

IMPACTOS ECONÔMICOS DOS PARQUES EÓLICOS: ANÁLISE AGREGADA PARA O NORDESTE E UM OLHAR PARA O CEARÁ

Área 1 – Macroeconomia e Economia Setorial

Pedro Alexandre Santos Veloso (CAEN/UFC): p.veloso@caen.ufc.br (85) 98830-8046

Edward Martins Costa (PPGER/UFC): edwardcosta@ufc.br

Diego Rafael Fonseca Carneiro (CAEN/UFC): dr.carn@caen.ufc.br

Guilherme Diniz Irffi (CAEN/UFC): irffi@caen.ufc.br

Erivelton de Souza Nunes (CGPR/UFC): erivelton.souza.n@gmail.com

RESUMO

A energia eólica se destaca como uma das principais fontes renováveis, com o Brasil sendo um dos seis maiores países em capacidade instalada onshore em 2023. Ela representa 13,2% da matriz energética nacional e fornece 20% da energia necessária. A região Nordeste é a principal produtora, concentrando 91,52% do potencial eólico nacional e atingindo recordes de produção em 2023. O estado do Ceará se insere nesse contexto como uma potência energética emergente no setor. Portanto, o objetivo deste estudo é mensurar e analisar os impactos causais da implantação de parques eólicos nos municípios do Nordeste do Brasil, assim como no Ceará, sobre indicadores econômicos, como o PIB *per capita* e o Valor Adicionado Bruto (VAB) nos setores agrícola, de serviços e industrial municipal. Para isso, foi utilizada uma amostra de dados que abrange o período de 1999 a 2021, aplicando-se o modelo de Diferenças em Diferenças (DiD) escalonado proposto por Callaway e Santanna (2021). Os resultados para o Nordeste e para o Ceará indicam que a instalação de parques eólicos aumentou significativamente o PIB *per capita* e o VAB dos setores industrial e de serviços. No entanto, o setor agropecuário pode ter sofrido impactos negativos temporários durante a construção em alguns estados, que se dissiparam após a conclusão dos parques. Esse último fenômeno não foi constatado para o caso cearense.

Palavras-Chave: Energia Eólica. Nordeste. DiD. PIB. VAB.

ABSTRACT

Wind energy stands out as one of the main renewable sources, with Brazil being one of the six largest countries in onshore installed capacity in 2023. It represents 13.2% of the national energy matrix and supplies 20% of the required energy. The Northeast region is the main producer, concentrating 91.52% of the national wind potential and reaching production records in 2023. The state of Ceará is part of this context as an emerging energy power in the sector. Therefore, the objective of this study is to measure and analyze the causal impacts of the implementation of wind farms in municipalities in the Northeast of Brazil, as well as in Ceará, on economic indicators such as per capita GDP and Gross Added Value (GAV) in the agricultural, services, and industrial sectors at the municipal level. For this, a data sample covering the period from 1999 to 2021 was used, applying the staggered Differences-in-Differences (DiD) model proposed by Callaway and Santanna (2021). The results for both the Northeast and Ceará indicate that the installation of wind farms significantly increased per capita GDP and GAV in the industrial and services sectors. However, the agricultural sector may have suffered temporary negative impacts during construction in some states, which dissipated after the parks were completed. This latter phenomenon was not observed in the case of Ceará.

Keywords: Wind Energy. Northeast. DiD. GDP. GVA.

Jel Codes: C14. C21. C23. R11. O13.

IMPACTOS ECONÔMICOS DOS PARQUES EÓLICOS: ANÁLISE AGREGADA PARA O NORDESTE E UM OLHAR PARA O CEARÁ

RESUMO

A energia eólica se destaca como uma das principais fontes renováveis, com o Brasil sendo um dos seis maiores países em capacidade instalada onshore em 2023. Ela representa 13,2% da matriz energética nacional e fornece 20% da energia necessária. A região Nordeste é a principal produtora, concentrando 91,52% do potencial eólico nacional e atingindo recordes de produção em 2023. O estado do Ceará se insere nesse contexto como uma potência energética emergente no setor. Portanto, o objetivo deste estudo é mensurar e analisar os impactos causais da implantação de parques eólicos nos municípios do Nordeste do Brasil, assim como no Ceará, sobre indicadores econômicos, como o PIB *per capita* e o Valor Adicionado Bruto (VAB) nos setores agrícola, de serviços e industrial municipal. Para isso, foi utilizada uma amostra de dados que abrange o período de 1999 a 2021, aplicando-se o modelo de Diferenças em Diferenças (DiD) escalonado proposto por Callaway e Santanna (2021). Os resultados para o Nordeste e para o Ceará indicam que a instalação de parques eólicos aumentou significativamente o PIB *per capita* e o VAB dos setores industrial e de serviços. No entanto, o setor agropecuário pode ter sofrido impactos negativos temporários durante a construção em alguns estados, que se dissiparam após a conclusão dos parques. Esse último fenômeno não foi constatado para o caso cearense.

Palavras-Chave: Energia Eólica. Nordeste. DiD. PIB. VAB.

ABSTRACT

Wind energy stands out as one of the main renewable sources, with Brazil being one of the six largest countries in onshore installed capacity in 2023. It represents 13.2% of the national energy matrix and supplies 20% of the required energy. The Northeast region is the main producer, concentrating 91.52% of the national wind potential and reaching production records in 2023. The state of Ceará is part of this context as an emerging energy power in the sector. Therefore, the objective of this study is to measure and analyze the causal impacts of the implementation of wind farms in municipalities in the Northeast of Brazil, as well as in Ceará, on economic indicators such as per capita GDP and Gross Added Value (GAV) in the agricultural, services, and industrial sectors at the municipal level. For this, a data sample covering the period from 1999 to 2021 was used, applying the staggered Differences-in-Differences (DiD) model proposed by Callaway and Santanna (2021). The results for both the Northeast and Ceará indicate that the installation of wind farms significantly increased per capita GDP and GAV in the industrial and services sectors. However, the agricultural sector may have suffered temporary negative impacts during construction in some states, which dissipated after the parks were completed. This latter phenomenon was not observed in the case of Ceará.

Keywords: Wind Energy. Northeast. DiD. GDP. GVA.

Jel Codes: C14. C21. C23. R11. O13.

1 INTRODUÇÃO

A energia eólica é uma das principais fontes de energia renovável, destacando-se pelo alto rendimento obtido com os recursos e tecnologias disponíveis. Em 2023, a capacidade mundial instalada de energia eólica aumentou em 117 GW, resultando em um crescimento de cerca de 13% na capacidade eólica cumulativa global, em relação à 2022, ultrapassando o marco de 1 TW (Global Wind Report, 2024).

O Brasil ocupa papel de destaque no cenário global de produção de energia eólica. Em 2023, figurou entre os seis principais¹ países em capacidade instalada *onshore*², com 30,45 gigawatts. Até junho de 2024, a capacidade instalada já havia aumentado em 4,8 GW, sendo que o setor passou a contar com mais de 1.000 parques eólicos em operação (Global Wind Report, 2024). Ao mesmo tempo, a Agência Brasil (2024)³ informou que a energia eólica alcançou uma participação de 13,2% na matriz energética nacional, correspondendo a 20% da geração de energia necessária.

A produção de energias renováveis, a exemplo da energia eólica, pode oferecer diversos benefícios econômicos, como a possibilidade de desenvolvimento local e regional. Áreas rurais, muitas vezes marcadas por desemprego elevado e baixa atividade econômica, podem se beneficiar desses projetos, que demandam mão de obra local, principalmente durante a fase de construção (Simas, 2012; BNDES, 2019). Esses projetos promovem capacitação, geram empregos, aumentam a renda e contribuem para a arrecadação fiscal.

Em termos regionais, de acordo com o Relatório Anual do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2023), a região Nordeste se destaca por deter 91,52% do potencial eólico do país, com um aumento significativo na instalação de novas usinas nos últimos anos. Em 2023, a região obteve recordes na geração de energia eólica, com destaque para o mês de julho, em que a produção de energia eólica atingiu 18,40 GW, representando cerca de 149,1% da demanda do subsistema.

Ao se considerar os estados nordestinos, o Ceará se destaca como um polo energético emergente. O estado possui 172 empreendimentos de geração de energia, dos quais 58,14% estão em operação, 1,74% em construção e 40,12% com construção não iniciada. Em outubro de 2024, a geração de energia foi de aproximadamente 2,58 GW, representando 8,56% da produção total da região Nordeste, de acordo com os dados do Sistema de Informações sobre Geração de Energia Elétrica (SIGAA) da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Isso faz do estado o quarto maior no Brasil em geração de energia eólica.

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo mensurar os efeitos causais da construção e instalação de parques eólicos nos municípios da região Nordeste, com uma análise específica dos efeitos heterogêneos para o Estado do Ceará. A pesquisa avalia o impacto dos parques eólicos sobre indicadores de atividade econômica, como o PIB per capita e o Valor Adicionado Bruto (VAB) dos setores de agricultura, serviços e indústria municipal. A análise considera que os efeitos sobre a economia são gerados antes do início de operação dos parques, ou seja, quando a vigência de outorga ou o início da construção dos parques ocorrem.

