

EXPANSÃO DOS PARQUES EÓLICOS E A DINÂMICA DO MERCADO DE TRABALHO NO NORDESTE BRASILEIRO

Edcleutson de Souza Silva¹ André Luis Squarize Chagas² Carlos Roberto Azzoni²
Aléssio Tony Cavalcanti de Almeida³ Wallace Patrick Santos de Farias Souza³

RESUMO: Este estudo avalia os efeitos da expansão de parques eólicos sobre a acumulação de vínculos empregatícios e estabelecimentos, por setor econômico, nos municípios do Nordeste brasileiro. Utilizando dados de 1.478 municípios entre 2004 e 2019, aplicamos um modelo de diferenças em diferenças com múltiplos períodos, proposto por Butts (2023), que permite estimar tanto os efeitos diretos quanto, de forma inédita, os efeitos de *spillover*. Os resultados indicam que a implantação de parques eólicos elevam os vínculos empregatícios industriais em até 36,2% após um e dois anos nos municípios diretamente contemplados, enquanto os estabelecimentos neste setor crescem entre 14,2% e 25,3% do primeiro ao quarto ano. Também se observam *spillovers* negativos sobre vínculos entre o quarto e o sexto ano. No setor de comércio e serviços, há efeitos negativos sobre vínculos nos municípios vizinhos no primeiro e quarto ano, mas efeitos positivos sobre estabelecimentos de até 8,0% nos dois primeiros anos. Testes de robustez confirmam os achados e revelam efeitos antecipados e impactos negativos no setor agropecuário. Os resultados evidenciam a importância de incorporar os efeitos de transbordamento na formulação e avaliação de políticas públicas voltadas ao setor de energia renovável, ao revelar que ignorar os impactos sobre os municípios vizinhos, tratados como grupo de controle em estudos anteriores, pode levar à superestimação dos efeitos positivos associados à instalação de parques eólicos.

Palavras-chave: Parques eólicos, DiD com múltiplos períodos e *spillovers*, vínculos empregatícios e estabelecimentos.

ABSTRACT: This study assesses the effects of wind farm expansion on the accumulation of employment and establishments, by economic sector, in municipalities in Northeastern Brazil. Using data from 1,478 municipalities between 2004 and 2019, we apply a multi-period difference-in-differences model, proposed by Butts (2023), which allows us to estimate both the direct effects and, for the first time, the spillover effects. The results indicate that wind farm implementation increases industrial employment by up to 36.2% after one and two years in the municipalities directly affected, while establishments in this sector grow between 14.2% and 25.3% from the first to the fourth year. Negative spillovers are also observed on employment between the fourth and sixth years. In the trade and services sector, there are negative effects on ties in neighboring municipalities in the first and fourth years, but positive effects on establishments of up to 8.0% in the first two years. Robustness tests confirm the findings and reveal anticipated effects and negative impacts on the agricultural sector. The results highlight the importance of incorporating spillover effects into the formulation and evaluation of public policies aimed at the renewable energy sector, revealing that ignoring the impacts on neighboring municipalities, treated as a control group in previous studies, can lead to an overestimation of the positive effects associated with the installation of wind farms.

Keywords: Wind farms, DiD with multiple periods and *spillovers*, employment relationships and establishments.

Classificação JEL: Q42, R11, C23.

Área 11: Mercado de trabalho, Demografia e Migração

¹ Doutorando em Economia Aplicada pelo PPGE-UFPB. E-mail: edcleutsonsouza@gmail.com

² Doutor em Economia e Professor da FEA-USP.

³ Doutor em Economia Aplicada e Professor do PPGE-UFPB.

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente preocupação com a mitigação das mudanças climáticas e os esforços para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), tem-se observado um reconhecimento, tanto entre países desenvolvidos quanto em desenvolvimento, da importância das fontes de energia renovável como alternativas estratégicas para um futuro energético mais seguro e sustentável (SIMAS; PACCA, 2014; KARASMANAKI, 2022).

