

A IMPLEMENTAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS E SEUS IMPACTOS SOBRE OS MUNICÍPIOS BRASILEIROS.

Maria Analice dos Santos Sampaio¹

Edward Martins Costa²

Guilherme Irffi³

Area 7 - Infra-estrutura, transporte, energia, mobilidade e comunicação

Resumo

A energia eólica no Brasil atualmente é uma importante fonte de energia renovável, e seu crescimento nos últimos anos tem contribuído com relevância para a matriz energética do país. Nesse contexto, essa pesquisa tem por objetivo analisar os impactos da implementação de parques eólicos nos municípios brasileiros. Para alcançar o objetivo, utiliza-se o modelo de Diferenças em Diferenças (DiD), desenvolvido por Callaway e Sant'Anna (2021) e que considera vários períodos de tempo, variações no tempo de tratamento e efeitos dinâmicos do tratamento, por meio de um projeto de Estudo de Evento. Os resultados apontam para um aumento de 24,98% do PIB per capita para os municípios com parques em funcionamento no Brasil. Para os municípios da região Nordeste esse efeito é de 29,14%. Em relação aos efeitos dinâmicos do tratamento observa-se impactos no ano da entrada em operação e esse efeito permanece 1, 2 e 4 anos após o início da operação do parque eólico. No caso dos municípios nordestinos também são observados resultados expressivos sobre o VAB da Indústria, os efeitos no tempo calendário apontam impactos a partir do ano de 2014, os efeitos dinâmicos indicam que os impactos da implementação permanecem até o quinto ano pós-instalação. Sendo assim, pode-se inferir que a instalação de parques eólicos pode contribuir a atividade econômica municipal, em especial, na região nordeste do Brasil.

Palavras-chave: energia eólica; impactos; municípios brasileiros.

Abstract

Wind energy in Brazil is currently an important source of renewable energy, and its growth in recent years has contributed significantly to the country's energy matrix. In this context, this research aims to analyze the impacts of implementing wind farms in Brazilian municipalities. To achieve the objective, the Differences in Differences (DiD) model, developed by Callaway and Sant'Anna (2021) is used, which considers various time periods, variations in treatment time and dynamic effects of treatment, through an Event Study project. The results point to an increase of 24.98% in GDP per capita for municipalities with parks in operation in Brazil. For municipalities in the Northeast region, this effect is 29.14%. Regarding the dynamic effects of the treatment, impacts are observed in the year of entry into operation and this effect remains 1, 2 and 4 years after the start of operation of the wind farm. In the case of northeastern municipalities, expressive results are also observed on Industry GVA, the effects on calendar time point to impacts from the year 2014, the dynamic effects indicate that the impacts of implementation remain until the fifth year after installation. Therefore, it can be inferred that the installation of wind farms can contribute to municipal economic activity, especially in the northeast region of Brazil.

Keywords: wind energy; impacts; Brazilian municipalities.

JEL Code: C54. Q42

¹ Doutoranda em Economia Rural (PPGER/UFC). analicesampaio@alu.ufc.br

² Professor do Programa de Pós-graduação em Economia Rural (PPGER/UFC). edwardcosta@ufc.br.

³ Professor do Programa de Pós-graduação em Economia (CAEN/UFC). irffi@caen.ufc.br.

1 Introdução

As fontes de energia renováveis tiveram um crescimento médio anual de 3,1% de 2000 a 2019, sendo o segundo maior contribuinte para a produção global de eletricidade, respondendo por 25,2% da geração mundial em 2018, depois do carvão e à frente do gás, da energia nuclear e do petróleo (IEA, 2020). Dentre as fontes de energia renováveis, a energia eólica vem se destacando nos últimos anos em diversos países do mundo, como China, Estados Unidos, Índia, Espanha, Brasil, pois além do baixo impacto ambiental esse tipo de energia possui um dos melhores custo-benefício quando se trata de energias renováveis (ABEEÓLICA, 2019). Ademais, a energia eólica é uma das fontes renováveis mais promissoras, destacando-se por possuir uma tecnologia aprimorada, com progressivo aperfeiçoamento e ampliação do tamanho do Sistema de Geração Eólica (aerogeradores), possibilitando uma maior conversão dos ventos em energia cinética e eletricidade (CASTRO, 2009).

O Brasil é um dos países mais competitivos na geração de energia eólica, estando entre os dez maiores produtores do mundo (ABEEÓLICA, 2019). Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no final de 2019, o país possuía 623 parques eólicos distribuídos em 14 estados. Com mais de 9% da capacidade geradora brasileira, a energia eólica ocupa o segundo lugar dentre as fontes de energia renováveis mais utilizadas no país, ficando atrás apenas das hidrelétricas que compõem a maior parte da matriz elétrica, 63,16%. A região Nordeste, pelo seu grande potencial de ventos litorâneos, agrega mais de 80% de todo o potencial eólico brasileiro (ANEEL, 2020).

Diante do apresentado e dada a relevância do setor eólico para o Brasil, o objetivo desta pesquisa é avaliar os efeitos econômicos da implementação de parques eólicos nos municípios brasileiros. Especificamente, busca-se verificar se a instalação de parques eólicos nos municípios afeta indicadores econômicos (Produto Interno Bruto – PIB, Valor Adicionado Bruto – VAB – e suas desagregações), fiscais (receitas e impostos municipais) e do mercado de trabalho. Testa-se a hipótese de efeitos locais ocasionados pela implementação de parques eólicos, uma vez que se espera maior fluxo de capital humano para a construção, instalação e manutenção dos parques, associado à elevação na demanda por serviços, o que pode resultar em maior dinamismo da economia local.

Para testar essa hipótese optou-se por utilizar uma estrutura longitudinal de dados (da ANEEL, IBGE, FINBRA, RAIS) dos municípios brasileiros durante o período 2004 a 2019. Como a implementação do parque eólico ocorre em determinado período do tempo e o município permanece exposto durante todo o período subsequente, optou-se pela utilização de modelo de diferenças em diferenças com múltiplos períodos de tempo, seguindo a metodologia de Callaway e Sant’Anna (2021) por considerar múltiplos períodos de tempo, variação no tempo de tratamento e suposição de tendências paralelas.

O estimador proposto por Callaway e Sant’Anna (2021) permite identificar efeitos heterogêneos da instalação de usinas eólicas não só para distintos grupos de municípios tratados de acordo com a entrada no tratamento, como também os diferentes períodos de tempo em que os municípios receberam a intervenção. Dessa forma, foi possível captar além dos efeitos agregados do tratamento, efeitos de grupo, de tempo (calendário) e efeitos dinâmicos (dado pelo projeto de estudo de evento).

Assim como a maioria das avaliações de impacto, esta pesquisa tem suas limitações. Entre elas, identifica-se que apesar da grande expansão de parques eólicos no Brasil nos últimos anos, é observada uma concentração de usinas nos municípios já tratados, ou seja, a implantação de usinas ocorre onde já existe parques instalados, e como definimos o tratamento a partir da instalação do primeiro parque, os efeitos observados nos anos posteriores podem estar associados a expansão das usinas. Além disso, o sistema de dados brasileiros que mensura a variável referente a velocidade dos ventos utilizada na estimação, mede essa velocidade a uma altura considerada abaixo da necessária para verificação de viabilidade da geração de energia eólica, limitando a escolha do grupo contrafactual mais adequado.

Cabe ressaltar que os resultados apresentados partem do pressuposto da não violação da suposição de tendências paralelas. As estimativas foram capazes de identificar efeitos positivos e estatisticamente significativos sobre o PIB per capita dos municípios brasileiros e nordestinos com instalações eólicas. Além disso, foram observados, para a região Nordeste, efeitos positivos sobre o Valor Adicionado da Indústria. Com relação às variáveis referentes aos fiscos municipais bem como os referentes ao mercado de trabalho, as mesmas não passaram nos testes de tendências paralelas uma vez que é observado um comportamento

significativo antes do tratamento, dessa forma, suas implicações não podem estar relacionadas à instalação de parques eólicos.

Diante do exposto, esta pesquisa busca contribuir com a literatura sobre os efeitos econômicos de fontes de energia renováveis, especialmente a energia eólica, diferenciando-se dos trabalhos de Rodrigues (2019) e Rintzel (2017) ao testar a suposição de tendências paralelas e pela metodologia adotada, bem como o estudo de Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020), em que foram considerados apenas os indicadores referentes ao mercado de trabalho.

Além desta introdução, este artigo será dividido em mais cinco seções. Na segunda seção é abordado as evidências dos impactos da instalação de usinas eólicas. Posteriormente, na terceira seção, serão retratados os aspectos metodológicos acerca do tema desenvolvido. Na quarta, expõe-se os resultados e discussões a partir da estratégia empírica adotada. E, na última seção, serão apresentadas as considerações finais acerca do tema desenvolvido.

2 Evidências dos impactos econômicos da implementação de usinas eólicas

A literatura indica que a implantação de usinas eólicas pode ser um importante canal de desenvolvimento local em diferentes aspectos socioeconômicos, principalmente relacionados ao mercado de trabalho.

Brown et al., (2012) analisaram o impacto do desenvolvimento da energia eólica na renda pessoal e empregos nos condados dos EUA. Em uma grande região rica em ventos do país o impacto local do desenvolvimento real da instalação de energia eólica no período de 2000 a 2008 gerou um aumento na renda agregada pessoal e no emprego de aproximadamente U\$\$ 11000 e 0,5 empregos por megawatt (MW) de energia eólica instalada. Além disso, foi observado um aumento médio de 0,2% na renda pessoal e 0,4% nos empregos para condados tratados no período analisado.

Ejdemo e Söderholm (2015) avaliaram os impactos potenciais no emprego de um investimento em parque eólico em curso no norte da Suécia em diferentes cenários de repartição de benefícios. Para isto, utilizaram um modelo denominado rAps, que avalia impactos regionais, desenvolvido pela Agência Sueca para o Crescimento Econômico e Regional, com o intuito de estimar os potenciais impactos econômicos de um investimento contínuo em um parque eólico no condado sueco de Norrbotten sob diferentes benefícios. Os resultados evidenciam impactos significativos de obras de construção, especialmente na presença de fabricação local, a análise mostra que, na ausência de mecanismos de repartição de benefícios, os impactos do emprego para Norrbotten durante a fase de operação será modesto, com o multiplicador de emprego de 1,4. No entanto, mesmo em um cenário de baixa das receitas de energia eólica, assume-se que isso geraria impactos positivos significativos nas taxas de emprego.

Com base nos dados de 2005 e 2011, Xia e Song (2017) analisam o impacto da instalação de energia eólica na economia local da China e verificaram que a capacidade instalada de energia eólica tem um pequeno e estável efeito positivo sobre o PIB, indicando que 1MW (per capita) traria um aumento de 2246 RMB no PIB per capita durante os anos analisados. Mas foram encontrados resultados negativos com relação à receita fiscal local.