Existem outros estudos que também analisaram o impacto causal da presença de parques eólicos em municípios do Nordeste sobre indicadores econômicos, como Rodrigues et al. (2019), Sampaio (2022) e Sampaio, Costa e Irfi (2023). No entanto, o presente estudo se diferencia metodologicamente ao utilizar o ano da vigência de outorga, uma das etapas iniciais de autorização para a construção, e o ano do início da construção do parque eólico como intervenções causais. Além disso, utilizou-se um período de análise mais abrangente (2001 a 2022). Assim, esses dois aspectos (a vigência da outorga e o ano de início da construção) juntamente com um período mais extenso, elevam a precisão da mensuração do impacto causal dos parques eólicos sobre os indicadores econômicos considerados.

Este artigo contribui para a literatura não apenas ao mensurar e analisar os efeitos causais da construção e operação de parques eólicos nos municípios do Nordeste, mas também ao considerar os efeitos

¹ O principal é a China, seguida dos EUA, Alemanha, Índia e Espanha.

² Em novembro de 2023, a Câmara dos Deputados aprovou o marco legal que regulamenta a geração de energia offshore, através do Projeto de Lei nº 11.247, de 2018.

³ Para maiores detalhes, ver: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-04/capacidade-de-geracao-de-energia-eolica-deve-bater-recorde-neste-ano>

heterogêneos dos parques instalados no Ceará. A análise abrange indicadores econômicos como o PIB per capita e o Valor Adicionado Bruto (VAB) nos setores de indústria, serviços e agropecuária. Utiliza a metodologia de Diferenças em Diferenças (DiD) proposta por Callaway e Sant'Anna (2021). Assim, foi possível captar o efeito para o conjunto total de parques eólicos instalados e em construção entre 2001 e 2022.

Além dessa introdução, o estudo é composto por mais quatro seções. Na segunda seção, apresenta-se uma revisão de literatura relativa aos efeitos da implementação da energia eólica sobre indicadores econômicos. A terceira seção mostra a base de dados e estratégia empírica utilizada na pesquisa. Na seção seguinte, são apresentadas as estatísticas descritivas, os efeitos da construção e operação dos parques eólicos e a análise de robustez. Por fim, expõem-se as considerações finais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A implementação de iniciativas de energias renováveis, como a eólica, representa uma fonte de geração de empregos e uma opção de desenvolvimento em regiões agrícolas, com potencial para impulsionar o desenvolvimento socioeconômico de áreas rurais (Río e Burguillo, 2008). Apesar dos desafios do setor em relação à infraestrutura de transmissão deficientes (Diógenes et al., 2020), a literatura destaca que a energia eólica oferece benefícios econômicos significativos no Brasil e no mundo.

A literatura internacional aborda os efeitos econômicos do setor eólico. Em um estudo para a União Europeia, Blanco e Kjaer (2009) encontraram que, além dos efeitos no mercado de trabalho, há também desenvolvimento industrial, pois, o setor promove o desenvolvimento de novas tecnologias e sua exportação, impulsionando a competitividade no mercado global. Bianchini et al. (2019) examinam o impacto da energia eólica no emprego e no desenvolvimento regional em países europeus, encontrando impactos positivos significativos. Especificamente, as regiões que investem nessa fonte de energia frequentemente recebem melhorias na infraestrutura e geram demanda por trabalhadores qualificados, impulsionando o crescimento econômico regional ao atrair investimentos e aumentar a atividade local.

Nesse contexto, Dvořák et al. (2017), Hondo e Moriizumi (2017) e Moreno e López (2008) examinaram o setor de energia eólica em relação à criação de empregos e seus demais impactos, na República Checa, no Japão e para a região espanhola de Astúrias, respectivamente. Identificaram que, além da criação de novos vínculos, há desenvolvimento da infraestrutura, crescimento do PIB regional e aumento da atividade econômica na região.

Brown, Pender, Wiser, Lantz e Hoen (2012) realizam uma análise *ex post* do impacto da energia eólica em condados dos Estados Unidos, utilizando um modelo de Diferença em Diferenças. Os resultados indicaram que o desenvolvimento da energia eólica gerou impactos econômicos positivos e significativos. Especificamente, a instalação de parques eólicos está associada ao aumento da renda *per capita*, das receitas fiscais, de empregos e de valor agregado das propriedades.

Na literatura nacional, em regiões semiáridas, por exemplo, os poços abertos para a construção das torres eólicas são posteriormente utilizados pela população local (Simas e Pacca, 2013). Munday et al. (2011) fornecem uma análise detalhada dos benefícios dos parques eólicos em áreas rurais e suas implicações para o desenvolvimento econômico local, especialmente em relação à renda *per capita* e às oportunidades de desenvolvimento econômico.

Em relação aos impactos nos municípios com essas instalações, Simas e Pacca (2013); Aldieri, Grafström, Sundström e Vinci (2019); Rodrigues, Costa e Irffi (2019); Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020); Sampaio (2022) e Sampaio, Costa e Irffi (2023) examinam a relação entre a energia eólica e a criação de empregos, destacando os benefícios socioeconômicos dessa fonte de energia. Em geral, os autores encontraram que a instalação de parques eólicos têm um impacto positivo na criação de empregos diretos e indiretos nos municípios.

Em relação aos efeitos sobre a atividade econômica, desenvolvimento local, infraestrutura e desenvolvimento econômico, a literatura apresenta alguns estudos relevantes. Aldieri, Grafström, Sundström e Vinci (2019) observam que as regiões onde os parques eólicos são instalados frequentemente experimentam crescimento econômico local, impulsionado pelo aumento da atividade econômica e pelo

desenvolvimento de infraestrutura. Esses fatores ajudam a reduzir as disparidades regionais, proporcionando uma maior geração de empregos em áreas rurais e menos desenvolvidas.

Nesse mesmo contexto, Simas e Pacca (2013) apontam que a instalação de parques eólicos em áreas rurais e menos desenvolvidas promove o desenvolvimento local, melhorando a infraestrutura e criando uma cadeia econômica a partir das oportunidades de emprego. De forma semelhante, Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020) mostraram que os investimentos no setor eólico têm influenciado o desenvolvimento econômico, tanto em níveis regionais quanto nacionais. Esses investimentos resultam em aumentos na renda *per capita*, taxas de emprego, Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e melhorias na infraestrutura local, promovendo o desenvolvimento em regiões com menos oportunidades econômicas.

Em relação aos indicadores econômicos, Sampaio (2022) identificou impactos positivos no PIB *per capita*, no VAB da indústria, nas receitas fiscais municipais e na arrecadação tributária, além de um leve incremento no mercado de trabalho local, representado pela massa salarial *per capita*. Ademais, Sampaio, Costa e Irffi (2023) também apontam que a implementação de parques eólicos têm impactos positivos significativos em diversas variáveis econômicas, como a renda *per capita*, a criação de empregos diretos e indiretos, e a redução das desigualdades regionais. Além dessas variáveis econômicas, Silva, Alves e Ramalho (2020) observaram um aumento no poder de compra da população local devido à maior entrada de capital na economia.

2 DADOS E MÉTODO

3.1 Base de Dados

Para a realização dessa pesquisa, foram utilizadas informações sobre os parques eólicos em operação e em construção na região Nordeste do Brasil, disponíveis no Sistema de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (SIGA-ANEEL) e no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O Quadro 1 apresenta as variáveis e suas fontes.

Como os efeitos sobre os indicadores econômicos podem ser decorrentes de outros fatores, além da instalação do parque eólico, são consideradas nas estimações características como o porte da população (extraída do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE) e Índices de Desenvolvimento Municipal (IDHM) geral, educacional, longevidade e renda (extraídos do Atlas do Desenvolvimento Humano - ADH-ONU). A ponderação também leva em consideração o fato de o município localizar-se na região do semiárido, na bacia do rio São Francisco ou na bacia do rio Parnaíba. As informações foram extraídas do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Essas características, obtidas para o ano de 2000, são utilizadas para o cálculo dos pesos que ponderam as características dos municípios, por meio do balanceamento por entropia descrito por Hainmueller (2012)⁴, a fim de comparar os municípios com características mais similares antes do tratamento.

A densidade populacional e a tipologia municipal, extraídas do MIDR, juntamente com a velocidade média dos ventos — considerada um parâmetro fundamental para a instalação de usinas eólicas nos municípios — são utilizadas como covariadas no modelo. Esses dados, com frequência anual, abrangem os parques eólicos instalados nos municípios entre 2001 e 2022.

Ressalta-se ainda que, como nem todos os municípios possuem informações para a velocidade média dos ventos, optou-se por considerar a velocidade média dos ventos para as estações mais próximas dos municípios em 2022. Isso foi possível a partir das informações contidas no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

⁴ Para maiores detalhes ver: <https://web.stanford.edu/~jhain/Paper/PA2012.pdf>.

Quadro 1 - Variáveis utilizadas na estimação dos Modelos 1 e 2, respectivamente, Parques em Operação/Construção e Parques em Construção.