Nesse contexto, a energia eólica tem se destacado como uma fonte renovável promissora, em decorrência de seu baixo custo de geração, segurança no fornecimento e sustentabilidade ambiental, contribuindo de forma significativa para o alcance das metas globais de desenvolvimento sustentável definidas pela Organização das Nações Unidas (ONU). Como resultado, em países com condições de vento favoráveis, tem-se registrado, nos últimos anos, uma expansão exponencial na instalação de parques eólicos ao redor do mundo (BORBA; SZKLO; SCHAEFFER, 2012; GONÇALVES; RODRIGUES; CHAGAS, 2020).

Além dos ganhos ambientais, a implantação desses empreendimentos também desempenha um papel relevante na promoção do desenvolvimento regional. De acordo com a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), o setor de energia eólica⁴ empregou em 2019 cerca de 1,17 milhão de pessoas em escala global. Nesse contexto, Vasconcellos e Couto (2021) argumenta que, para além da geração de empregos diretos, esses empreendimentos contribuem para a dinamização da economia local, refletindo-se positivamente em indicadores socioeconômicos, como o Produto Interno Bruto (PIB) e a arrecadação tributária.

No Brasil, a expansão da energia eólica ganhou força a partir da segunda metade da década de 2000, inicialmente com o lançamento do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), instituído pela Lei nº 10.438 de 2002. Esse crescimento foi posteriormente fortalecido com a adoção do sistema de leilões para contratação de projetos de energia renovável, apoiado por linhas de crédito oferecidas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Além disso, a região Nordeste, que reúne as condições de vento mais favoráveis à geração eólica no país, tem se beneficiado de incentivos fiscais voltados à atração e consolidação desses empreendimentos (AQUILA et al., 2016; GONÇALVES; RODRIGUES; CHAGAS, 2020).

Atualmente, o país ocupa a quinta posição mundial em capacidade tangível de energia eólica, e segundo o Global Wind Energy Council (GWEC), a capacidade instalada de energia eólica no Brasil aumentou de 25 MW em 2005 para 927 MW em 2010, crescendo exponencialmente e chegando a 16 GW em 2019. Esse crescimento notável é impulsionado, sobretudo, pelas condições favoráveis de vento, caracterizadas por alta velocidade e regularidade, da região Nordeste, que se destaca como a maior produtora de energia eólica do país (GONÇALVES; RODRIGUES; CHAGAS, 2020). Em 2019, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), cerca de 83,95% dos parques eólicos instalados e em operação no Brasil estão localizados nessa região o que representa aproximadamente 14,5 GW da capacidade nacional instalada de energia eólica.

Diversos estudos têm buscado mensurar os efeitos da energia renovável, inclusive a eólica, sobre o mercado de trabalho. No entanto, os resultados variam amplamente em função das diferentes metodologias empregadas e, em alguns casos, da definição dos grupos de controle. Na literatura internacional, voltada principalmente para países desenvolvidos, há evidências heterogêneas. Por exemplo, Moreno e López (2008) analisam a região das Astúrias, na Espanha, entre 2006 e 2010, e identificam que a implementação da energia eólica e solar está associada a uma maior geração de empregos. Em contrapartida, também na Espanha, Almazán-Gómez et

⁴ abrangendo as modalidades *onshore* e *offshore*

al. (2025), com base em uma análise por meio de matriz insumo-produto, demonstraram que a instalação de parques eólicos no condado de Matarrña, no nordeste do país, não gera valor econômico significativo, tampouco promove a criação de empregos da região. Hartley et al. (2015), ao utilizarem dados mensais de condados do Texas entre 2001 e 2011 com métodos de primeira diferença e GMM, não encontram efeitos significativos da energia eólica sobre o emprego ou salários locais. Já Brown et al. (2012), com uso de variável instrumental e dados de 1.009 condados em 12 estados dos EUA (2000–2008), concluem que as instalações eólicas aumentaram o nível de emprego e a massa salarial. Em Portugal, Costa e Veiga (2021) mostraram que, entre 1997 e 2017, os investimentos em parques eólicos reduziram o desemprego durante a fase de construção, com efeitos que se estendem até 30 km do empreendimento.