Mauritzen (2020) investigou se a presença de parques eólicos, normalmente presentes na zona rural das comunidades, exercia influência direta, permanente e mensurável sobre o bem-estar econômico dos residentes locais dessa comunidade, medida pelos salários médios. Para isto, analisou os condados nos EUA com usinas eólicas com capacidade acima de 1 megawatt (MW) utilizando um modelo multinível bayesiano. Foi observado um efeito positivo significativo com um aumento de 2% nos salários após o investimento em um grande parque eólico de 400 MW. No entanto, o efeito tem variação geográfica e socioeconômica uma vez que municípios com baixo emprego tendem a ter pouco impacto nos salários de energia eólica, potencialmente devido à folga no mercado de trabalho que impede o aumento dos salários.

Em relação ao Brasil, Simas (2012) quantifica o potencial de geração de empregos pela energia eólica no Brasil, analisando os empregos, diretos e indiretos, em até 330 mil empregos gerados por ano até 2020 devido a demanda por insumos a partir da matriz de insumo-produto e por meio da elaboração de cenários. A maior contribuição para a geração de empregos diretos é o setor de construção, respondendo por 70% dos empregos gerados, mostrando grande potencial para a criação de empregos em diversas áreas rurais.

A partir do Método Estrutural Diferencial, com dados de emprego, arrecadação fiscal e valor adicionados de municípios para o período de 1998 a 2012, Rintzel (2017) observou que os municípios brasileiros que possuem parques eólicos – em comparação com os seus circunvizinhos – obtiveram maior incremento, principalmente no emprego. Exibiram, também, embora menos expressivas, variações positivas na receita de impostos e no valor adicionado bruto, indicando que a presença de parque eólico, em determinado município, impacta positivamente nos fatores econômicos do município.

Ao analisarem os possíveis impactos da política de construção de usinas eólicas nos municípios brasileiros no período de 2008 a 2014 a partir da metodologia de controle sintético, Martini, Jordão e Grimaldi (2018) observaram que os resultados são heterogêneos, mas com efeitos medianos positivos sobre o PIB per capita. Os efeitos compilados são mais favoráveis em 2 anos após as construções e em parques eólicos com investimentos mais elevados.

Tendo como base o ano de 2013, Rodrigues, Gonçalves e Chagas (2019) analisaram o impacto da construção de usinas eólicas nos municípios do Nordeste brasileiro por meio do método de Propensity Score Matching (PSM) espacial e observaram que nos municípios que possuem usinas eólicas em operação, ou construção, o nível total de salários nos setores de construção, transporte e logística é maior, e esses municípios apresentam 48% empresas a mais do setor agrícola, sugerindo assim que a presença de usinas eólicas leva à transferência de recursos para o setor agrícola, impulsionando essa atividade na economia local.

Ao analisarem os impactos da implementação de parques eólicos em indicadores econômicos e fiscais dos municípios brasileiros a partir do modelo de DD considerando o período de 2005 a 2015, Rodrigues et al., (2019) evidenciam que a instalação dos parques possui impacto positivo sobre o VAB da agropecuária, PIB e PIB per capita, mas, apresentam efeitos negativos sob o VAB da indústria e serviços. No que se refere à parte fiscal, os impostos também responderam negativamente à implantação de parques eólicos.

Para analisar os impactos diretos e indiretos da implementação de parques eólicos, Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020) consideraram os níveis de emprego e salários da economia brasileira com respeito aos anos de 2004 a 2016. Ao estimar o modelo de DD escalonada, por considerar variações no tratamento, variação no tempo de tratamento, efeitos de tratamento dinâmico, observaram que a expansão da energia eólica pode gerar impactos sociais relevantes podendo durar até dois anos após a implantação de parques eólicos nos municípios. Os autores identificaram efeitos positivos sobre os empregos e salários, principalmente para os trabalhadores com menor escolaridade e de pequena e média empresas.

3. Metodologia

3.1 Dados

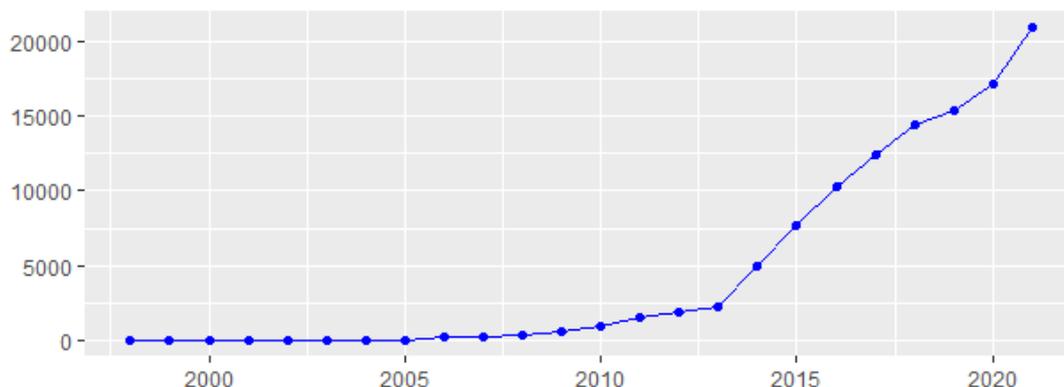
A base de dados utilizada nessa pesquisa foi construída a partir de dados anuais dos municípios brasileiros no período de 2004 a 2019, considerando variáveis provenientes da ANEEL, IBGE, FINBRA, RAIS, INPE. A quantidade de parques, que indica o tratamento, e a potência instalada foram obtidas junto ao Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA). Essa base contém informações sobre a data de implementação, localização das usinas e a capacidade instalada. Vale ressaltar que foram excluídas do tratamento usinas com potência instalada menor ou igual a 100 quilowatts (kW), pois essas usinas não são construídas com finalidade comercial (ANEEL, 2014; GONÇALVES, RODRIGUES e CHAGAS, 2020).

Considera-se os municípios tratados a partir de 2009, já que se observa uma tendência de crescimento do potencial de geração de energia eólica a partir desse ano, como pode ser visualizado no Gráficos 1. Como as informações sobre a construção não estão disponíveis, considera-se o momento de implementação do parque eólico para que ele seja tratado. No entanto, a literatura afirma que pode haver impactos também no processo de construção das usinas (COSTA et al., 2009; Brown et al., 2012). De acordo com Montezano (2012), o tempo de construção de uma usina eólica é de 12 a 24 meses. Assim sendo, o estudo considera o tempo de construção de até dois anos, para avaliar o efeito do pré-tratamento.

Em relação aos indicadores de resultado, são empregados o PIB, VAB da Agropecuária, Indústria e Serviços, os postos de trabalho no mercado formal e arrecadação de impostos e receitas. Como covariadas são utilizadas a densidade populacional, a tipologia municipal (rural, urbano), provenientes do IBGE e

também a velocidade média dos ventos, fator considerado relevante para a instalação de usinas eólicas nos municípios, extraída do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Gráfico 1 – Potência Acumulada de energia eólica, em 1000 kW, no Brasil, 1998 a 2021.



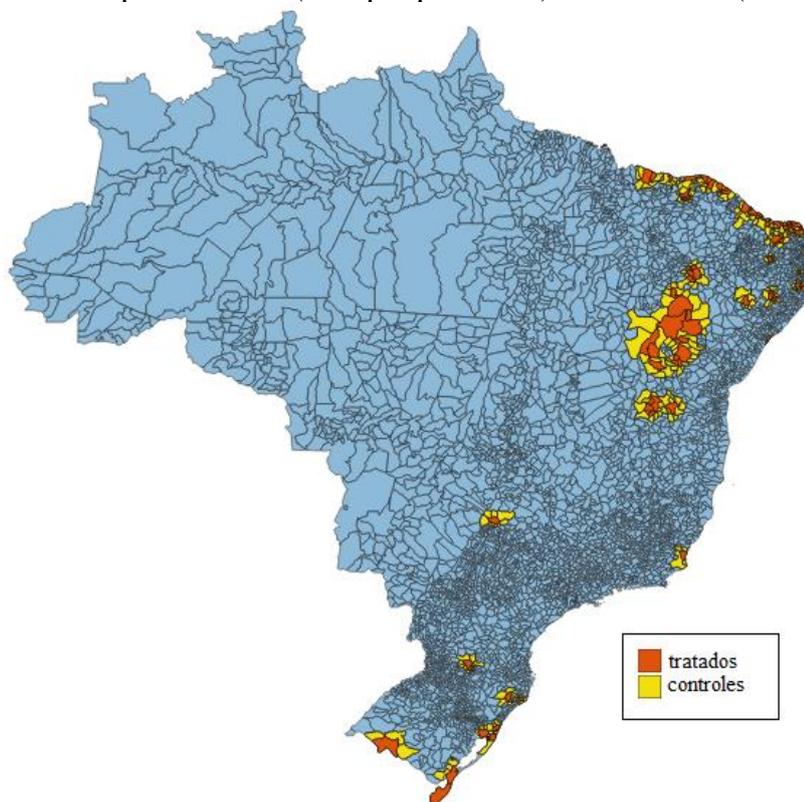
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da ANEEL/SIGA. Dados de 8 de maio.2022.

3.2 Estratégia de identificação

Foram considerados como grupo de controle os municípios vizinhos imediatos àqueles que possuem instalações eólicas (Figura 1), assumindo que os mesmos possuem características socioeconômicas e climáticas semelhantes (RODRIGUES et al., 2019). As estimações foram realizadas para todos os municípios com instalações eólicas no Brasil e, posteriormente foram observados apenas os municípios com parques eólicos na região Nordeste, já que essa região é a que mais contribui com a geração de energia eólica no Brasil, representando mais de 80% de todo o potencial eólico brasileiro (ANEEL, 2020).

Para o primeiro grupo de avaliação (Brasil), a base contém informações de 252 de controle e 84 municípios de tratamento, no segundo grupo (municípios nordestinos) os tratados totalizam 70 e os municípios de controle, 193.

Figura 1 – Mapa dos municípios tratados (com parque eólico) e de controle (sem parque eólico).



Fonte: Elaboração própria.

3.3 Estratégia Empírica

A abordagem metodológica para alcançar os objetivos propostos trata de uma adaptação do modelo de Diferenças em Diferenças. O modelo de Diferenças em Diferenças convencional é um dos mais

utilizados para avaliar efeitos causais de intervenções. Se na ausência de tratamento, os resultados médios para os grupos tratados e de controle tivessem seguido caminhos paralelos ao longo do tempo, poder-se-ia estimar o Efeito Médio do Tratamento sobre os Tratados (ATT) comparando a variação média nos resultados experimentados pelo grupo tratado com a variação média nos resultados experimentados pelo grupo de controle. Essa metodologia concentra-se basicamente no padrão de dois períodos, tal como abordado por Heckman et al., (1997, 1998), Abadie (2005), Athey e Imbens (2006), entre outros autores.

Nesse estudo, como a instalação de usinas eólicas ocorreu em momentos distintos no tempo, e por consequência, a exposição ao tratamento é diferente entre os municípios, se faz necessária a utilização de uma abordagem flexível para lidar com as características dos dados. Dessa forma, para avaliar os efeitos da implementação de parques eólicos nos municípios brasileiros emprega-se o método de diferenças em diferenças com múltiplos períodos de tempo proposto por Callaway e Sant’Anna (2021), que considera: i) múltiplos períodos de tempo; ii) variação no tempo de tratamento, e iii) suposição de tendências paralelas mantidas após o condicionamento em variáveis observáveis.