Variável de Tratamento	Fonte
Tratamento 1 (Modelo 1 - Parques em Operação/Construção)	SIGAA/ANEEL
Tratamento 2 (Modelo 2 - Parques em Construção)	SIGAA/ANEEL
Variáveis de Resultado	Fonte
ln do pib per capita	IBGE
ln do VAB - Indústria	IBGE
ln do VAB - Serviços	IBGE
ln VAB - Agropecuária	IBGE
Covariadas	Fonte
Densidade Populacional	MIDR
Velocidade Média do Vento	INMET

Fonte: Elaborado com dados da pesquisa. Nota 1. Para o tratamento 1: Assume 1 quando há parques em construção/construídos no município e 0 Caso contrário. Para o tratamento 2: Assume 1 quando há parques em construção no município e 0 Caso contrário. Nota 2. No caso da Dummy no Modelo 2: Assume 1 quando há parques construídos no município e 0 Caso contrário. Nota 3. Nos dois modelos estimados foram utilizados o peso da entropia, que ponderam as características dos municípios antes do tratamento.

3.2 Estratégia de Identificação

O mecanismo de transmissão ocorre a partir da construção de parques eólicos nos municípios do Nordeste brasileiro, o que eleva a demanda por bens e serviços locais devido ao aumento da atividade econômica e do emprego; além disso, os valores imobiliários podem se valorizar, aumentando a riqueza dos proprietários locais. Esses fatores combinados promovem um ciclo positivo de crescimento e de elevação do PIB per capita nas regiões com parques eólicos (Slattery & Johnson, 2011; Brown et al., 2012; Brunner & Schwegman, 2022).

Nesse sentido, a instalação de usinas eólicas pode ser considerada um importante canal de desenvolvimento regional, pois impacta significativamente as economias locais tanto de forma direta quanto indireta, corroborando com o modelo lógico da PNDR. Assim, estima-se o impacto sobre PIB per capita e VAB dos setores da Indústria, Serviços e Agropecuária, adotando-se o início da construção dos parques como intervenção. No entanto, para os parques que já estão em operação e não se tem a informação sobre o início da obra, utiliza-se o início da vigência de outorga dos projetos.

Os municípios que possuem parques eólicos em operação ou em construção farão parte do grupo de tratamento. Ressalta-se que trata-se de duas análises distintas. A primeira contempla municípios com parques eólicos construídos e em construção (de modo agregado), e a segunda considera apenas municípios com parques eólicos em construção. Além disso, os efeitos dos indicadores econômicos, PIB e VAB, serão analisados considerando esses municípios e essas duas abordagens.

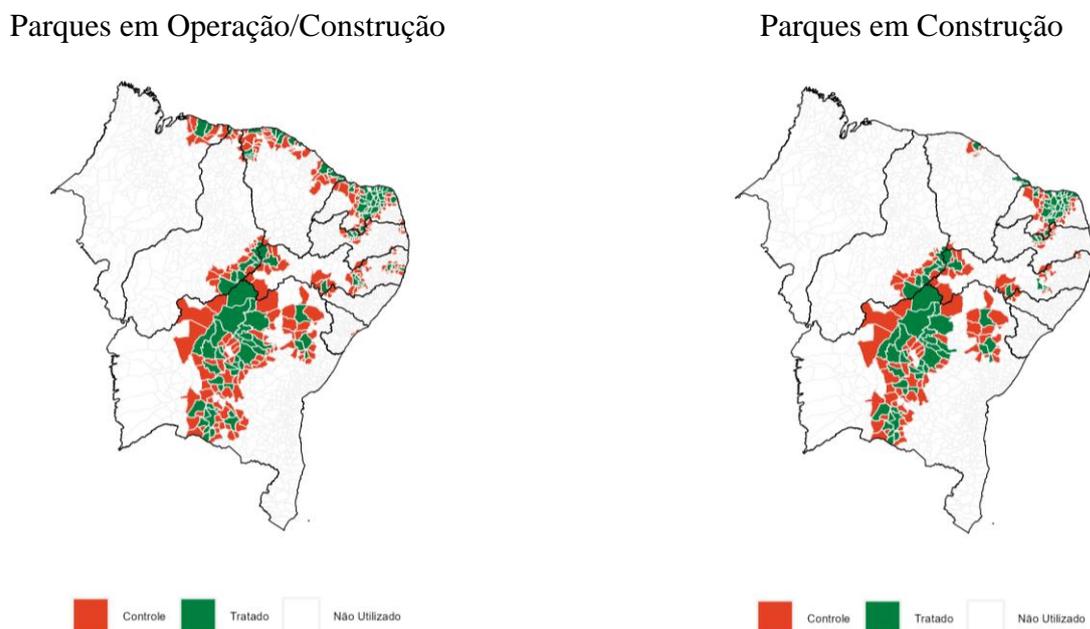
Mantiveram-se, na amostra, para o grupo de tratados, apenas os municípios nordestinos com parques eólicos instalados (construídos e em construção), conforme informações do SIGA-ANEEL. Para o grupo de controle, utilizaram-se os municípios limítrofes⁵ aos municípios tratados. Tanto para os parques eólicos em construção quanto para os parques eólicos em operação, a atribuição ao tratamento ocorreu, em sua maior parte, considerando-se o ano de início da construção das obras. No entanto, para os casos de ausência dessa informação, utilizou-se o início da vigência de outorga dos projetos, uma vez que os parques só podem começar a construção a partir dessa outorga. É importante destacar que, devido à amostra reduzida em relação aos municípios com parques em construção no Ceará, não foi possível mensurar os efeitos causais específicos para esse grupo.

Os grupos de controle, para ambos os casos, são compostos por municípios que poderiam receber tais empreendimentos, porém, não possuem parques eólicos. Além disso, como a rota de vento é um fator importante para a instalação do parque, restringiu-se o grupo de controle para acomodar municípios vizinhos imediatos àqueles com instalações eólicas, como se observa na Figura 1. A seleção dos grupos de

⁵ Os municípios limítrofes foram construídos por meio do software QGIS.

controle, com municípios limítrofes, tem como hipótese o fato de que esses municípios apresentam características socioeconômicas e climáticas semelhantes aos que possuem empreendimentos eólicos (Rodrigues, Costa e Irffi, 2019; Sampaio, 2022; Sampaio; Costa; Irffi, 2023).

Figura 1 – Municípios com parques Eólicos na área de atuação da Sudene



Fonte: Dados da pesquisa.

3.3 Estratégia Econométrica

Para atingir os objetivos propostos, utilizou-se o estimador de diferenças em diferenças (DiD) escalonado de Callaway e Sant'Anna (2021), que possibilita a estimação e a inferência dos parâmetros causais dos efeitos da construção de parques eólicos, ao levar em consideração múltiplos períodos de tempo, variação no tempo de tratamento e efeitos heterogêneos.

Callaway e Sant'Anna (2021) classificam as unidades tratadas de acordo com o momento em que começaram a participar do tratamento. Dessa forma, é possível estimar o Efeito Médio do Tratamento sobre os Tratados para cada grupo, "g", em cada período de tempo, "t". Além disso, a estimação pode ser realizada quando existe um grupo de unidades "nunca tratadas". Caso esse grupo não esteja disponível ou seja muito pequeno, utiliza-se o grupo de unidades "ainda não tratadas"⁶. A estratégia de ponderação visa aproximar unidades tratadas e não tratadas em termos de probabilidade de ter parque eólico, o que acontece a partir da estimativa do escore de propensão:

$$P_g(X) = P(G_g = 1 | X, G_g + C = 1) \quad (1)$$

Sendo X o conjunto de características observáveis; G_g é uma variável binária que assume valor 1 se o parque está sendo construído ou em operação no período g; C assume valor 1 se o município não tem parque eólico. Assim, o escore de propensão é estimado para cada ano de entrada no tratamento, g, isto é, se o município passa a ter a construção de parque eólico, o que gera maior flexibilidade para obter a semelhança de características entre os municípios que não possuem parques eólicos com os que tem parques em operação/construção.

Sob essas suposições, o efeito médio do tratamento para grupo-tempo, incluindo o comportamento de antecipação δ , pode ser identificado semi-parametricamente como:

⁶ Athey e Imbens (2006) e de Chaisemartin e D'Haultfoeuille (2018) também exploram a utilização de unidades "ainda não tratadas" como grupos de comparação em procedimentos de DiD.

$$ATT(g, t) = E \left[\left(\frac{G_g}{E[G_g]} - \frac{\frac{P_g(X)C}{1-P_g(X)}}{E\left[\frac{P_g(X)C}{1-P_g(X)}\right]} \right) (Y_t - Y_{g-\delta-1}) \right] \quad (2)$$

Onde Y_t e $Y_{g-\delta-1}$ representam, respectivamente, a variável de resultado no tempo t e no tempo imediatamente anterior ao recebimento do benefício pelo grupo g , considerando a antecipação. Devido à presença das dummies G_g e C no primeiro termo entre parênteses da Equação (2), a diferença $(Y_t - Y_{g-\delta-1})$ é calculada separadamente para cada grupo g e para o seu respectivo grupo de controle. Além disso, pode-se utilizar na de estimação do $ATT(g,t)$, estimadores baseados em regressões de resultados (Heckman et al., 1997, 1998), ponderação de probabilidade inversa (Abadie, 2005) e métodos duplamente robustos (Sant’Anna e Zhao, 2020).

