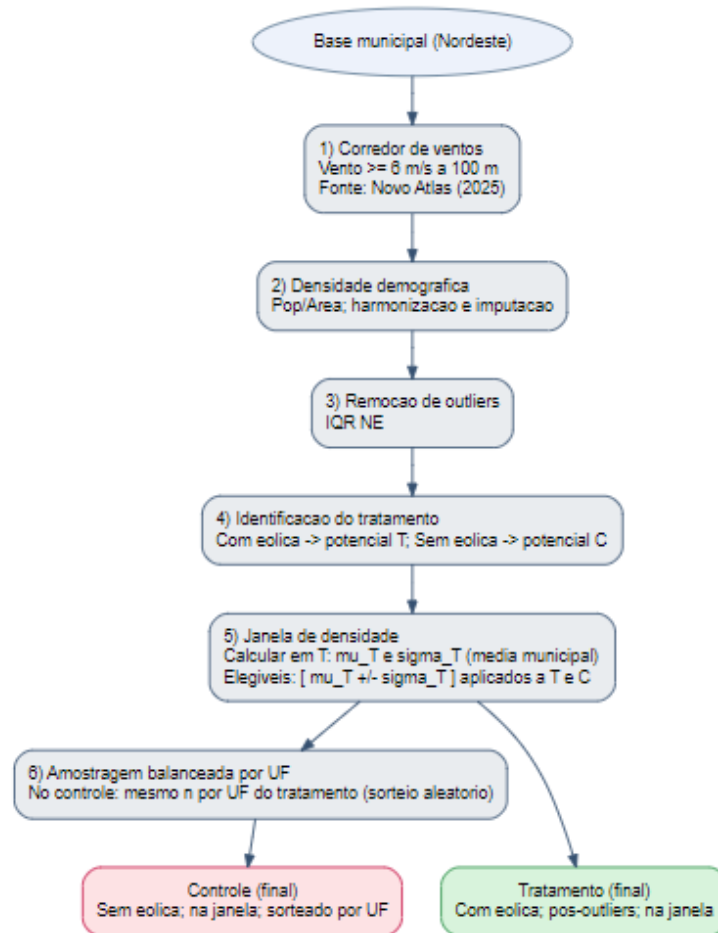
WOOLDRIGGE, J. M. **Introdução à econometria**. Uma abordagem moderna. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

YERGIN, D. **O novo mapa: energia, clima e o conflito entre nações**. Tradução: Francisco Araújo da Costa. Porto Alegre: Bookman, 2023

---

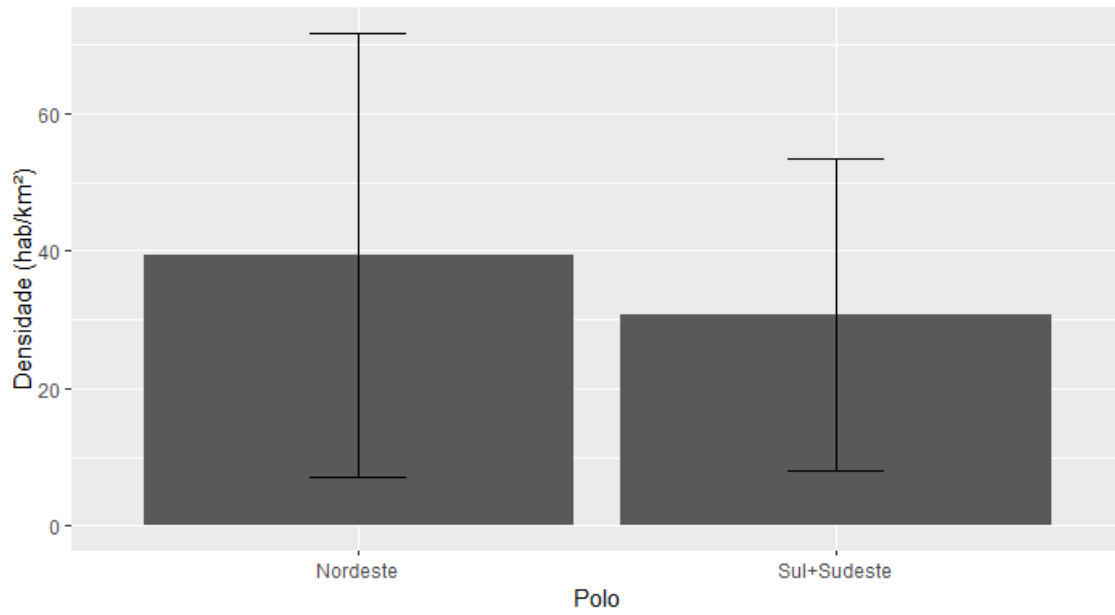
## APÊNDICE

### A - Fluxograma da elegibilidade e pareamento da amostra.



Fonte: Elaboração própria. 2025

B - Box Plot da densidade demográfica da amostra geral depois da retirada dos outliers.



Fonte: Elaboração própria. 2025

C - Municípios por UF e grupos (controle e tratamento).

<b>UF</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Controle</b>
BA	30	60
CE	12	25
MA	3	6
PB	7	14
PE	8	18
PI	9	19
RN	37	75
SE	0	1

Fonte: Elaboração própria. 2025

D - Testes estatísticos realizados para identificação das fases da expansão da energia eólica no Brasil (1998–2024).

Teste / Modelo	Estatística / Critério	Resultado	Interpretação
m0 – Tendência linear única	Coef. da tendência = 0,2823 ( $p < 0,01$ )	Significativo	Evidência de crescimento persistente da capacidade eólica no período
m1 – Tendência segmentada (quebra em 2009)	Coef. da mudança = -0,3624 ( $p < 0,01$ )	Significativo	Confirma existência de duas fases estatisticamente distintas
Comparação AIC (m0 vs. m1)	AIC: 76,04 → 66,41	Melhora substancial	Modelo com duas fases domina o modelo linear simples
Comparação BIC (m0 vs. m1)	BIC: 79,70 → 71,28	Melhora substancial	Reforça escolha do modelo com duas fases
Teste supF (Fstats)	supF = 168,5 ( $p < 0,01$ )	Rejeita estabilidade	Indica existência de ao menos uma quebra estrutural
Bai & Perron – breakpoints()	BIC mínimo em $m = 2$	Dois quebras candidatas	Apenas a quebra em ~2009 é economicamente substantiva
Avaliação de modelos com >2 fases	BIC crescente	Não sustentado	Fases adicionais configuram aprofundamento do regime pós-2009