O estimador proposto por Callaway e Sant’Anna (2021) permite identificar efeitos heterogêneos de intervenções tanto para diferentes grupos de unidades tratadas no momento de entrada no programa, como também para diferentes períodos de tempo. O ponto de partida do estimador é agrupar as unidades tratadas de acordo com o momento em que participaram pela primeira vez do tratamento, esses grupos são denotados como g , no caso da avaliação realizada neste artigo, $g = 2009, 2010, 2012, 2013, \dots, 2019$.

A partir disso, pode-se identificar o efeito do tratamento sobre os tratados para cada combinação (g, t), onde g são os cortes de entradas e t representa o tempo calendário. Para tornar os grupos de tratamento e controle mais próximos em termos de probabilidade de participar do programa e de características observáveis, o estimador utiliza o escore de propensão dado por: $P_g(X) = P(G_g = 1 | X, G_g + C = 1)$, onde X é definido como o conjunto de variáveis observáveis; G_g é uma variável binária que assume o valor 1 caso a unidade entre no tratamento no período; C também é uma variável binária, assumindo 1 para unidades nunca tratadas. Dessa forma, o escore de propensão é a probabilidade de que uma unidade seja tratada com a condição de ter covariadas X e de ser membro de um grupo g ou de um controle C .

Sob essas premissas, e dado que se dispõe de informações para os períodos $t=1, 2, \dots, \tau$, Callaway e Sant’Anna (2021) mostram que, para o grupo g no período $t \geq g$, o efeito médio do tratamento sobre os tratados é dado por:

$$ATT_{dr}^{ny}(g, t) = E \left[\left(\frac{G_g}{E[G_g]} - \frac{\frac{p_{g,t}(X)(1-D_t)}{1-p_{g,t}(X)}}{E \left[\frac{p_{g,t}(X)(1-D_t)}{1-p_{g,t}(X)} \right]} \right) (Y_t - Y_{g-1} - m_{g,t}^{ny}(X)) \right] \quad (1)$$

Onde $m_{g,t}^{ny}(X) = E[Y_t - Y_{g-1} | X, D_t = 0, G_g = 0]$.

onde Y é a variável de resultado, sendo que Y_t e Y_{g-1} denotam respectivamente a variável de resultado em t e no período imediatamente anterior à entrada no programa do grupo g . Os elementos $w_g^G = \frac{G_g}{E[G_g]}$ e

$w_g^{1-D_t} = \frac{\frac{p_{g,t}(X)(1-D_t)}{1-p_{g,t}(X)}}{E \left[\frac{p_{g,t}(X)(1-D_t)}{1-p_{g,t}(X)} \right]}$ são os pesos para os grupos de tratamento e controle, respectivamente, sendo

escores de propensão normalizados para somar 1, ou seja, utiliza-se um procedimento de reponderação que garante que as covariadas do grupo g e do grupo de controle estejam equilibradas.

Esse procedimento proposto por Callaway e Sant’Anna (2021) permite a combinação de das abordagens de Heckman et al. (1997;1998) e Abadie (2005), já que depende da modelagem da evolução do resultado e do escore de propensão. Dessa forma, o procedimento adotado por Callaway e Sant’Anna (2021) é uma estimação duplamente robusta, pois desfruta de robustez adicional contra erros de especificação do modelo quando comparadas às abordagens anteriores.

Uma das principais vantagens do método proposto por Callaway e Sant’Anna (2021) é que, ao identificar o efeito para cada grupo g nos períodos em que $t \geq g$, é possível obter um conjunto de efeitos heterogêneos do tratamento. O presente estudo analisa o efeito médio do tratamento nos municípios

tratados, o efeito médio por grupos, o efeito calendário e o efeito dinâmico no tratamento (estudo de evento), também, analisa-se o efeito dinâmico balanceado.

Para considerar os efeitos heterogêneos entre os grupos, considera-se o seguinte parâmetro:

$$\theta_s(\tilde{g}) = \frac{1}{\tau - \tilde{g} + 1} \sum_{t=\tilde{g}}^{\tau} ATT(\tilde{g}, t) \quad (2)$$

onde $\theta_{sel}(g)$ é o efeito médio da participação no tratamento das unidades do grupo g , em todos seus períodos de pós-tratamento.

No que se refere à dimensão tempo calendário, o efeito pode ser obtido tanto para cada grupo g como também para a agregação desses efeitos para cada período do calendário (ano). Dessa forma, o efeito da participação no tratamento no período de tempo t é dado, segundo Callaway e Sant'Anna (2021), por:

$$\theta_c(\tilde{t}) = \sum_{g \in G} 1\{\tilde{t} \geq g\} P(G = g | G \leq \tilde{t}) ATT(g, t) \quad (3)$$

onde a função $1\{\tilde{t} \geq g\}$ assume 1 quando o período $\tilde{t} \geq g$ e 0 caso contrário, $P(G = g | G \leq \tilde{t})$ denota a proporção de tratados no grupo g presentes no período $t \geq g$. Pode-se dizer que esse parâmetro é a média ponderada dos $ATT(g, t)$ no período t para todos os grupos tratados antes de t . Esse parâmetro pode ser agregado, como segue:

$$\theta_c^{cumu}(\tilde{t}) = \sum_{t=2}^{\tau} \theta_c(t) \quad (4)$$

$\theta_c^{cumu}(\tilde{t})$ pode ser interpretada como o efeito médio do tratamento cumulativo entre as unidades tratadas no tempo \tilde{t} .

O efeito simples, ou seja, a agregação do efeito médio no tempo do grupo identifica um efeito geral da participação no tratamento, podendo ser computado através do seguinte parâmetro:

$$\theta_w^0 = \frac{1}{k} \sum_{g \in G} \sum_{t=2}^{\tau} 1\{t \geq g\} ATT(g, t) P(G = g | G \leq \tau) \quad (5)$$

onde $k = \sum_{g \in G} \sum_{t=2}^{\tau} 1\{t \geq g\} P(G = g | G \leq \tau)$ garantindo que os pesos em $ATT(g, t)$ somam um. θ_w^0 representa uma média ponderada para cada $ATT(g, t)$, incluindo mais pesos nos $ATT(g, t)$ de tamanho maiores. Callaway e Sant'Anna (2021) afirmam que esse tipo de agregação evita imediatamente os pesos negativos que as regressões de efeitos fixos bidirecionais podem sofrer, no entanto, enfatizam que essa provavelmente não é a melhor forma de agregação, sugerindo a utilização dos efeitos específicos de grupo. No caso de efeitos específicos de grupo, o ATT geral calcula a média dos efeitos do grupo para todos os grupos, sendo a principal escolha para a análise do efeito agregado da participação no tratamento.

Dessa forma, o efeito médio do tratamento sobre os municípios com instalações eólicas é uma medida que resume o efeito médio da participação no tratamento, podendo ser calculado como segue:

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

θ_{sel}^0 primeiro computa o efeito médio para cada grupo, em todos os períodos de tempo, e depois calcula a média desses efeitos de maneira agregada de modo a resumir o efeito geral da participação no tratamento.

Também é possível definir os parâmetros gerais do efeito do tratamento calculando a média θ_{es}^0 (e) do projeto Estudo de Evento, ou ainda, em todos os períodos de tempo ($\theta_c(t)$), tal que:

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

Destaca-se nessa pesquisa a utilização do balanceamento por Entropia como medida de ponderação entre os grupos de tratamento e controle. Para encontrar grupos de comparação balanceados, isto é, uma amostra com unidades de controle mais próximas possíveis das unidades de tratamento com base nas características observáveis. Hainmueller (2012) propõe o método de Balanceamento por Entropia que

apresenta a vantagem em relação ao PSM por fornecer um maior grau de equilíbrio entre as covariáveis⁴. Essa técnica permite a ponderação de um conjunto de dados, tais que as distribuições das variáveis observadas são reponderadas, satisfazendo um conjunto de condições especiais em três momentos, de forma que exista equilíbrio exato sobre média, variância e assimetria das distribuições de variáveis independentes nos grupos de tratamento e controle.

4. Análise e discussão dos resultados

4.1 Análise descritiva

As Tabelas 1 e 2 mostram as médias das variáveis para o Brasil e também para a região Nordeste, respectivamente, de acordo com a participação ou não no tratamento. Considera-se o ano anterior ao início do tratamento (2008) e o último ano de análise (2019) como referência para a comparabilidade entre os grupos. Note que as médias do grupo de controle antes da intervenção é superior ao grupo de municípios tratados, com exceção para o VAB da Agropecuária. No entanto, quando observamos o último ano de análise, essa diferença se reduz e em alguns casos os municípios tratados passam a apresentar médias superiores aos não tratados.

As demais variáveis referentes aos fiscos municipais bem como as variáveis concernentes ao mercado de trabalho apesar de permanecerem com médias menores no grupo de tratamento no ano de 2019, a diferença se reduz em comparação ao ano anterior ao tratamento, onde as médias eram muito maiores para os municípios sem instalações eólicas, indicando uma possível melhora nos indicadores analisados.

Tabela 1 – Teste-T para a diferença de média dos tratados e controles, Brasil, 2008 e 2019.

Variáveis	2008				2019			
	Tratamento (T)	Controle (C)	Diferença de média (T-C)	T-test	Tratamento (T)	Controle (C)	Diferença de média (T-C)	T-test
PIB per capita	14,71	16,19	-1,48	-0,43	26,32	19,76	6,56	1,66*
VAB da Agropecuária	46.975,18	37.511,36	9.463,82	1,27	53.239,97	41.624,32	11.615,65	1,12
VAB da Indústria	155.948,50	403.569,20	-247.620,70	-0,60	261.129,50	240.324,60	20.804,90	0,17
VAB dos Serviços	199.111,00	405.448,20	-206.337,20	-0,65	357.365,50	567.338,30	-209.972,80	-0,50
Receitas Totais	73.580,16	96.014,03	-22.433,87	-0,50	129.365,50	134.883,60	-5.518,10	-0,10
Receita Corrente	76.198,46	97.010,84	-20.812,38	-0,47	127.031,50	131.860,30	-4.828,80	-0,09
Receita Tributária	6.759,67	13.142,18	-6.382,51	-0,52	17.925,06	24.103,47	-6.178,41	-0,34
Impostos	6.062,14	12.011,79	-5.949,65	-0,53	16.081,16	21.729,89	-5.648,73	-0,33
ISSQN	3.326,93	5.804,78	-2.477,85	-0,49	8.327,35	10.064,50	-1.737,15	-0,22
Vínculos Ativos	3.682,77	6.905,87	-3.223,10	-0,66	5.048,94	7.849,82	-2.800,88	-0,56
Massa salarial	8.372,64	23.003,30	-14.630,66	-0,65	11.076,38	22.123,11	-11.046,73	-0,57
densidade populacional	57,91	94,78	-36,87	-0,93	65,81	104,13	-38,32	-0,89
Observações	84	252			84	252		

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Diferença de média= (Média dos Tratados - Média dos Controles). Significância do Test -T: < 0.05:*

No Nordeste, é possível notar pela Tabela 2, existe uma acentuação nas variáveis PIB per capita, VAB da Agropecuária e VAB da Indústria que já apresentavam médias superiores para o grupo de tratamento antes da instalação das usinas eólicas, entretanto, no ano de 2019 a diferença de média entre os grupos é ainda maior, evidenciando uma possível melhora nesses indicadores.