Portanto, esse estimador proposto por Callaway e Sant’Anna (2021) é uma ponderação da diferença de resultados entre os grupos de tratado ($G_g = 1; C = 0$) e controle ($G_g = 0; C = 1$), antes e após a intervenção, em que os pesos são:

$$w_g^G = \frac{G_g}{E[G_g]} \text{ e } w_g^C = \frac{\frac{P_g(X)C}{1-P_g(X)}}{E\left[\frac{P_g(X)C}{1-P_g(X)}\right]} \quad (3)$$

Essa abordagem não só equilibra as características observáveis entre os municípios que tiveram e possuem parques eólicos construídos e em construção e aqueles que não possuem parques eólicos, como também controla por características não observáveis que permanecem constantes ao longo do tempo. Além disso, por se tratar de um estimador não paramétrico, o $ATT(g,t)$ permite identificar o impacto causal da construção de parques eólicos sem a necessidade de impor formas funcionais específicas para controlar características observáveis.

Além disso, o estimador possibilita a execução de um teste para a hipótese de tendências paralelas, calculando o $ATT(g, t)$ para períodos anteriores ao tratamento. A não rejeição da hipótese nula sugere que o grupo de controle é um contrafactual adequado para o grupo de tratamento. A hipótese nula do teste é:

$$H_0: E[X, G = 1] - E[X, C = 1] \text{ a. s. } \rightarrow 0 \quad (4)$$

Para verificar a suposição de tendências paralelas por meio de análise gráfica, utiliza-se o intervalo de confiança de 95%. Embora os testes de tendências utilizados nos modelos DiD escalonados sejam uma verificação natural e intuitiva da suposição de tendências paralelas, pesquisas recentes mostram algumas limitações. Mesmo que as pré-tendências sejam exatamente paralelas, não há garantia de que a suposição será satisfeita no pós-tratamento (Kahn-Lang e Lang, 2020). Outra questão é que, quando há diferenças pré-existentes nas tendências, os testes podem falhar em rejeitar devido à baixa potência (Bilinski e Hatfield, 2018; Freialdenhoven et al., 2019; Kahn-Lang e Lang, 2020; Roth, 2022).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Análise Descritivas

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas relativas aos municípios que já apresentam parques eólicos em operação, e expõe as médias e as diferenças entre as médias para os grupos de municípios tratados e de controle. Nesse sentido, apresentam-se informações associadas às variáveis adotadas no cálculo do efeito da construção dos parques eólicos nos municípios e seus limítrofes, após serem aplicados os filtros delineados na seção metodológica. São expostas as características dos grupos de tratamento, antes e depois dos municípios que receberam os parques eólicos, e para os municípios limítrofes que não receberam parques eólicos. Considera-se o ano imediatamente anterior ao tratamento (a partir de 2000) e o último ano após tratamento (até 2022)⁷, como referência para a comparação entre os grupos.

Utilizam-se como variáveis de resultado o PIB *per capita* e o valor agregado da agropecuária, serviços e indústria. Como variáveis de controle, ou seja, como representativas das características dos municípios, foram utilizadas a densidade populacional e a velocidade média dos ventos.

⁷ As análises para PIB e VAB foram realizadas para o ano de 2021, devido ser o último ano disponível para essas variáveis.

Os resultados mostram que, em termos médios, o valor adicionado da agropecuária e de serviços, bem como a densidade populacional, apresentaram algumas diferenças entre os municípios, no entanto essas diferenças não se mostraram estatisticamente significantes no período pré e pós-tratamento. O PIB *per capita* não foi significativo no período pré-tratamento, no entanto, após o tratamento essa diferença se tornou positiva e significativa, o que sugere um impacto econômico positivo para aqueles municípios considerados tratados. A velocidade média do vento, constante no período de tempo considerado (fixado em 2022, último ano de análise), se mostrou diferente e significativa para os municípios que têm parques eólicos.

Tabela 1 – Médias e diferenças de média das variáveis para os grupos de municípios tratados (T) e de controle (C) para os municípios limítrofes

Variável	Pré construção			Pós construção		
	Controle	Tratado	Diferença	Controle	Tratado	Diferença
PIB per capita	5.7	6.3	-0.5	28.5	50.4	-21.8*
VAB - Agro	16,606.8	20,693.5	-4,086.7	79,894.8	78,705.3	1189.4
VAB - Serviços	85,848.7	92,903.5	-7,054.8	272962	372,564	-99,602
VAB - Indústria	24,511	49,175.6	-24,664.6	16,9520.2	425,460.3	-255,940.2*
Densidade Populacional	40.5	35.4	5.1	48.2	43.5	4.7
Velocidade Média dos Ventos	2.5	3	-0.5*	2.5	3	-0.5*
Observações	237	117		237	117	

Fonte: Elaboração dos autores. Valores monetários em milhares de reais. Nota: Diferença T-Test * p-valor < 0,05.

Os resultados contidos na Tabela 2 compreendem as médias e as diferenças entre as médias para os grupos de municípios tratados e de controle, tendo em vista os municípios com parques eólicos em construção. As diferenças médias entre os municípios nos grupos com e sem parques eólicos não se mostraram estatisticamente significantes no período pré e pós-tratamento na maioria dos casos. Esse cenário foi observado no caso do VAB – Agro, Serviços, assim como na densidade populacional.

Tabela 2 – Médias e diferenças de média das variáveis para os grupos de municípios tratados (T) e de controle (C) para os municípios limítrofes de parques em construção

Variável	Pré construção			Pós construção		
	Controle	Tratado	Diferença	Controle	Tratado	Diferença
PIB per capita	5.8	6	-0.1	27.4	51.6	-24.1*
VAB - Agro	15,332.5	15,987	-654.4	76,408	54,402	22,006
VAB - Serviços	64,512.7	66,429	-1,916.3	198,260.1	214,064.3	-15,804.2
VAB - Indústria	23,614	29,286	-5,672.5	94,726.7	324,711.5	-229,984.7*
Densidade Populacional	29.7	24.1	5.6	34.7	27.73	6.9
Velocidade Média dos Ventos	2.6	3	-4*	2.6	3	-4*
Observações	140	94		140	94	

Fonte: Elaboração dos autores. Valores monetários em milhares de reais. Nota: Diferença T-Test * p-valor < 0,05.

4.2 Efeitos da Construção e Operação de Parques Eólicos

Para verificar o efeito causal sobre os indicadores econômicos dos municípios com parques eólicos construídos e em construção, considerou-se como grupo de controle seus municípios limítrofes. Entretanto, para a validação dos efeitos causais, é necessário que os municípios com parques eólicos sigam a mesma trajetória de seus limítrofes na ausência do tratamento. Assim, seguindo Callaway e Santana (2021) e Callaway (2021)⁸, foi realizado o teste de pré-tendências paralelas (Figura 2 e Figura A1), a partir do estudo de eventos que é proposto pelos autores⁹. Busca-se verificar se há uma diferença sistemática na trajetória dos municípios em operação ou em construção e dos limítrofes antes da construção desses parques.

Nesses gráficos, os períodos de pré-tratamento são utilizados para validar a suposição de pré-tendências paralelas dos modelos, enquanto os períodos de pós-tratamento revelam os efeitos dinâmicos do tratamento. A Figura 2 demonstra que, para todas as estimativas, a hipótese de tendências paralelas no período pré-tratamento é válida. Isso é evidenciado pelo fato de que as trajetórias em vermelho mostram que estimativas pontuais estão próximas de zero, indicando a não rejeição da hipótese nula de que a suposição de tendências paralelas se mantém ao longo de todos os períodos.

Assim, com base nos resultados dos testes de pré-tendências paralelas, é possível analisar os efeitos causais da construção de parques eólicos sobre o PIB per capita e o VAB da indústria, serviços e agropecuário, usando o estimador de Callaway e Sant'Anna (2021). Entretanto, mesmo com a validação dos testes de pré-tendências paralelas para quase todas as estimações, as estimativas encontradas, tanto para o efeito médio de grupo, quanto para os efeitos dinâmicos, devem ser observadas com cautela.

Analisando os resultados dos parques eólicos sobre o PIB *per capita* dos municípios nordestinos na área de atuação da Sudene, verifica-se que estes geraram um aumento de aproximadamente 18,97% no PIB *per capita* dos municípios, quando considerados os municípios com parques construídos e em construção, e de 6,25% para aqueles municípios com parques ainda em construção. Esses resultados indicam que os parques eólicos já em operação têm um impacto maior e imediato no PIB *per capita* em comparação com os parques ainda em construção. O maior efeito para os parques já construídos pode ser atribuído à geração de energia e, conseqüentemente, de receita advindas dos parques em operação, ao passo que a construção pode estar captando a fase inicial dos investimentos.

Em relação aos efeitos sobre os VAB setoriais, observa-se que o setor de serviços não é impactado pelos parques que estão em construção, ao contrário do que ocorre com os parques já construídos, onde há um aumento de 10,24%. Esse resultado, se dá, possivelmente, devido à natureza temporária das atividades de construção. No entanto, ao entrarem em operação, os parques geram uma demanda contínua por serviços de manutenção, logística e outros serviços relacionados, direta ou indiretamente, à geração de energia, o que resulta em um aumento no VAB do setor de serviços.