Para os países em desenvolvimento, a exemplo da China, Zhang et al. (2024), com base em dados em painel para o período de 2008 a 2022 e controles por efeitos fixos de cidade e ano, avaliam o impacto do crescimento das fontes de energia renovável, incluindo a eólica, sobre o emprego agregado. Os resultados sugerem que um aumento de 1% na produção de energia renovável está associado a um crescimento de aproximadamente 0,013% no emprego total, com variações importantes entre os diferentes setores e regiões.

Para o Brasil, o primeiro estudo focado em avaliar o impacto dos investimentos em energia eólica sobre o mercado de trabalho é o de Simas e Pacca (2014), que utilizou dados de entrevistas do segundo semestre de 2011 e primeiro semestre de 2012 para construir índices relacionados ao tema. Os autores constataram que a maior geração de empregos ocorre na fase de construção dos parques eólicos, enquanto os empregos criados na operação e manutenção, embora em menor quantidade, se destacam por se manterem durante toda a vida útil dos empreendimentos. Com a grande expansão desses projetos no país, recentemente surgiram novas avaliações empregando novas abordagens metodológicas. Por meio do estimador de DiD, Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020) analisou o impacto dos parques eólicos entre 2004 e 2016, identificando aumento do emprego nos setores industrial, agrícola e de construção, bem como elevação dos salários, exceto no setor de energia, especialmente entre trabalhadores com até o ensino médio e em pequenas e médias empresas. De forma semelhante, Lessa et al. (2024) focaram na região Nordeste entre 2003 e 2019 e confirmaram que as instalações eólicas elevaram o nível de emprego e a massa salarial desde o início da construção, com efeitos persistindo por até cinco anos. Em uma análise mais abrangente, Nunes et al. (2024) avaliaram os efeitos do PROINFA entre 2002 e 2018, combinando *propensity score matching* com DiD, reforçando os achados anteriores e acrescentando que a introdução de fontes renováveis, como a eólica, também aumentou a receita *per capita* e os gastos de capital dos municípios.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da expansão dos parques eólicos sobre a acumulação de vínculos empregatícios e de estabelecimentos por setor econômico nos municípios da região Nordeste do Brasil. A questão central consiste em compreender em que medida a implantação de um parque eólico contribui para o desenvolvimento local, analisando os efeitos no emprego e nos estabelecimentos, a forma como os efeitos se manifestam nos diferentes setores econômicos, se e como os municípios vizinhos são impactados, em quais fases do empreendimento os impactos ocorrem e qual a duração dos mesmos.

Para alcançar o objetivo proposto, utilizamos o estimador de Diferenças em Diferenças (DiD), proposto por Butts (2023), o qual permite explorar tanto a natureza escalonada da implementação dos parques eólicos quanto a dimensão espacial, captando os impactos não apenas nos municípios diretamente beneficiados, mas também nos seus vizinhos. A abordagem também permite incorporar efeitos fixos por município e por tempo, controlando por fatores não observados que sejam constantes no tempo (como características geográficas ou institucionais dos municípios) e por choques temporais comuns (como políticas federais ou choques macroeconômicos

nacionais). Para isso, construímos um painel de dados em nível municipal para a região Nordeste do Brasil, abrangendo o período de 2004 a 2019, com informações provenientes de diferentes fontes, a saber: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Censo Demográfico/IBGE), Finanças do Brasil (FINBRA) e Tribunal Superior Eleitoral (TSE).

Este trabalho traz uma contribuição inédita à literatura ao utilizar uma metodologia recente e robusta, que permite medir não apenas os efeitos diretos da implantação de parques eólicos nos municípios beneficiados, mas também os potenciais impactos indiretos sobre os municípios vizinhos. Tal abordagem representa um avanço importante, considerando que estudos anteriores sobre a expansão de parques eólicos apresentam limitações ao tratar os municípios vizinhos. Alguns, como os de Lessa et al. (2024) e Nunes et al. (2024), os incluem como grupo de controle sem levar em conta possíveis efeitos de *spillover*, o que pode comprometer a consistência das estimativas. Outros os excluem da análise, deixando de captar impactos indiretos relevantes. Há ainda aqueles que, mesmo reconhecendo essa possibilidade, não utilizam métodos que permitam isolá-los adequadamente, podendo resultar em estimativas enviesadas, como o de Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020).