⁴ As covariadas utilizadas para construção do peso no balanceamento por Entropia foram: velocidade média dos ventos (INPE, 2004 a 2019); expectativa de vida ao nascer, IDHM (Renda, Longevidade, Educação), Subíndice de escolaridade fundamental da população adulta, renda *per capita* média (IBGE, 2010).

Cabe destacar que antes do tratamento a média das receitas e impostos se mostrava superior para os municípios de controle, já em 2019 houve uma reversão e os municípios tratados passaram a apresentar médias maiores para essas variáveis. Em relação aos indicadores referentes ao mercado de trabalho, é possível notar que tanto a quantidade de empregos, representada pelos vínculos ativos, como a massa salarial apresentam médias superiores para os municípios não tratados nos dois anos analisados, embora essa diferença tenha sido menor no ano de 2019.

Tabela 2– Teste-T para a diferença de média dos tratados e controles, municípios da região Nordeste, 2008 e 2019.

Variáveis	2008				2019			
	Tratamento (T)	Controle (C)	Diferença de média (T-C)	T-test	Tratamento (T)	Controle (C)	Diferença de média (T-C)	T-test
PIB per capita	11,52	8,86	2,66	1,87*	24,32	11,96	12,36	5,47*
VAB da Agropecuária	35.371,75	29.474,24	5.897,51	0,83	40.282,46	32.629,92	7.652,54	0,69
VAB da Indústria	116.917,00	90.720,70	26.196,30	0,55	216.083,90	109.451,20	106.632,70	1,77*
VAB dos Serviços	104.199,50	150.747,60	-46.548,10	-0,61	233.301,00	270.348,00	-37.047,00	-0,29
Receitas Totais	61.175,01	62.021,36	-846,35	-0,05	110.530,10	101.002,10	9.528,00	0,34
Receita Corrente	63.460,92	63.859,91	-398,99	-0,02	108.909,30	98.388,24	10.521,06	0,39
Receita Tributária	4.147,14	5.346,00	-1.198,86	-0,38	11.933,09	11.905,14	27,95	0,01
Impostos	3.907,04	4.978,58	-1.071,54	-0,40	11.208,60	10.936,09	272,51	0,04
ISSQN	2.416,65	2.857,55	-440,90	-0,26	7.078,97	5.571,48	1.507,49	0,44
Vínculos Ativos	2.569,30	3.846,12	-1.276,82	-0,68	3.655,36	4.775,25	-1.119,89	-0,54
Massa salarial	4.935,46	9.185,63	-4.250,17	-0,69	7.228,04	9.727,87	-2.499,83	-0,52
densidade populacional	51,73	75,25	-23,52	-0,68	58,48	83,59	-25,11	-0,64
Observações	70	193			70	193		

Fonte: Elaboração própria

Nota: Diferença de média= (Média dos Tratados - Média dos Controles). Significância do Test -T: < 0.05:*

4.2 Análise dos efeitos heterogêneos do tratamento

Esta subseção fornece os resultados obtidos com base na estratégia empírica adotada. Cabe destacar que serão apresentados apenas os resultados das variáveis cuja suposição de tendências paralelas não tenha sido violada⁵. Parte-se da análise dos efeitos da instalação de usinas eólicas nos municípios brasileiros como um todo, em seguida é mostrado o efeito para a região Nordeste.

As estimações apresentadas a seguir foram efetuadas com o estimador duplamente robusto, considerando como grupo de controle os municípios vizinhos imediatos dos que receberam a intervenção, sendo estes nunca tratados, também, os municípios ainda não tratados, levando em conta a suposição de tendências paralelas incondicionais.

As estimativas de pré-tratamento apresentadas nos gráficos de tendências paralelas apresentadas nos Apêndices A, B, C e D são utilizados para verificar a validade da suposição de pré-tendências paralelas incondicionais, dessa forma, de acordo com os gráficos apresentados, existem evidências de não haver tendências diferenciais estatisticamente significativas para nenhuma dessas variáveis apresentadas, dado

⁵ As variáveis referentes aos fiscos municipais não passaram nos testes de tendências paralelas, são elas: Receita Orçamentária, Impostos, ISSQN e Taxas. Ademais, o Valor Adicionado da Agropecuária bem como a massa salarial per capita e a quantidade de vínculos ativos também não passaram nos testes de tendências paralelas. Para mais informações, consultar os autores.

que a trajetória observada no tempo de pré-tratamento se encontram estáveis em torno de zero e coberta pelas bandas do intervalo de confiança. Isso fornece suporte à suposição de identificação assumida, ou seja, de que os municípios tratados e de controle teriam experimentado comportamento similares na ausência da instalação de parques eólicos.

As tabelas apresentadas nessa seção, expõem os resultados dos efeitos da implementação de usinas eólicas, reportando tanto os parâmetros únicos quanto os parcialmente agregados. A primeira linha fornece uma agregação simples, dada pela média ponderada de todos os efeitos médios do tratamento no tempo do grupo com pesos proporcionais ao tamanho do grupo. A linha que retrata os efeitos específicos de grupo, calcula os efeitos médios do tratamento em diferentes grupos. Os efeitos de tempo/calendário permitem agregações em diferentes períodos de tempo, calculando os efeitos médios do tratamento em diferentes períodos de tempo.

O parâmetro de efeito causal de preferência nesse estudo está relacionado aos efeitos dinâmicos do tratamento, dado pelo estudo de evento por captar os efeitos médios da implantação de parques eólicos para diferentes períodos de exposição ao tratamento, ou seja, expõe a duração do efeito do tratamento. As análises para o estudo de evento balanceado leva em consideração os municípios expostos ao tratamento a pelo menos 1, 2 e 3 anos, respectivamente.

Ademais, busca-se identificar a partir dos resultados se: i) o efeito de participar do tratamento varia com o tempo de exposição ao tratamento? ii) os grupos que são tratados mais cedo têm, em média, efeitos de tratamento médios mais altos/mais baixos do que os grupos que são tratados mais tarde? iii) qual é o efeito médio cumulativo do tratamento da política em todos os grupos até um determinado momento?

4.2.1 Efeitos sobre o PIB per capita no Brasil

Analisando os resultados dos impactos da instalação de usinas eólicas sobre o PIB per capita dos municípios brasileiros, verifica-se que a implementação de parques eólicos levou a um aumento no PIB per capita dos municípios. O primeiro efeito a ser analisado é efeito médio por tamanho de grupos em relação ao efeito médio de todos os grupos disponíveis. Este efeito em nosso estudo, indica que há um aumento de 18,02% no PIB per capita.

Tabela 3 - Estimativas do efeito do tratamento agregado do PIB per capita – Brasil.

	Parcialmente agregado				Parâmetros únicos
Média Ponderada Simples					0,1802 (0,0517)
Efeitos específicos do grupo	<u>g=2014</u> 0,4088 (0,1609)	<u>g=2015</u> 0,3701 (0,0894)	<u>g=2016</u> 0,3591 (0,1066)	<u>g=2017</u> 0,3233 (0,1247)	0,2498 (0,0490)
Efeitos de tempo/ Calendário	<u>t=2016</u> 0,1808 (0,0540)	<u>t=2017</u> 0,2954 (0,0598)	<u>t=2018</u> 0,3391 (0,0572)	<u>t=2019</u> 0,2927 (0,0586)	
Estudo de evento	<u>e=0</u> 0,1540 (0,0500)	<u>e=1</u> 0,2238 (0,0571)	<u>e=2</u> 0,2210 (0,0657)	<u>e=4</u> 0,2134 (0,0763)	0,1332 (0,0467)
Estudo de Evento com grupos balanceados					
i)	<u>e=0</u> 0,1540 (0,0494)	<u>e=1</u> 0,2238 (0,0539)			0,1889 (0,0451)
ii)	<u>e=0</u> 0,1377 (0,0457)	<u>e=1</u> 0,1996 (0,0513)	<u>e=2</u> 0,2210 (0,0577)		0,1861 (0,0461)
iii)	<u>e=1</u> 0,2226 0,0629	<u>e=2</u> 0,2172 0,1231			0,1775 (0,0592)

Fonte: Elaboração própria.

Notas: Significativo a 5%. Na estimação foram utilizadas além do peso da Entropia as seguintes covariadas: densidade populacional, velocidade dos ventos e tipologia municipal. Considera-se um efeito antecipatório de 2 anos, dada a construção do parque eólico. Na estatística referente ao Estudo de Evento balanceado, considera-se os municípios que foram expostos ao tratamento da seguinte forma: i) aqueles que são tratados a pelo menos 1 ano; ii) aqueles expostos ao tratamento a pelo menos dois anos e, iii) aqueles que possuem pelo menos 3 anos de tratamento.

Por outro lado, os efeitos médios do tratamento pelo ano “g” em que um município inicia suas operações de distribuição de energia na presença de parques eólicos é 24,98%. Os efeitos médios de grupo também podem ser observados para as unidades que receberam o tratamento nos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017, correspondendo a um aumento de 40,88%, 37,01%, 35,91% e 32,33%, respectivamente. Observa-se um comportamento decrescente, quando comparados os grupos que entraram primeiro no tratamento com os que entraram por último. A partir dos efeitos de tempo/calendário foram estimados os efeitos médios do tratamento por ano “t”. Em 2016, o PIB per capita foi de 18,08% maior do que seria caso o município não tivesse recebido o parque eólico. Em 2017, 29,54% maior; em 2018, 33,91% maior; e em 2019, 29,27% maior.

Também se observa efeitos dinâmicos no tratamento, onde a estimativa de Estudo de Evento retrata um efeito positivo de 15,40% no ano que o parque eólico começa a operar. Esse efeito positivo permanece no 1º, 2º e 4º anos após a entrada em operação, sendo maiores 22,38%, 22,10% e 21,34%, respectivamente, do que seriam caso os municípios não estivessem com seus parques de energia eólica instalados. Dessa forma, reporta-se que o efeito é crescente para os dois anos após o tratamento. Esse resultado também pode ser observado no gráfico de estudo de evento mostrado no Apêndice D.

Um problema potencial com as estimativas do efeito dinâmico é que a composição dos grupos muda de acordo com a exposição do tratamento. Essa mudança pode causar uma confusão dinâmica no tempo de tratamento entre os diferentes grupos. Para contornar esse problema, são apresentadas as estimativas com os grupos balanceados⁶. Pela Tabela 3 é possível notar um aumento de cerca de 15,40% no ano da instalação e 22,38% no ano seguinte sobre o PIB per capita para os municípios com pelo menos 1 ano de tratamento. Observa-se também que os efeitos sobre os municípios com pelo menos 2 anos no tratamento são crescentes quanto mais os municípios estão expostos, tendo efeitos nos períodos 0,1 e 2, de 13,77%, 19,96% e 22,10%, respectivamente. Quando analisamos os impactos para os municípios tratados por pelo menos 3 anos, nota-se que existem efeitos 1 e 2 anos após a implementação dos parques, sendo o efeito maior no primeiro ano, de 22,26%.