No caso do VAB da indústria, há um efeito positivo em ambas as situações, com um aumento de 71,90% para os parques já construídos e em construção e de 27,96% para aqueles ainda em construção. Além dos efeitos indiretos, o setor industrial apresenta impacto positivo em ambas as fases, com um efeito maior para os parques já construídos e em construção. Esse cenário possivelmente ocorre na construção, em função da demanda por materiais de construção, equipamentos e serviços de engenharia, beneficiando a indústria local. Quando os parques entram em operação, há uma necessidade contínua de manutenção, reparos e possíveis expansões, o que continua a impulsionar o setor industrial.

Por outro lado, o VAB do setor agropecuário apresenta um efeito negativo de (-9,34%) nos municípios que ainda têm parques em construção, apontando que o setor é negativamente impactado durante a fase de construção dos parques eólicos. Não se identificou efeito quando se consideram os parques já construídos e em construção. Esse resultado pode ser explicado pela desocupação de terras agrícolas no período de construção e/ou pela migração de trabalhadores da agricultura para o setor de construção e serviços dos parques eólicos, o que interfere nas atividades do setor e pode resultar em perdas econômicas.

⁸ Para maiores detalhes, ver: <https://bcallaway11.github.io/posts/event-study-universal-v-varying-base-period>

⁹ Callaway e Santana (2021), também argumentam que o gráfico de grupos pode ser analisado para verificar as pré-tendências paralelas. Entretanto optou-se nesse artigo utilizar o Estudo de Eventos, dado que de acordo com os autores, mesmo com cautela, este também pode ser utilizado.

No entanto, uma vez que os parques entram em operação, eles não afetam significativamente o setor agropecuário, sugerindo que os impactos negativos são temporários e restritos ao período de construção.

Tabela 3 - Efeitos da construção de Parques Eólicos sobre indicadores econômicos municipais.

Efeitos	Parques em Operação/Construção				Parques em Construção			
	ATT	EP	IC		ATT	EP	IC	
PIB <i>per capita</i>	0,1897 *	0,0384	0,1144	0,2651	0,0606 *	0,0267	0,0082	0,1129
VAB - Serviços	0,1024 *	0,0228	0,0577	0,1471	0,0137	0,0271	-0,0395	0,0668
VAB - Industrial	0,7190 *	0,1146	0,4943	0,9436	0,2796 *	0,0883	0,1065	0,4539
VAB - Agro	-0,0702	0,0398	-0,1482	0,0078	-0,0934 *	0,0289	-0,1501	-0,0367

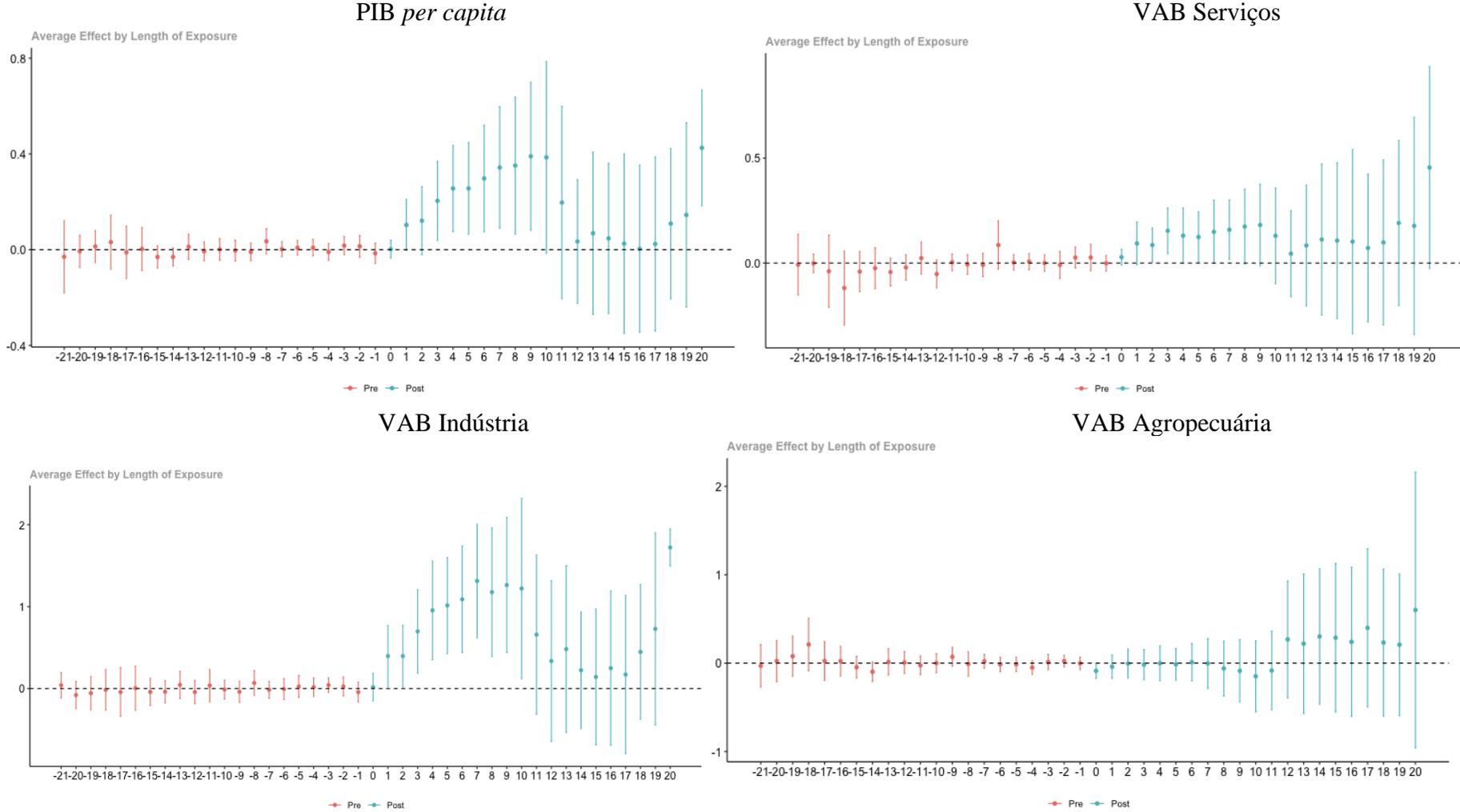
Fonte: Elaboração dos autores. * p-valor < 0,05.

Em relação aos efeitos dinâmicos, as estimativas para os parques construídos e em construção (Figura 2) indicam que o efeito positivo sobre o PIB per capita começa no terceiro ano após o início da construção e se estende até dez anos, sugerindo um impacto forte e de médio prazo. Para o VAB da Indústria e de Serviços, o efeito positivo ocorre no primeiro ano pós-construção e perdura até o nono ano. Quando se analisa o VAB para Serviços, observa-se um efeito semelhante. Por fim, o VAB da Agropecuária apresentou um efeito negativo no primeiro ano após o início da construção dos parques. Ainda analisando a Figura 2, percebe-se um efeito dinâmico no período 20 para o PIB e para o VAB da Indústria.

Para os parques que ainda estão em construção (Figura A1), não houve efeito dinâmico para o PIB per capita e nem para o VAB serviços. Por outro lado, houve efeito positivo para o primeiro ano após o início da construção para o VAB da indústria, e negativo para o primeiro e oitavo ano após o início da construção somente para o VAB da agropecuária. Esse efeito dinâmico corrobora os efeitos médio de tratamento grupo-tempo para essa amostra, excetuando-se a estimativa do PIB *per capita*.

Portanto, os resultados obtidos na análise de estudos de eventos apontam que a construção de parques eólicos têm impactos variados sobre diferentes setores econômicos ao longo dos anos de operação. Enquanto alguns setores, como a indústria e os serviços, beneficiam-se positivamente desde o início da construção, a agropecuária, por outro lado, experimenta efeitos negativos a curto prazo. Ademais, ao indicar um impacto positivo na economia local, este estudo corrobora com os estudos de Río e Burguillo (2008); Blanco e Kjaer, 2009; Munday et al. (2011); Simas (2012); Simas e Paccas (2013); Aldieri et al (2019); Sundström e Vinci (2019), Rodrigues, Costa e Irffi (2019); Sampaio (2022) e Sampaio, Costa e Irffi (2023).

Figura 2 - Estudo de Eventos para parques construídos e em construção



Fonte: Elaboração dos autores.

4.3 Análise de Robustez - Controles Limpos

A utilização de modelos de avaliação de impacto para mensurar a causalidade de uma determinada intervenção, em muitas situações, não consegue mitigar o viés de autosseleção. Nesse estudo, o viés ocorre pelo fato de que os municípios que são limítrofes aos municípios com parques também podem possuir instalações em áreas similares. Assim, é possível que a não participação no tratamento esteja associada a alguma característica não observada, a qual pode estar relacionada com as variáveis de resultado.

Para mitigar esse viés, realiza-se um teste de robustez que utiliza como grupo de controle os municípios que recebem a construção de parques eólicos em anos posteriores, dentro do período analisado. Acredita-se que pelo fato destes municípios também receberem o tratamento em algum momento, guardem maior semelhança com os municípios tratados, inclusive em termos de características não observadas que possam vir a influenciar o recebimento do tratamento.