Além desta introdução, o estudo está organizado em cinco seções. A segunda seção apresenta um panorama da energia eólica no Brasil. A terceira detalha a estratégia empírica adotada, enquanto a quarta descreve a base de dados utilizada. Na quinta seção, são discutidos os resultados, incluindo os testes de robustez. Por fim, a sexta seção reúne as considerações finais do trabalho.

2 PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

A primeira turbina eólica no Brasil foi instalada em 1992, no arquipélago de Fernando de Noronha. Já o primeiro parque eólico entrou em operação em 1999, no estado do Paraná, com cinco turbinas. A expansão mais significativa da energia eólica no país, no entanto, teve início com o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA), criado para aumentar a participação de fontes renováveis, como energia eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas, no Sistema Interligado Nacional (SIN), por meio de incentivos a produtores independentes. Na primeira fase do programa, entre 2006 e 2008, o governo garantiu a compra da energia gerada por um período de vinte anos. Nesse período, foram implementados 54 parques eólicos, com capacidade instalada estimada em 1,40 GW (GONÇALVES; RODRIGUES; CHAGAS, 2020; LIMA et al., 2020).

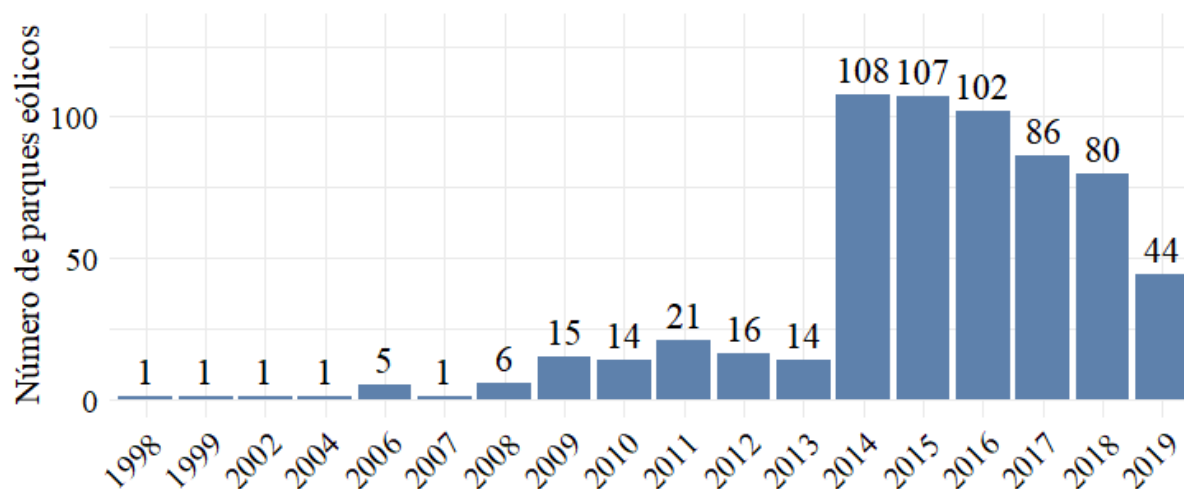
Além do PROINFA, os leilões de energia renovável, regulamentados pela Lei nº 10.848/2004, também impulsionaram o setor, especialmente com o suporte de linhas de crédito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). No entanto, a energia eólica só passou a concorrer com outras fontes a partir dos leilões realizados em 2008 (AQUILA et al., 2016; GONÇALVES; RODRIGUES; CHAGAS, 2020).