4.2.1 Efeitos sobre o PIB per capita na região Nordeste

Na Tabela 4 encontram-se as estimativas do efeito da implementação de usinas eólicas sobre o PIB per capita na região Nordeste. A estimativa da média ponderada simples, que capta os efeitos médios do tratamento indica um aumento de cerca de 22,01%, observando os efeitos de grupo esse percentual é ainda maior, 29,14%. As estimativas para os efeitos desagregados de grupo mostram efeitos para os municípios que entraram pela primeira vez no tratamento nos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017, nota-se uma diminuição da magnitude quanto menos os municípios estão expostos ao tratamento, tal que o efeito para os municípios que entraram no tratamento em 2014 é 51,42%, para os que entraram em 2015 esse aumento corresponde a 41,40%, no ano de 2016 em 36,86%, e em 2017 observa-se um acréscimo de 30,86%.

No que se refere às estimativas por ano (calendário), nota-se que os efeitos sobre o PIB per capita são sempre positivos, sendo o efeito total de 29,14%. Percebe-se ainda que o impacto sobre o PIB per capita aumenta de 17,04% em 2015 para 21,97% em 2016, depois para 34,55% em 2017 e 37,62% em 2018 e, a partir daí, o valor das estimativas decresce para 33,54% em 2019.

A partir do projeto Estudo de Evento, é possível captar os efeitos dinâmicos do tratamento. O efeito dinâmico agregado também evidencia um impacto positivo da instalação de usinas eólicas sobre o PIB per capita, entretanto, com uma magnitude relativamente menor (16,06%), quando comparado aos demais efeitos agregados. Constata-se um efeito no ano de implementação dos parques eólicos, representado por $e=0$, além disso, observa-se que o efeito permanece um ano, dois anos e quatro anos após o tratamento, indicando que o impacto provocado pela instalação de parques eólicos se estende para os anos posteriores, fato que também pode ser observado no gráfico exposto no Apêndice E. Pela magnitude das estimativas encontradas, verifica-se que o impacto destacado é maior um ano após o tratamento, mostrando que os

⁶ De acordo com Callaway e Sant’Anna (2021), quando se usa o estudo de eventos balanceado são incluídos apenas os grupos que são expostos ao tratamento por pelo menos um certo número de períodos de tempo, além de observar apenas os efeitos dinâmicos nesses períodos de tempo.

municípios que receberam as instalações eólicas, aumentaram em 27,43% o PIB per capita um ano após a implementação das usinas.

Em relação aos efeitos dinâmicos balanceados, observando aqueles municípios que receberam instalações eólicas a pelo menos 1, 2 e 3 anos, os efeitos agregados mostram um impacto em torno de 20%. Tais efeitos, são menores no ano do tratamento (0) e sua magnitude aumenta conforme aumenta o tempo exposição ao tratamento.

Tabela 4 - Estimativas do efeito do tratamento agregado do PIB per capita – Nordeste.

	Parcialmente agregado				Parâmetros únicos
Média Ponderada Simples					0,2201 (0,062)
Efeitos específicos do grupo	<u>g=2014</u> 0,5142 (0,1592)	<u>g=2015</u> 0,4140 (0,1211)	<u>g=2016</u> 0,3686 (0,1187)	<u>g=2017</u> 0,3086 (0,1169)	0,2914 (0,0576)
Efeitos de tempo/ Calendário	<u>t=2015</u> 0,1704 (0,0624)	<u>t=2016</u> 0,2197 (0,0703)	<u>t=2017</u> 0,3455 (0,0729)	<u>t=2018</u> 0,3762 (0,0648)	<u>t=2019</u> 0,3354 (0,0714)
Estudo de evento	<u>e=0</u> 0,1890 (0,0589)	<u>e=1</u> 0,2743 (0,0623)	<u>e=2</u> 0,2577 (0,0734)	<u>e=4</u> 0,2728 (0,0946)	0,1606 (0,0525)
Estudo de Evento com grupos balanceados					
i)	<u>e=0</u> 0,1890 (0,0587)	<u>e=1</u> 0,2743 (0,0682)			0,2316 (0,0533)
ii)	<u>e=0</u> 0,1704 (0,0548)	<u>e=1</u> 0,2460 (0,0622)	<u>e=2</u> 0,2577 (0,0709)		0,2247 (0,0526)
iii)	<u>e=0</u> 0,1364 (0,0529)	<u>e=1</u> 0,2149 (0,0651)	<u>e=2</u> 0,2725 (0,0826)		0,2184 (0,0758)

Fonte: Elaboração própria.

Notas: Significativo a 5%. Na estimação foram utilizadas além do peso da Entropia as seguintes covariadas: densidade populacional, velocidade dos ventos e tipologia municipal. Considera-se um efeito antecipatório de 2 anos, dada a construção do parque eólico. Na estatística referente ao Estudo de Evento balanceado, considera-se os municípios que foram expostos ao tratamento da seguinte forma: i) aqueles que são tratados a pelo menos 1 ano; ii) aqueles expostos ao tratamento a pelo menos dois anos e, iii) aqueles que possuem pelo menos 3 anos de tratamento.

Cabe destacar que os efeitos encontrados para a região Nordeste são maiores que os apresentados para o Brasil como um todo, indicando a importância desse segmento para o desenvolvimento econômico da região. Ademais, esses resultados positivos da implementação de usinas eólicas sobre o PIB per capita corroboram com os apresentados por Martini, Jordão e Grimaldi (2018) e Rodrigues et al. (2019).

4.2.2 Efeitos sobre o VAB da Indústria na região Nordeste

A avaliação de impacto da instalação de usinas eólicas sobre o VAB da Indústria no Nordeste, na Tabela 5, apresenta estimativas positivas e expressivas. Pelo efeito simples evidencia-se, que os municípios que receberam instalações eólicas aumentaram, em média, 88,77% o VAB da Indústria do que seria caso o município não tivesse recebido o parque eólico. Observando o efeito agregado geral, o coeficiente é ainda maior, representando um aumento de cerca de 105,35% no VAB da Indústria. Pelos efeitos no tempo calendário e dinâmico, os parâmetros únicos mostram um acréscimo de 59,87 e 66,47%, respectivamente, no VAB da Indústria nos municípios tratados.

Os parâmetros parcialmente agregados mostram impactos maiores que 100% no VAB da Indústria para os grupos de municípios que entraram no tratamento nos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017. Em relação aos efeitos no tempo, nota-se impactos nos anos de 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019, tal impacto é crescente até 2018. Em 2014 o acréscimo no VAB da Indústria corresponde a cerca de 50,47%, em 2018 o acréscimo na variável indicada é aproximadamente 126,50%, em 2019 esse aumento corresponde a 118,30%.

Tabela 5 - Estimativas do efeito do tratamento agregado do VAB da Indústria.

	Parcialmente agregado				Parâmetros únicos		
Média Ponderada Simples						0,8877 (0,1784)	
Efeitos específicos do grupo	$\underline{g=2014}$ 1,5265 (0,4517)	$\underline{g=2015}$ 1,5767 (0,4049)	$\underline{g=2016}$ 1,3084 (0,3936)	$\underline{g=2017}$ 1,0425 (0,3294)		1,0535 (0,1610)	
Efeitos de tempo/ Calendário	$\underline{t=2014}$ 0,5047 (0,1843)	$\underline{t=2015}$ 0,7325 (0,1956)	$\underline{t=2016}$ 0,7748 (0,2229)	$\underline{t=2017}$ 1,1509 (0,2054)	$\underline{t=2018}$ 1,2650 (0,2093)	$\underline{t=2019}$ 1,1830 (0,2067)	0,5987 (0,1352)
Estudo de evento	$\underline{e=0}$ 0,6642 (0,1578)	$\underline{e=1}$ 1,0486 (0,1791)	$\underline{e=2}$ 1,0697 (0,1837)	$\underline{e=3}$ 1,2192 (0,2141)	$\underline{e=4}$ 1,1313 (0,2650)	$\underline{e=5}$ 0,8591 (0,2853)	0,6647 (0,1654)
Estudo de Evento com grupos balanceados							
i)	$\underline{e=0}$ 0,6642 (0,1653)	$\underline{e=1}$ 1,0486 (0,1864)					0,8564 (0,1579)
ii)	$\underline{e=0}$ 0,6414 (0,1594)	$\underline{e=1}$ 1,0057 (0,1734)	$\underline{e=2}$ 1,0697 (0,1853)				0,9056 (0,1502)
iii)	$\underline{e=0}$ 0,5818 (0,1691)	$\underline{e=1}$ 0,9346 (0,1830)	$\underline{e=2}$ 1,1182 (0,2269)	$\underline{e=3}$ 1,2192 (0,2342)			0,9635 (0,1831)

Fonte: Elaboração própria.

Notas: Significativo a 5%. Na estimação foram utilizadas além do peso da Entropia as seguintes covariadas: densidade populacional e velocidade dos ventos. Considera-se um efeito antecipatório de 2 anos, dada a construção do parque eólico. Na estatística referente ao Estudo de Evento balanceado, considera-se os municípios que foram expostos ao tratamento da seguinte forma: i) aqueles que são tratados a pelo menos 1 ano; ii) aqueles expostos ao tratamento a pelo menos dois anos e, iii) aqueles que possuem pelo menos 3 anos de tratamento.

Os efeitos dinâmicos no tratamento evidenciam um impacto exatamente no ano da entrada em operação das usinas eólicas, também, mostra que esse impacto se estende para anos posteriores, onde exerce efeito até cinco anos após o tratamento. No gráfico de estudo de evento mostrado no Apêndice F, é possível visualizar esse comportamento, onde as linhas vermelhas representam os efeitos antes do tratamento, tais efeitos, como indica o gráfico, cobrem zero por todo o período de pré-tratamento. Os efeitos dinâmicos balanceados corroboram com os efeitos apresentados no Estudo de Evento.

4.3 Avaliação dos efeitos da implementação de usinas eólicas

Além da conciliação entre atividade produtiva e a preservação do meio ambiente, a grande tecnologia envolvida na geração de energia eólica é capaz de ultrapassar o campo ambiental e avançar no sentido socioeconômico, gerando benefícios para as populações afetadas. Assim, para uma melhor compreensão dos efeitos gerados pela instalação de usinas eólicas, faz-se necessário analisar alguns fatores que podem explicar os resultados encontrados.

Oliveira et al. (2020) assumem que os investimentos realizados no setor eólico afetam diretamente o segmento de máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos e o segmento de construção. Os autores destacam que a expansão do setor eólico brasileiro implicou ganho de valor na economia das Regiões Nordeste e Sul, chegando a 66,95 bilhões nos dois setores analisados. Fator que influencia não somente nos setores de máquinas e equipamentos e da construção, mas também toda a economia local.