Esse grupo é comumente reportado na literatura como “ainda não tratados”, conforme discutido por Callaway e Santana (2021), Athey e Imbens (2006), e Chaisemartin e D'Haultfoeuille (2018). Esses autores exploram o uso de unidades “ainda não tratadas” como grupos de controle em abordagens de DiD. A partir da utilização desse grupo, pretende-se, com a análise de robustez, verificar a consistência das estimativas, confirmando assim suas validades.

A Tabela 4 apresenta os efeitos médios do tratamento por grupo-tempo para os “ainda não tratados”. As estimativas de robustez revelam que a construção e operação de parques eólicos são, em grande parte, consistentes com os resultados da Tabela 3, especialmente no que diz respeito ao PIB per capita e ao VAB industrial, ambos mostrando impactos positivos e significativos. No que se refere ao VAB dos serviços, os efeitos positivos e significativos são restritos aos parques em fase de operação ou construção. Já o VAB da agropecuária apresenta impactos negativos durante a fase de construção em ambas as análises, com significância estatística para os parques em construção. Portanto, esses resultados indicam que a construção e operação de parques eólicos geram efeitos econômicos positivos no PIB per capita e nos setores industrial e de serviços, porém podem impactar negativamente o setor agropecuário durante a fase de construção.

Tabela 4 - Estimativas de Robustez

Efeitos sobre	Parques em Operação/Construção				Parques em Construção			
	ATT	EP	IC		ATT	EP	IC	
PIB <i>per capita</i>	0.1807 *	0.035	0.1122	0.2493	0.0563 *	0.0281	0.0011	0.1114
VAB - Serviços	0.095 *	0.0206	0.0548	0.1353	0.013	0.0279	-0.0417	0.0677
VAB - Industrial	0.7149 *	0.1215	0.4767	0.9531	0.2636 *	0.1013	0.0651	0.4621
VAB - Agro	-0.0751	0.0404	-0.1542	0.004	-0.092 *	0.0298	-0.1503	-0.0337

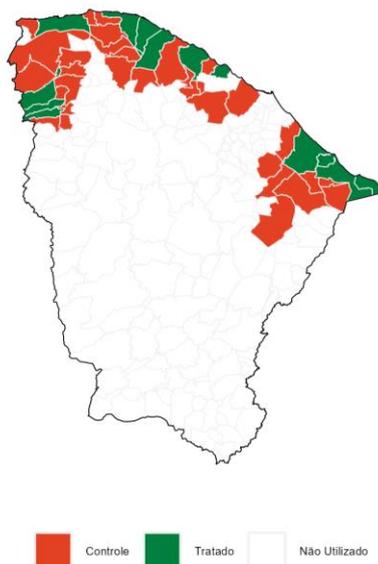
Fonte: Elaboração dos autores. * p-valor < 0,05.

4.4 Efeitos Heterogêneos – Parques Eólicos no Estado do Ceará

Considerando o expressivo potencial do Ceará para a geração de energia eólica, somado ao crescimento acelerado desse setor no estado nos últimos anos, foi realizada uma análise específica focada nos municípios cearenses. Esse recorte busca capturar as particularidades regionais e o impacto direto da expansão dos parques eólicos sobre a economia local. A Figura 3 apresenta os grupos de tratamento e controle utilizados na análise, evidenciando uma concentração significativa de parques eólicos ao longo da faixa litorânea, o que reflete a distribuição natural dos ventos fortes e constantes nessa área. Contudo, há uma exceção, os municípios de Tianguá, Ubajara e Ibiapina, situados na Serra da Ibiapaba, que também despontam como locais promissores para a instalação de parques eólicos devido às suas condições topográficas e climáticas específicas.

Essas características, tanto no litoral quanto no interior, reforçam a atratividade do estado para grandes investimentos no setor de energia renovável, justificando a crescente presença de empresas nacionais e internacionais que enxergam no Ceará um ambiente favorável para o desenvolvimento de projetos de geração de energia a partir dos ventos. Além disso, a infraestrutura logística e o apoio governamental têm sido fatores decisivos para o sucesso do setor no estado, impulsionando ainda mais seu crescimento e consolidando o Ceará como um dos principais polos de energia eólica do Brasil.

Figura 3 – Municípios com parques Eólicos na área de atuação da Sudene
Parques em Operação/Construção



Fonte: Elaboração dos autores.

Os resultados apresentados na Tabela 5, com base nas estatísticas descritivas das variáveis de controle e da variável de resultado, incluem as médias e as diferenças entre as médias dos grupos de municípios tratados e de controle no Ceará, com ênfase nos municípios onde havia parques eólicos em construção. De maneira geral, as diferenças médias entre os municípios com e sem parques eólicos não foram estatisticamente significativas no período pré-construção, com algumas exceções notáveis, como o PIB per capita, o Valor Adicionado Bruto (VAB) dos setores agropecuário e a situação pós-tratamento em vários casos.

Esse comportamento é particularmente relevante nos setores de serviços e indústria, onde o VAB apresentou aumentos expressivos, refletindo o impacto positivo da instalação dos parques eólicos na economia local. Variáveis como densidade populacional e velocidade dos ventos também seguiram esse padrão, reforçando a importância desses fatores no planejamento e na atração de investimentos para as áreas selecionadas. Esses resultados sugerem que a presença dos parques eólicos contribuiu para mudanças econômicas locais significativas, especialmente no fortalecimento dos setores de serviços e indústria, destacando a correlação entre o desenvolvimento de infraestrutura energética e o crescimento econômico em regiões anteriormente menos desenvolvidas.

Tabela 5 – Médias e diferenças de média das variáveis para os grupos de municípios tratados (T) e de controle (C) para os municípios do Ceará

Variável	Pré construção			Pós construção		
	Controle	Tratado	Diferença	Controle	Tratado	Diferença
PIB <i>per capita</i>	4.79	7.09	-2.29*	26.2	37.8	-11.5*
VAB - Agro	25,723.4	59,607.9	-33,884.4*	112,818	271,103.8	-158,285.8*
VAB - Serviços	82,289.7	122,525.8	-40,236.05	298,157.9	529,137.7	-230,979.8
VAB - Indústria	26,881.49	53,319.07	-26,437.5	112,548.3	453,014.9	-340,466.6
Densidade Populacional	43.6	50.3	-6.6	53.9	64.4	-10.5
Velocidade Média dos Ventos	3.2	3.6	-0.3	3.2	3.6	-0.3
Observações	31	13		31	13	

Fonte: Elaboração dos autores. Valores monetários em milhares de reais. Nota: Diferença no T-test * p-valor < 0,05.

Ademais, a Figura A2, no apêndice, analisa a validade da suposição de tendências paralelas no período anterior ao tratamento para os municípios do Ceará, com base em um estudo de eventos. A mesma figura também ilustra os efeitos dinâmicos do tratamento nos períodos subsequentes. As estimativas mostram que a hipótese de tendências paralelas no pré-tratamento é válida a partir de 12 períodos antes da intervenção, sugerindo que essa condição se mantém estável ao longo de todos os períodos avaliados. Portanto, pode-se atribuir uma conotação causal aos resultados obtidos pela avaliação de impacto.

As estimativas de causalidade para o Estado do Ceará, disponíveis na Tabela 6, indicam os impactos da implementação dos parques eólicos sobre a economia dos municípios beneficiados. O Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* desses municípios denota um aumento médio de 6,64% após a instalação dos empreendimentos, indicando uma melhora significativa na renda média local. Em relação aos setores específicos, o Valor Adicionado Bruto (VAB) do setor de serviços apresentou um aumento ainda mais notável, com um crescimento de 12,96%. Esse efeito é particularmente relevante quando comparado às estimativas para os municípios do Nordeste como um todo, onde o impacto sobre o setor de serviços foi menos acentuado, sugerindo que os parques eólicos em construção e operação nos municípios cearenses proporcionaram um estímulo econômico mais forte nesse setor.

O impacto sobre o setor industrial foi ainda mais robusto: o VAB industrial dos municípios com parques eólicos instalados aumentou em 36,41%, indicando que os investimentos em energia eólica impulsionaram significativamente a atividade industrial local, seja por meio de obras de infraestrutura ou pelo desenvolvimento de atividades econômicas associadas à operação dos parques. Em contrapartida, no setor agropecuário, os resultados para o Ceará contrastam com os observados no restante do Nordeste. Diferentemente do que foi encontrado em outros estados nordestinos, onde houve impactos negativos temporários sobre o VAB agrícola durante a fase de construção, no Ceará não se observou efeito significativo desse tipo, o que pode estar relacionado a características locais ou ao fato de que os parques eólicos foram implementados de forma a mitigar potenciais interferências sobre as atividades agrícolas.

Esses resultados reforçam a hipótese de que os parques eólicos geram impactos econômicos positivos, principalmente nos setores de serviços e indústria, e que esses efeitos podem variar de acordo com as especificidades regionais e setoriais. A análise de estudo de eventos detalhada na Figura A2 no apêndice ilustra essa evolução ao longo do tempo, mostrando como os impactos se manifestaram nos municípios cearenses ao longo das fases de construção e operação dos parques eólicos.