Adicionalmente ao PROINFA e aos leilões, incentivos fiscais também são concedidos por instituições como a Sudene, voltados a empreendimentos de energia em regiões específicas do país, especialmente no Nordeste e em partes de alguns estados do Sudeste (BRASIL, 2002). Vale notar que, já a partir da implementação do PROINFA e da realização dos leilões para fontes renováveis, observa-se um crescimento exponencial no número de parques eólicos em operação no país (GONÇALVES; RODRIGUES; CHAGAS, 2020).

Esse crescimento se torna mais evidente a partir de 2006, intensificando-se em 2014, quando 108 parques eólicos entraram em operação. Antes disso, o recorde havia sido de 21 novos parques em 2011, conforme mostrado na Figura 1, que apresenta apenas os parques que se

encontram atualmente em operação.

Figura 1 – Número de parques eólicos em operação por ano de início das atividades



Fonte: Elaboração dos autores.

A instalação desses parques eólicos é impulsionada, sobretudo, pelas condições climáticas favoráveis da região, em especial pela velocidade dos ventos. Sua importância é tamanha que além das diretrizes a serem seguidas por projetos de energia que participam dos leilões⁵, o requisito fundamental que maximiza a chance do projeto vencer está condicionado a localização do futuro empreendimento em uma área de alta velocidade de vento. No que concerne a esse requisito, a região Nordeste se destaca, tornando-se o principal polo de geração de energia eólica do país, abrigando aproximadamente 89,83% dos parques eólicos em operação do país, ilustrados na Figura 1 (GONÇALVES; RODRIGUES; CHAGAS, 2020; LESSA et al., 2024). É importante destacar que, dos nove estados que compõem a região Nordeste, apenas oito integram o subsistema elétrico Nordeste. Ainda assim, esse subsistema concentra aproximadamente 88,24% dos parques eólicos em operação no país, o que evidencia que a maior parte dos empreendimentos localizados na região está inserida nesse subsistema.

Desse modo, a expansão da energia eólica na matriz energética brasileira tem desempenhado um papel importante no atendimento à crescente demanda por eletricidade, ao mesmo tempo em que contribui para contornar os obstáculos enfrentados por projetos hidrelétricos e termelétricos, especialmente no que se refere às restrições de licenciamento ambiental. Por se tratar de uma fonte renovável, sua ampliação também reduz a dependência do Sistema Interligado Nacional (SIN) em relação a fontes fósseis, colaborando para a mitigação das emissões de GEE e para o cumprimento das metas climáticas assumidas pelo Brasil (LIMA et al., 2020).

Desse modo, a implementação desses empreendimentos possui o potencial de dinamizar a economia local, impactando não apenas a dinâmica do município diretamente beneficiado, mas também a de seus vizinhos. Além disso, esses efeitos podem se manifestar de forma heterogênea

⁵ Diretrizes a serem seguidas pelos projetos participantes de leilão: i) dados anemométricos de velocidade e direção do vento onde o empreendimento irá ser implementado, correspondente aos últimos três anos; ii) a interferência verificada de aerogeradores nas áreas vizinhas; iii) uma certificação que atesta a viabilidade de conexão de um parque eólico ao sistema de transmissão de energia; iv) licenças ambientais; e, v) uma certificação sobre direitos de uso da terra.

entre os diferentes setores econômicos, refletindo as particularidades da estrutura produtiva e das interações regionais.

3 ESTRATÉGIA ECONOMETRICA

Para avaliar o impacto da instalação dos parques eólicos sobre a acumulação de emprego e estabelecimentos, exploramos tanto a natureza escalonada desse processo, em que os parques entram em operação em momentos distintos no tempo e, uma vez ativos, mantêm os municípios permanentemente expostos ao tratamento nos anos subsequentes, quanto os possíveis *spillovers* sobre os municípios vizinhos. Essa dinâmica, ao mesmo tempo temporal e espacial, permite a utilizar a estratégia de DiD proposta por Butts (2023).