Existe um entendimento por trás disso, uma vez que a expansão de investimentos no setor eólico aumenta a demanda nos setores de máquinas e equipamentos e da construção, exercendo efeito direto. Frente a isso, há um aumento na produção de outros segmentos para atender a demanda inicial gerada pelos recursos alocados. Dessa forma, existe um efeito indireto ocasionado pelo aumento do consumo dos insumos necessários para atender a maior demanda dos setores diretamente afetados (OLIVEIRA et al., 2020).

O choque inicial provocado pelo aumento nos investimentos no setor de energia eólica exerce impacto sobre os rendimentos do trabalho, ou seja, sobre empregos e salários, consequentemente, sobre o consumo das famílias (efeito renda) em função da aceleração econômica. Simas e Pacca (2013) destaca que no setor eólico mais de 74% dos empregos são gerados na fase de construção e operação, provocando alto índice de emprego local e trazendo benefícios sociais e econômicos aos locais de instalação. Em

concordância, Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020), através de uma análise empírica, encontram que os parques eólicos aumentam o emprego na indústria, agricultura e construção, acentuando os salários em todos os setores econômicos. Nesse estudo, as variáveis referentes ao mercado de trabalho não foram capazes de captar os efeitos sobre esse segmento, isso pode estar associado à não desagregação das variáveis por setores econômicos como fizeram Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020).

O VAB da Indústria, bem como o PIB per capita dos municípios com instalações eólicas responderam positivamente à implementação de usinas eólicas, assim, pode-se dizer que o efeito indireto exercido sobre elas é ocasionado pela influência dos parques eólicos instalados, já que o incremento no consumo em razão da renda favorece o dinamismo local. Os resultados para o PIB per capita corroboram com a literatura; Martini, Jordão e Grimaldi (2018) e Rodrigues et al., (2019) também encontram efeitos positivos sobre esse indicador. Comportamento divergente é observado para o VAB da Indústria, pois Rodrigues et. al. (2019) encontram efeito negativo sobre essa variável.

Os investimentos realizados no setor eólico brasileiro no período de 2011 a 2019 foram capazes de expandir a produção nas Regiões Nordeste e Sul, aproximadamente 262 bilhões de reais, gerando, em média, mais de 498 mil empregos por ano, e 45,2 bilhões de reais em massa salarial. Além disso, foram arrecadados R\$ 1,9 bilhão em IPI (OLIVEIRA et. al, 2020). A partir dos resultados apresentados, não foi possível notar esse tipo de influência destacado por Oliveira et al., (2020) exercido pelo setor de energia eólica nas receitas e arrecadação de impostos nos municípios, pela violação da suposição de tendências paralelas.

Com o argumento de que o setor eólico deve ser mais competitivo, existem no Brasil algumas políticas de incentivo para a geração de energias renováveis. Dentre as quais estão a Lei nº 11.488/2007 e o Decreto nº 6.144/2007 (Regime Especial para o Desenvolvimento da Infraestrutura, criado com o objetivo de desenvolver a infraestrutura do país, desonera o PIS/COFINS incidente sobre a importação direta e na compra de máquinas, aparelhos e equipamentos incorporados em obras de infraestrutura destinadas ao ativo imobilizado); Decreto nº 8950/2016 (Tabela do IPI: reduz a zero o IPI sobre equipamentos e componentes utilizados em aerogeradores). Destaca-se, no entanto, que existem efeitos diretos e indiretos gerados pelo setor eólico, e mesmo que os efeitos diretos sejam mitigados pelos incentivos fiscais concedidos para a geração de energias limpas e renováveis, os efeitos indiretos provocados pelos altos investimentos no setor ainda permanecem.

5. Conclusões

A discussão acerca da importância da energia eólica na matriz elétrica dos países é capaz de ultrapassar o campo ambiental e avançar no sentido socioeconômico, gerando benefícios para as populações afetadas. Assim, a literatura nacional e internacional evidencia efeitos positivos sobre melhorias no PIB, na massa salarial, dentre outros indicadores, mostrando que existe uma associação positiva entre a construção e a operação de usinas eólicas nos municípios.

Diante disso, o objetivo dessa pesquisa foi analisar os efeitos da implementação de usinas eólicas nos municípios brasileiros, a fim de identificar se a instalação de usinas eólicas nos municípios impacta indicadores econômicos (PIB, VAB e suas desagregações), fiscais (Receitas e Impostos) e do mercado de trabalho.

O período de análise compreendeu os anos de 2004 a 2019, considerando como tratados os municípios que receberam instalações eólicas a partir de 2009. Para alcançar o objetivo proposto, utilizou-se de um modelo de diferenças em diferenças com múltiplos períodos de tempo, abordado por Callaway e Sant'Anna (2021), uma vez que quando o município entra no tratamento ele permanece exposto por todo o período subsequente.

Após a verificação de validade da suposição de tendências paralelas, os resultados mostraram que existem evidências segundo as quais a instalação de usinas eólicas provoca impactos positivos no PIB per capita no Brasil (24,98%) apresentando efeito significativo nos municípios tratados. Comportamento semelhante é observado regionalmente quando verifica-se que os municípios da região Nordeste que possuem instalações eólicas aumentaram o PIB per capita em cerca de 29,14% em comparação com os municípios não beneficiados com a política. Os efeitos dinâmicos do tratamento sobre o PIB per capita

apontam um efeito imediato desde o início da operação das usinas eólicas, tal efeito permanece no 1º, 2º e 4º anos após o tratamento.

Também podem ser observado efeitos significativos e expressivos da implementação de parques eólicos sobre o VAB da Indústria. Pelo efeito tempo/calendário estima-se um acréscimo de 60% para os municípios tratados. Em termos de duração do efeito, pelo estudo de evento o impacto começa no início da operação e se estende para cinco anos após o início da operação das usinas.

Essa pesquisa contribui com a literatura dos impactos da energia eólica, abrindo mais um questionamento sobre as externalidades advindas desse setor. Os resultados apresentados podem ser úteis para informar aos formuladores de políticas os efeitos gerados pela energia dos ventos nos municípios e sua importância econômica regional, ajudando a definir a alocação de investimentos para a geração de energia eólica. Destaca-se que pesquisas futuras podem focalizar nos incentivos fiscais e políticas de incentivo para geração de energia eólica, como uma maneira de explicar o desenvolvimento do setor ao longo dos anos.

Referências

- ABADIE, A. Semiparametric difference-in-difference estimators. **The Review of Economic Studies**, v. 72, n.1, p. 1-19, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. ABEEOLICA. **Boletim anual de geração eólica 2019**. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/06/PT_Boletim-Anual-de-Gera%C3%A7%C3%A3o-2019.pdf. Acesso em: 10 set. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3 ed. Brasília, 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL - SIGA**. Disponível em: <https://bit.ly/2IGf4Q0>. Acesso em: 18 ago. 2020.
- ATHEY, S.; IMBENS, G. W. Identification and inference in nonlinear difference in differences models. **Econometrica**, v. 74, n. 2, p. 431-497, 2006.
- BROWN, J. P.; PENDER, J.; WISER, R.; LANTZ, E.; HOEN, B. Ex post analysis of economic impacts from wind power development in US counties. **Energy Economics**, v. 34, n. 6, p. 1743-1754, 2012.
- CALLAWAY, B; SANT'ANNA, P.H.C. Difference-in-differences with multiple time periods. **Journal of Econometrics**, v. 225, n. 2, p. 200-230, 2021.
- CASTRO, R. M. **Introdução à Energia Eólica: Energias Renováveis e Produção** Descentralizada. 3 ed. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico, 2009.
- COSTA, R. A; CASOTTI, B.P; AZEVEDO, R. L. S. **Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica**. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, p. 229-278. n. 29, 2009.
- EJDEMO, T; SÖDERHOLM, P. Wind power, regional development and benefit-sharing: The case of Northern Sweden. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 476-485, 2015.
- GONÇALVES, S; RODRIGUES, T. P.; CHAGAS, A. L. S. The impact of wind power on the Brazilian labor market. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 128, p. 109887, 2020.
- HAINMUELLER, J. Entropy Balancing for Causal Effects: A Multivariate Reweighting Method to Produce Balanced Samples in Observational Studies. **Political Analysis**, v. 20, n.1, p. 25-46, 2012.
- HECKMAN, J. J.; ICHIMURA, H.; SMITH, J.; TODD, P. Characterizing selection bias using experimental data, **Econometrica**, v. 66, n. 5, p. 1017-1098, 1998.
- HECKMAN, J. J.; ICHIMURA, H.; TODD, P. Matching as an econometric evaluation estimator: Evidence from evaluating a job training programme. **The Review of Economic Studies**, v. 64, n. 4, p. 605-654, 1997.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. IEA. Saldos e Estatísticas Globais. Disponível em: <https://www.iea.org/statistics/balances>. Acesso: 11 ago. 2020.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. IEA. Renewables Information: Overview. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-information-overview>. Acesso: 11 ago. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. IEA. World Energy Balances: Overview. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>. Acesso: 11 ago. 2020.

MARTINI, R.A.; JORDÃO, M.F.; GRIMALDI, D.S. Avaliação de efeitos locais da construção de usinas eólicas nos municípios brasileiros: uma abordagem por controle sintético. In: 46, ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA. 2018. Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro: Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia - ANPEC, 2018.

MAURITZEN, J. Will the locals benefit? The effect of wind power investments on rural wages. **Energy Policy**, v. 142, p.111489, 2020.

MONTEZANO, B. E. M. **Estratégias para identificação de sítios eólicos promissores usando sistema de informação geográfica e algoritmos evolutivos**. 2012. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

OLIVEIRA, G.; CURI, A. Z.; FELINE, P. S.; FICARELLI, T. R. A. **Impactos socioeconômicos e ambientais da geração de energia eólica no Brasil**. GO associados. ABEEólica. São Paulo. 2020. Disponível em: https://epbr.com.br/wp-content/uploads/2021/02/ABEEolica_GO-Associados-V.-Final.pdf. Acesso: jul. 2021.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. REN 21. Energias Renováveis 2016: relatório da situação mundial. Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21_GSR2016_KeyFindings_port_02.pdf. Acesso: 11 ago. 2020.

RINTZEL, L.T. **Análise dos impactos econômicos decorrentes da instalação dos parques eólicos nos municípios brasileiros**. 2017. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Economia), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2017.

RODRIGUES, T. A. P.; GONÇALVES, S. L.; CHAGAS, A. S. Wind power and the labor market in the Brazilian Northeast: a spatial propensity score matching approach. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 13, n. 3, p. 357-378, 2019.