Tabela 6 - Estimativas de Parques Eólicos no Estado do Ceará

Efeitos sobre	Parques em Operação/Construção no Ceará				Parques em Operação/Construção no Ceará - Robustez			
	ATT	EP	IC		ATT	EP	IC	
PIB <i>per capita</i>	0.0663 *	0.0333	0.001	0.1316	0.0715*	0.032	0.0088	0.1341
VAB - Serviços	0.1296 *	0.0328	0.0652	0.1939	0.1206*	0.0317	0.0586	0.1827
VAB - Industrial	0.3641 *	0.1065	0.1555	0.5728	0.3738 *	0.1111	0.1559	0.5916
VAB - Agro	0.0149	0.0767	-0.1355	0.1653	0.0038	0.0892	-0.1709	0.1876

Fonte: Elaboração dos autores. * p-valor < 0,05.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram o estudo de Ribeiro et al. (2023), que analisou os efeitos dos parques eólicos sobre a arrecadação de ICMS nos municípios do Ceará, indicando uma relação positiva entre a instalação dos parques e a melhoria nas finanças estaduais, especialmente nas regiões de planejamento do estado. Assim, a implementação de parques eólicos nos municípios do Ceará aumentou o dinamismo da economia local, beneficiando particularmente os setores de serviços e industrial. Entretanto, aponta-se a necessidade de estratégias integradas para os demais setores da economia, incluindo a agropecuária. Essa análise indica a importância da energia renovável não apenas como uma solução ambiental, mas também como um motor de desenvolvimento econômico regional.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como propósito mensurar os impactos da construção de parques eólicos sobre indicadores econômicos nos municípios do Nordeste brasileiro, com destaque para os efeitos heterogêneos observados nos municípios do Estado do Ceará. Os resultados evidenciam que a instalação dos parques eólicos está associada a um aumento do PIB *per capita* e ao crescimento do Valor Adicionado Bruto (VAB) nos setores industrial e de serviços, apesar de um impacto negativo sobre o VAB da agropecuária. Nesse contexto, os parques eólicos se mostram como uma importante ferramenta para o desenvolvimento econômico regional.

A análise indicou que os municípios com parques eólicos apresentaram um aumento significativo no PIB *per capita*, tanto na estimativa geral quanto nas estimativas específicas para o Ceará. Nos municípios onde os parques eólicos já se encontram em operação ou em construção, observou-se um incremento expressivo nas variáveis econômicas, sugerindo que o efeito positivo pode ser atribuído tanto à geração de energia quanto às receitas geradas pelos parques em operação, além dos empregos e investimentos associados à fase de construção.

No que tange aos setores econômicos, os parques eólicos demonstraram impactos positivos significativos no VAB da indústria e dos serviços. O setor industrial apresentou um aumento considerável, especialmente ao se comparar os municípios com parques já operacionais em relação àqueles que ainda estão em fase de construção. Similarmente, o setor de serviços foi beneficiado com o aumento do VAB nos municípios com parques eólicos em operação, reforçando a ideia de que a infraestrutura associada à energia eólica pode dinamizar atividades econômicas além do setor energético.

No entanto, foi identificado um efeito negativo no VAB da agropecuária durante a fase de construção dos parques. Esse impacto adverso pode ser explicado pela temporária desocupação de terras utilizadas para atividades agrícolas, necessárias para a instalação dos parques. Contudo, após a conclusão das obras, os efeitos negativos tendem a ser mitigados, uma vez que não foram observados impactos significativos nos municípios com parques já em funcionamento.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a construção de parques eólicos no Nordeste brasileiro, em particular no Ceará, promove um impacto positivo nos setores industrial e de serviços, contribuindo para o aumento do PIB *per capita* regional. Embora o setor agropecuário seja inicialmente afetado de forma negativa durante o processo de construção, tais efeitos parecem ser transitórios, sugerindo

que a expansão da energia eólica pode ser uma estratégia eficaz para o desenvolvimento econômico sustentável da região.

REFERÊNCIAS

ALDIERI, L.; GRAFSTRÖM, J.; SUNDSTRÖM, K.; VINCI, C. Wind power and job creation. **Sustainability**, v. 12, p. 1-23, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. Sistema de Informações de Geração da ANEEL - SIGA. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>>. Acesso em: 07 jul. 2024.

ATHEY, S.; IMBENS, G. W. Identification and inference in nonlinear difference-in-differences models. **Econometrica**, v. 74, n. 2, p. 431-497, 2006. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/3598807>>. Acesso em: 11 jul. 2024.

BIANCHINI, A.; et al. The impact of wind energy on employment and regional development: Evidence from European countries. **Renewable Energy**, v. 138, p. 1165-1173, 2019.

BLANCO, I.; KJAER, C. Wind at work: Wind energy and job creation in the EU. Brussels: European Wind Energy Association, 2009.

BEZERRA, F. D. Oportunidades para o Nordeste em energia eólica. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n. 177, jul. 2021. (Caderno Setorial).

BROWN, J. P.; PENDER, J.; WISER, R.; LANTZ, E.; HOEN, B. Ex post analysis of economic impacts from wind power development in U.S. counties. **Energy Economics**, v. 34, n. 6, p. 1743-1754, 2012.

BRUNNER, E.; SCHWEGMAN, D. Windfarms raise incomes and house prices in rural US, study finds. **Resilience**, 4 ago. 2022. Disponível em: <<https://www.resilience.org/stories/2022-08-04/windfarms-raise-incomes-and-house-prices-in-rural-us-study-finds/>>. Acesso em: 11 jul. 2024.

DA SILVA, N. F.; et al. Wind energy in Brazil: From the power sector's expansion crisis model to the favorable environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p. 686-697, 2013.

DE CHAISEMARTIN, C.; D'HAULTFOEUILLE, X. Fuzzy differences-in-differences. **The Review of Economic Studies**, v. 85, n. 2, p. 999-1028, 2018.

DIÓGENES, J. R. F.; et al. Barriers to onshore wind energy implementation: A systematic review. **Energy Research & Social Science**, v. 60, 101337, 2020.

DVOŘÁK, P.; et al. Renewable energy investment and job creation; a cross-sectoral assessment for the Czech Republic with reference to EU benchmarks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 360-368, 2017.

FREIALDENHOVEN, S.; HANSEN, C.; SHAPIRO, J. M. Pre-event trends in the panel event-study design. **American Economic Review**, v. 109, n. 9, p. 3307-3338, 2019.

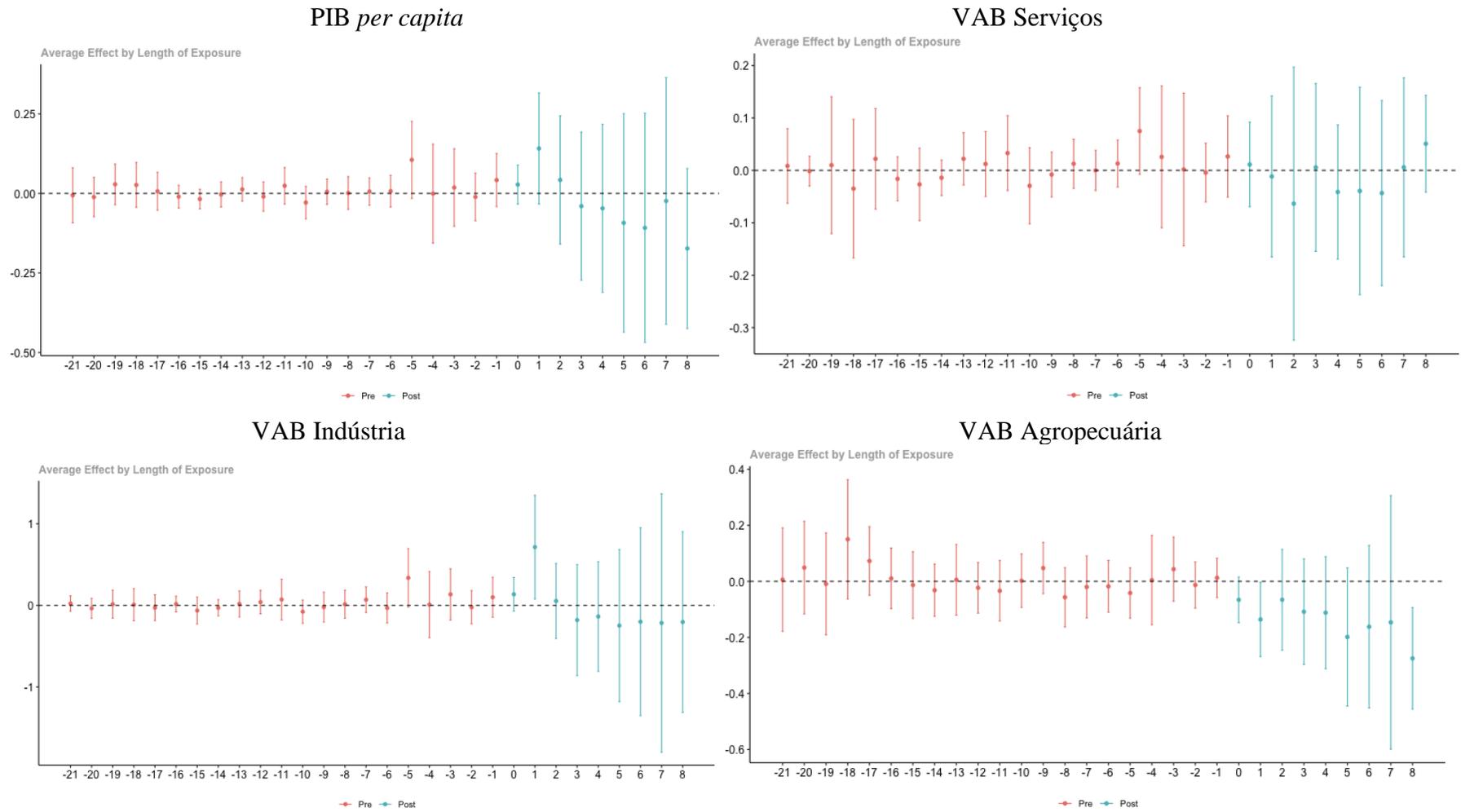
GONÇALVES, S.; RODRIGUES, T. P.; CHAGAS, A. L. S. The impact of wind power on the Brazilian labor market. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 128, 109887, 2020.