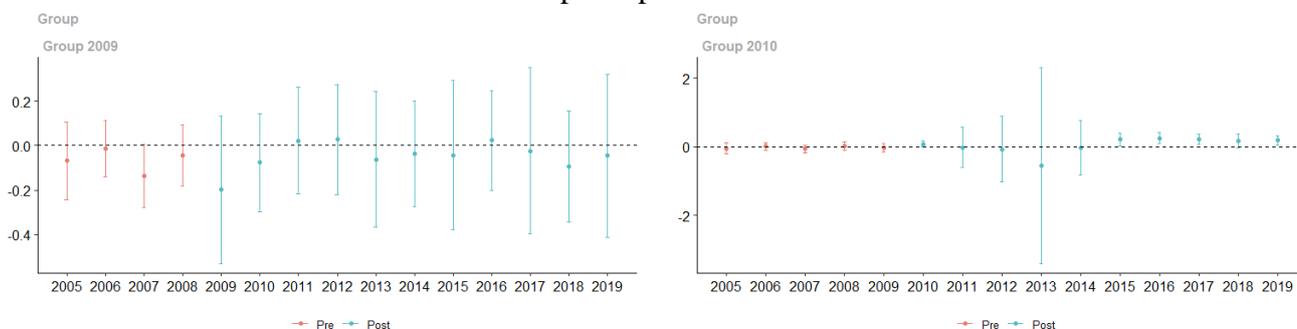
RODRIGUES, R. A.; COSTA, E. M.; IRFFI, G.; PIRES, J. N. R. Efeitos da Construção de Parques Eólicos sobre indicadores econômicos e fiscais dos municípios brasileiros. In: 34, Encontro Regional Nordeste de Economia, 19. 2019. Fortaleza, Ceará. **Anais [...]** Fortaleza: Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia – ANPEC, 2019.

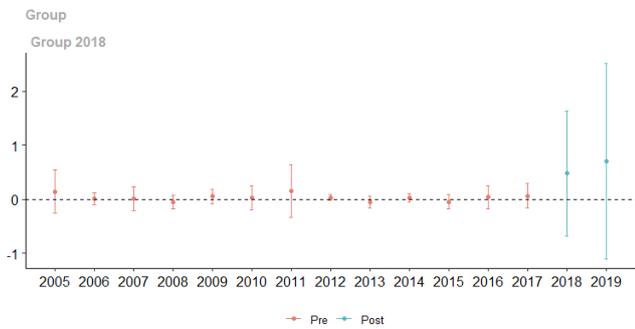
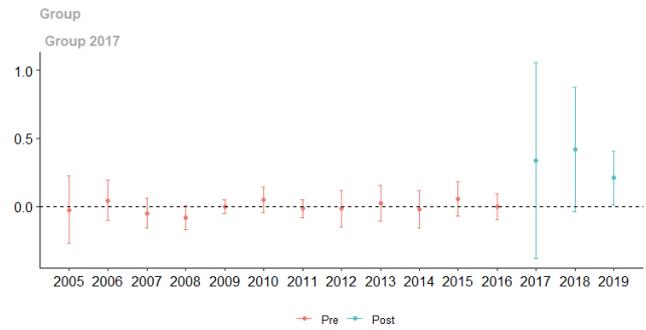
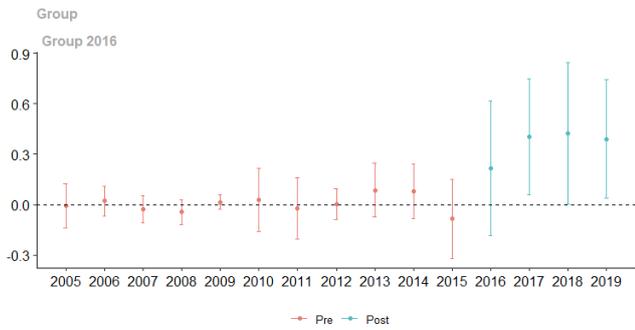
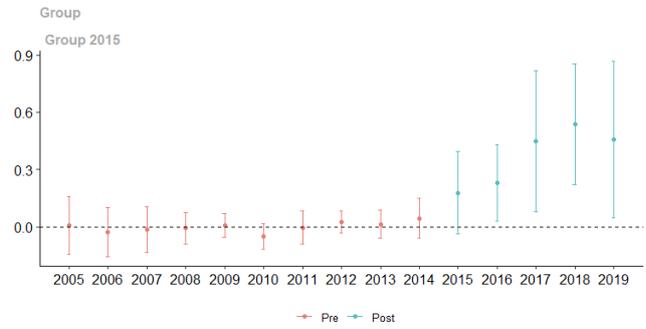
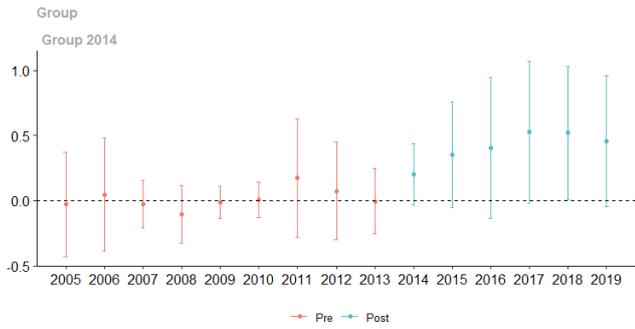
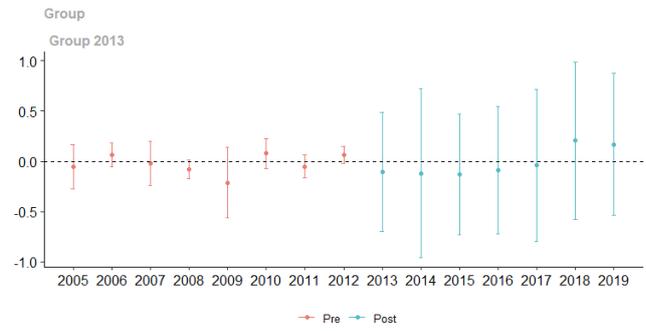
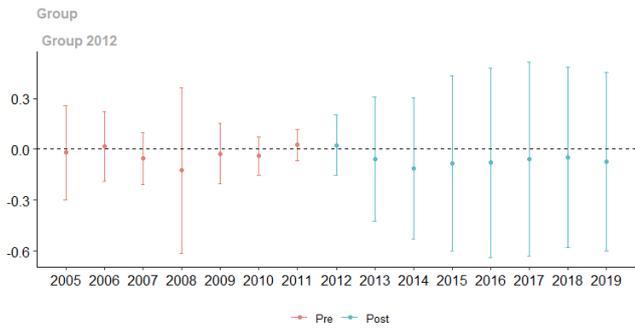
SIMAS, M. S. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada**. 2012. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Energia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. UNFCCC. Adoption of the Paris Agreement, 2015. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>. Acesso em: 07 set. 2020.

XIA, F; SONG, F. Evaluating the economic impact of wind power development on local economies in China. **Energy Policy**, v. 110, p. 263-270, 2017.

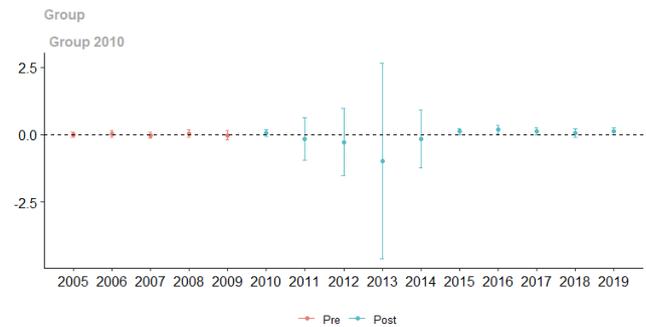
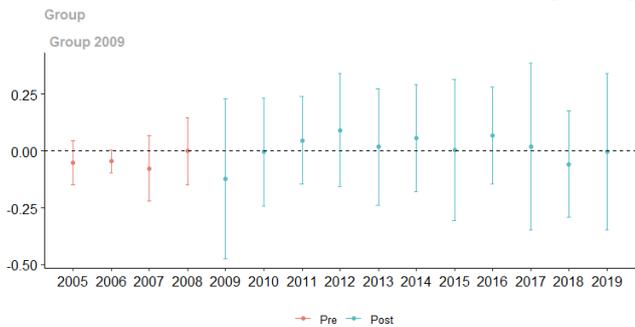
APÊNDICE A - Tendências Paralelas - PIB per capita – Brasil.

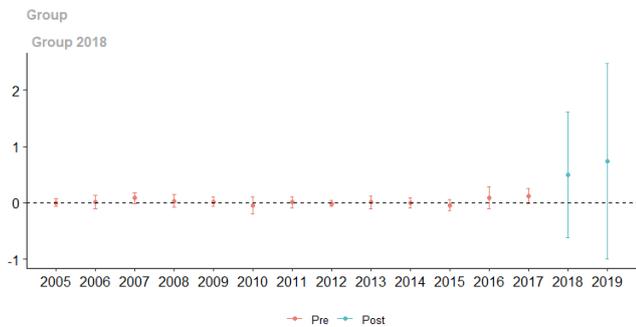
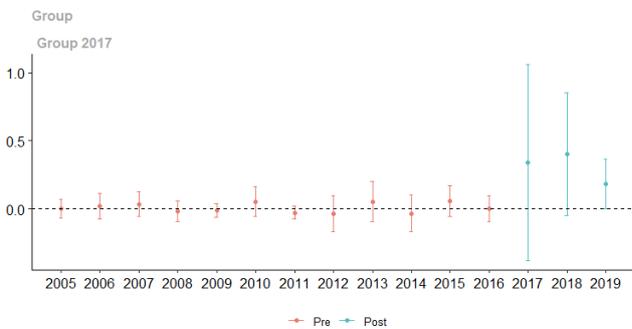
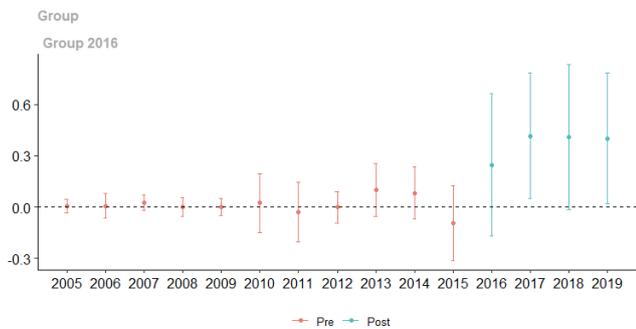
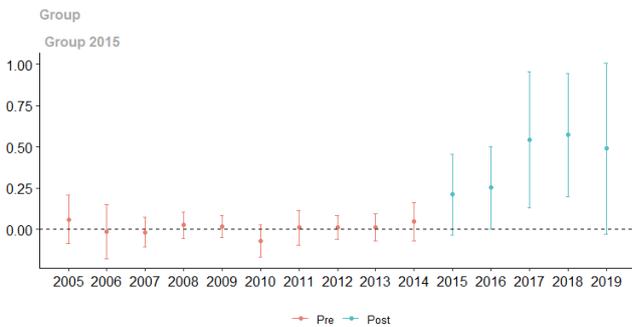
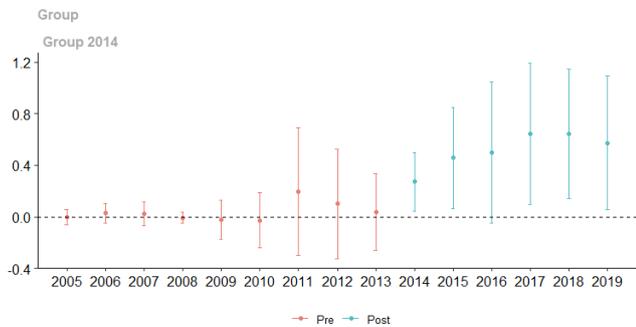
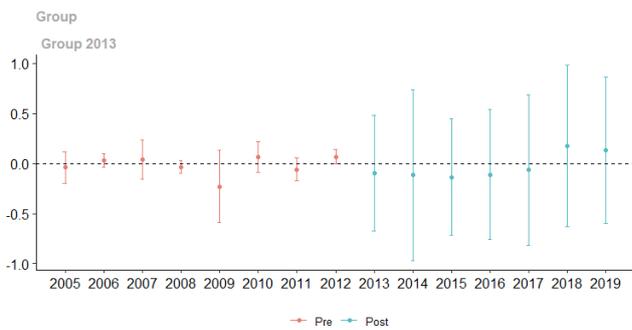
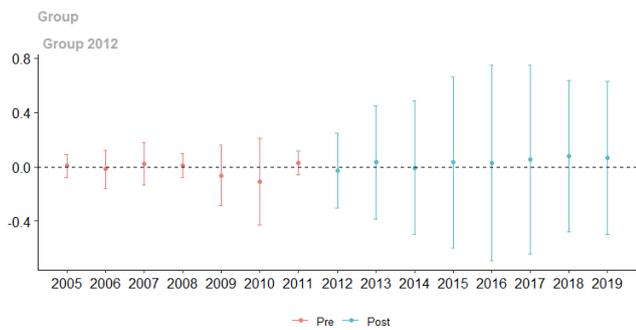




Fonte: Elaboração própria.

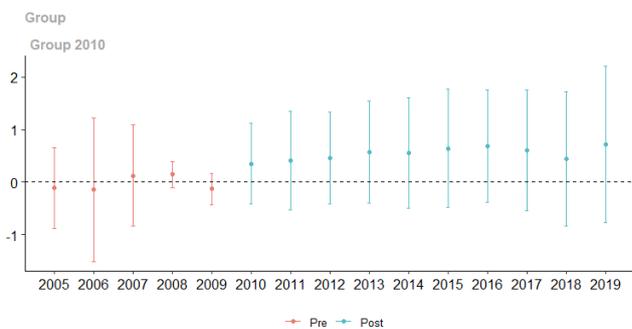
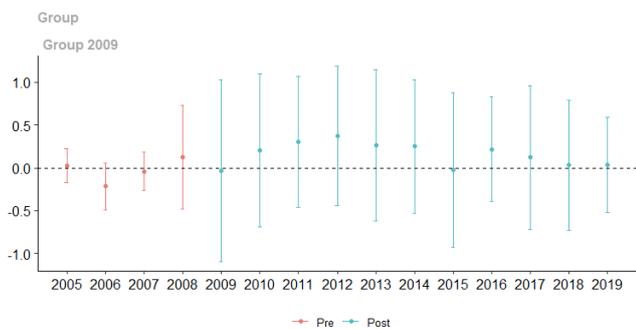
APÊNDICE B - Tendências Paralelas - PIB per capita – Nordeste.

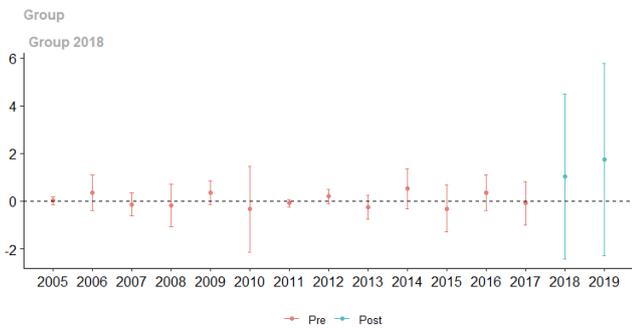
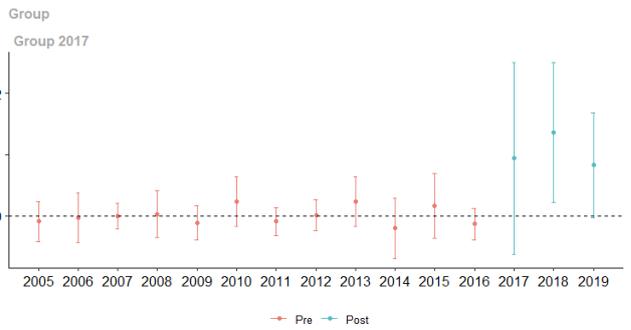
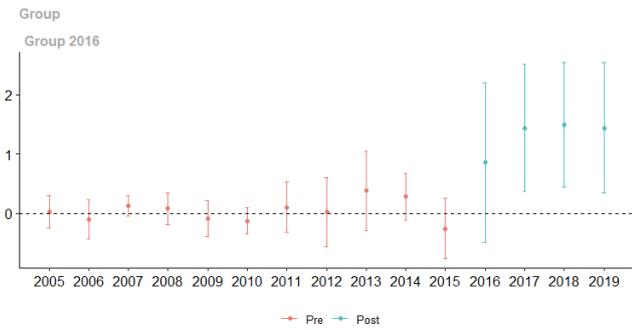
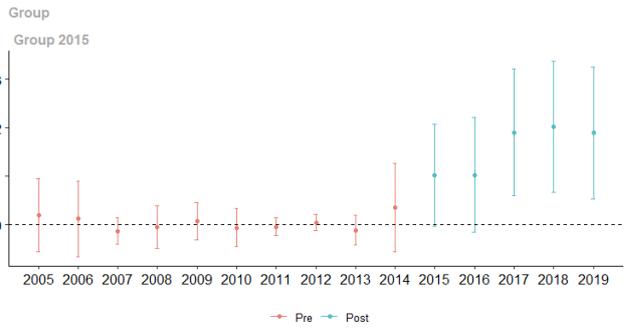
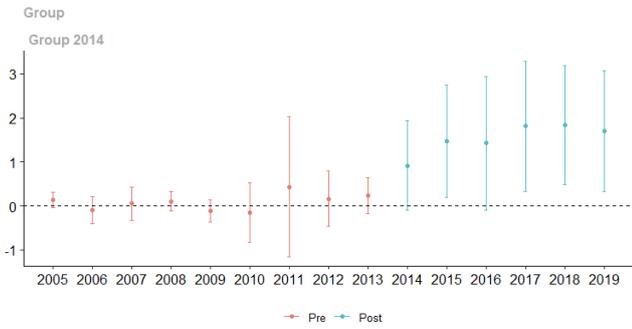
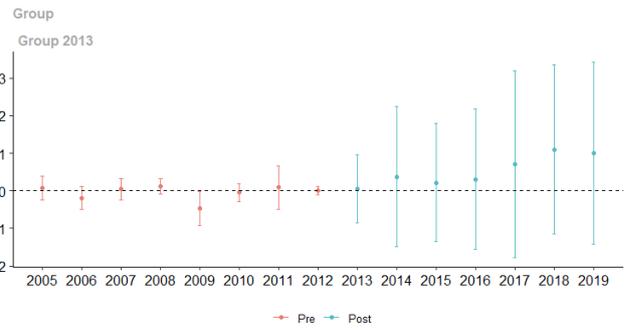
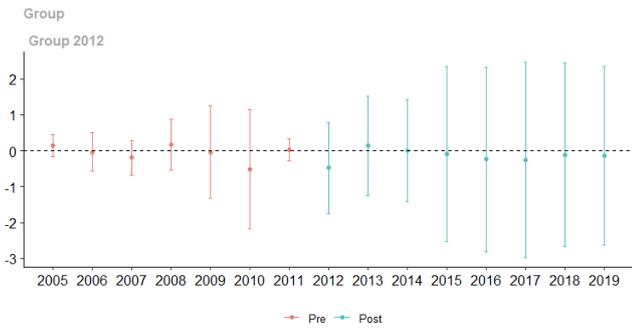




Fonte: Elaboração própria.

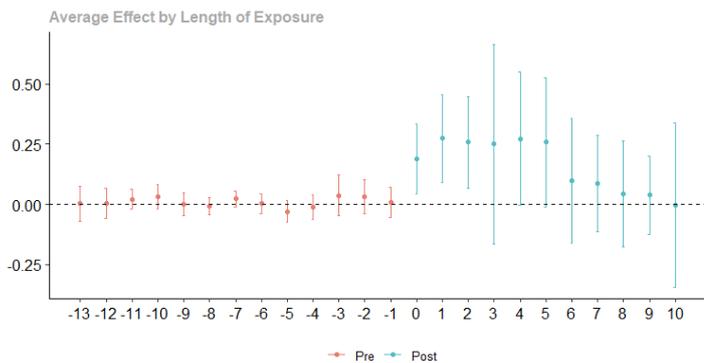
APÊNDICE C - Tendências Paralelas - VAB da Indústria – Nordeste.





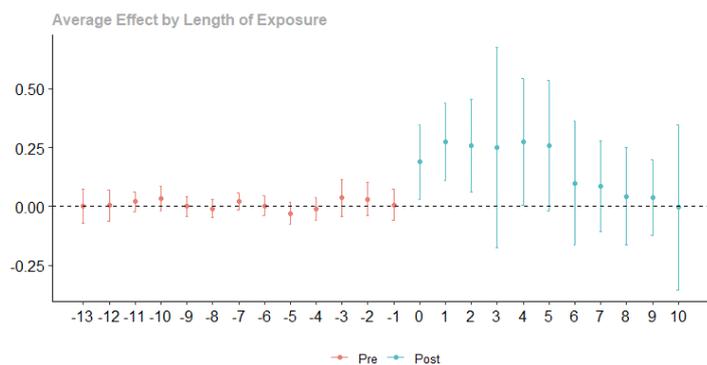
Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE D – Efeito dinâmico do tratamento sobre o PIB per capita (Brasil).



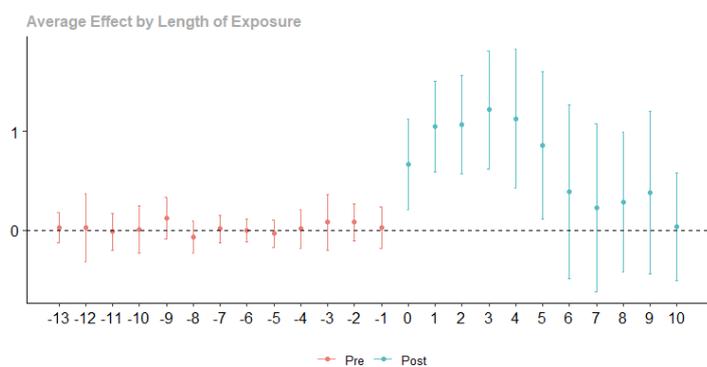
Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE E – Efeito dinâmico do tratamento sobre o PIB per capita (Nordeste).



Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE F – Efeito dinâmico do tratamento sobre o VAB da Indústria (Nordeste).



Fonte: Elaboração própria.