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.

- HONDO, H.; MORIIZUMI, Y. Employment creation potential of renewable power generation technologies: A life cycle approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 128-136, 2017.
- KAHN-LANG, A.; LANG, K. The promise and pitfalls of differences-in-differences: Reflections on 16 and pregnant and other applications. **Journal of Business & Economic Statistics**, v. 38, n. 3, p. 613-620, 2020.
- LLERA SASTRESA, E.; et al. Local impact of renewables on employment: Assessment methodology and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 679-690, 2010.
- MORENO, B.; LÓPEZ, A. J. The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, p. 732-751, 2008.
- ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Relatório Anual 2023. Brasília: ONS, 2023. Disponível em: https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/2023-Relatorio-Anual-acessivel_21032024.pdf. Acesso em: 11 jul. 2024.
- SAMPAIO, M. A. S. A implementação de parques eólicos e seus impactos sobre os municípios brasileiros. 2022. 75 f. **Dissertação** (Mestrado em Economia Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.
- SAMPAIO, M. A. S.; COSTA, E. M.; IRFFI, G. A implementação de parques eólicos e seus impactos sobre os municípios brasileiros. In: XXVIII ENCONTRO REGIONAL DE ECONOMIA, 2023, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia, 2023.
- SLATTERY, M. C.; LANTZ, E.; JOHNSON, B. L. State and local economic impacts from wind energy projects: Texas case study. **Energy Policy**, v. 39, n. 12, p. 7930-7940, 2011.
- SIMAS, M. S. Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada. 2012. **Tese (Doutorado)** - Universidade de São Paulo.
- SIMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estudos Avançados**, v. 27, p. 99-116, 2013.
- SILVA, S. S. F.; ALVES, A. C.; RAMALHO, A. M. C. Energia eólica e complementaridade energética: estratégia e desafio para o desenvolvimento sustentável na região nordeste do Brasil. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 19, n. 3, p. 53-72, 2020.
- RIBEIRO, G.; COSTA, E.; OLIVEIRA, T.; AQUINO, S.; SILVA, G. **Incentivos fiscais são instrumentos adotáveis à partilha de riscos de PPPs na geração de energia eólica no estado do Ceará e impactam na cota-parte do ICMS**. Anais do XIX Encontro de Economia do Ceará em Debate, 2023.
- RÍO, P.; BURGUILLO, M. Assessing the impact of renewable energy deployment on local sustainability: Towards a theoretical framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 5, p. 1325-1344, 2008.
- ROTH, J. Pretest with caution: Event-study estimates after testing for parallel trends. **American Economic Review**, v. 112, n. 5, p. 1784-1821, 2022.
- WANG, Shifeng; WANG, Sicong. Impacts of wind energy on environment: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 437-443, 2015.

APÊNDICE

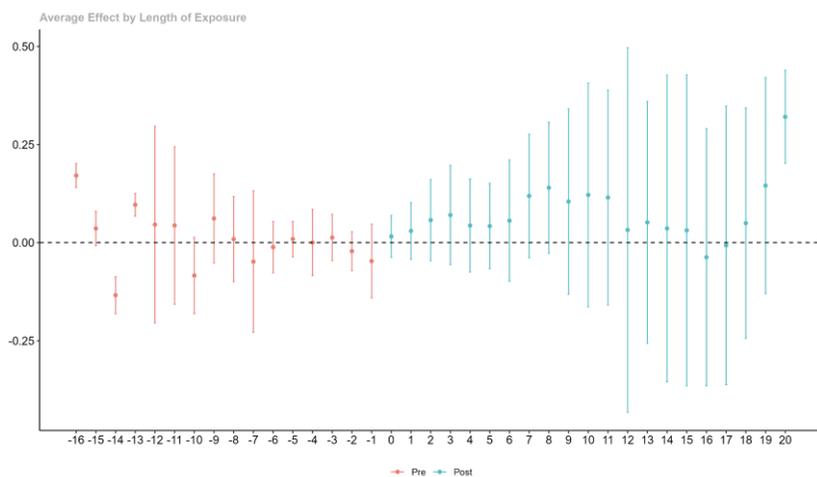
Figura A1 - Estudo de Eventos para parques em construção na região nordeste do Brasil.



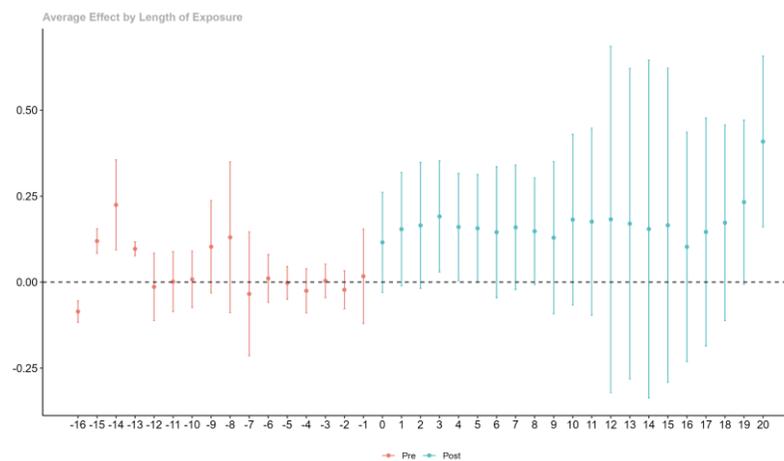
Fonte: Elaboração dos autores.

Figura A2 - Estudo de Eventos para parques construídos e em construção no Ceará.

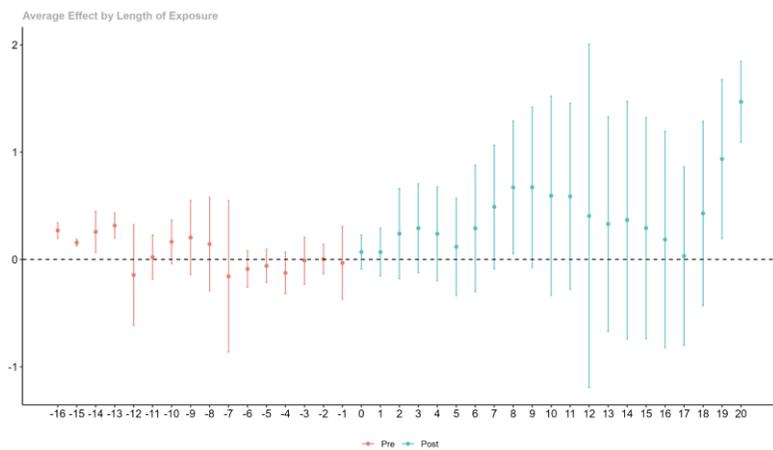
PIB *per capita*



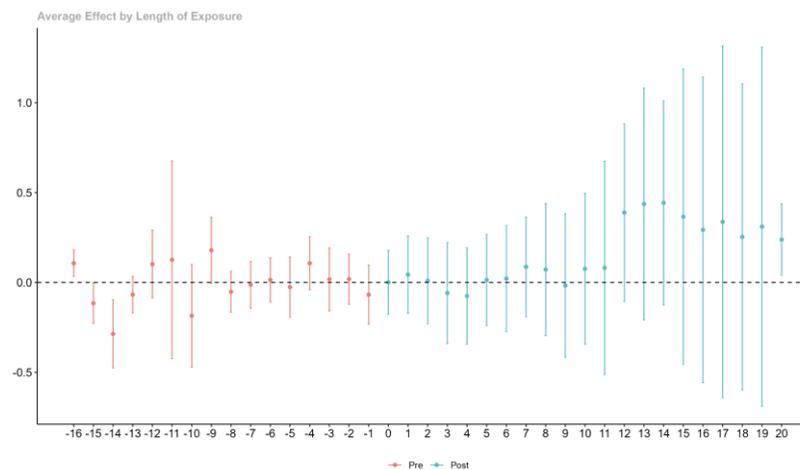
VAB Serviços



VAB Indústria



VAB Agropecuária



Fonte: Elaboração dos autores.