Além da vantagem de estimar os efeitos ao longo do tempo de exposição, tanto para os municípios tratados quanto para seus vizinhos, essa abordagem oferece benefícios importantes em relação às estratégias tradicionais de DiD. Em particular, possibilita incorporar efeitos fixos por município e por tempo, controlando por fatores não observados que sejam constantes no tempo (como características geográficas ou institucionais dos municípios) e por choques temporais comuns (como políticas federais ou choques macroeconômicos nacionais). Adicionalmente, os erros-padrão podem ser agrupados por regiões intermediárias, imediatas, estados, entre outros níveis, o que possibilita capturar correlações nas perturbações entre municípios dentro dessas unidades, aumentando a robustez da inferência estatística.

Diante disso, a equação correspondente ao estudo de eventos implementado é apresentada a seguir:

$$Y_{it} = \theta_i + \rho_t + X_{it}\beta + \sum_{k=-14}^{-2} \pi_y D_{it}^k + \sum_{k=0}^{14} \tau_y D_{it}^k + \sum_{k=-14}^{-2} \lambda_y S_{it}^k (1 - D_{it}) + \sum_{k=0}^{14} \delta_y S_{it}^k (1 - D_{it}) + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

onde Y_{it} representa nossas variáveis de interesse (empregos ou estabelecimentos) no município i e tempo t ; X_{it} contém um conjunto de variáveis de controle; D_{it}^k é o indicador característico de um estudo de eventos, para tratamento do município i há k anos; do mesmo modo S_{it}^k captura o efeito de *spillover* geográfico, indicando se o município i estava sujeito a influências indiretas do tratamento há k períodos, com base em critérios pré-definidos de distância geográfica; Os coeficientes π_y e λ_y permitem testar a hipótese de tendências paralelas no período anterior ao tratamento, para o município diretamente beneficiado e para o seu *spillover*, respectivamente, por y anos. Por sua vez, τ_y e δ_y representam os efeitos do tratamento sobre o município tratado e sobre o *spillover*, respectivamente, y anos após sua implementação. Por fim θ_i denota efeitos fixos específicos do município; ρ_t denota efeitos fixos de tempo e ε_{it} representa o termo de erro.

Vale ressaltar que a confiabilidade da inferência causal dos efeitos estimados em um desenho de estudo de eventos, conforme proposto por Butts (2023), depende do atendimento às seguintes suposições: i) Amostragem aleatória (*Random Sampling*); ii) Ausência de antecipação (*No Anticipation*), ou seja, os municípios não ajustam seu comportamento com base em expectativas sobre o tratamento futuro; iii) Tendências contrafactuais paralelas (*Parallel Counterfactual Trends*), implicando que, na ausência de tratamento, as tendências médias dos resultados seriam semelhantes entre os grupos de comparação; iv) Tendências paralelas por nível de exposição (*Switching Effect Parallel Trends*), segundo a qual, para um dado grau de exposição ao tratamento (*spillover*), as trajetórias contrafactuais não variam com o momento em que a unidade é tratada; v) *Spillovers* locais (*Spillovers Are Local*), hipótese segundo a qual

os efeitos de transbordamento são geograficamente limitados, existindo uma distância além da qual o tratamento não afeta unidades vizinhas; vi) Tendências paralelas para o efeito total (*Total Effect Parallel Trends*), assumindo que as trajetórias contrafactuais não variam em função da exposição direta ou indireta ao tratamento (*spillover*); vii) Tendências paralelas para o efeito de *spillover* (*Spillover Effect Parallel Trends*), a qual exige que, entre as unidades não tratadas, aquelas com diferentes níveis de exposição indireta ao tratamento apresentem padrões temporais similares, independentemente da intensidade do *spillover*.

4 DADOS

Para alcançar o objetivo proposto neste estudo, foi construído um painel anual com 1.478 municípios, abrangendo o período de 2004 a 2019⁶. A seleção desse intervalo se deve ao uso de dois anos de pré-tratamento, considerando que o primeiro município foi tratado em 2006⁷ e à decisão de não incluir os anos afetados pela pandemia, adotando-se 2019 como ano final da amostra.

As variáveis dependentes, logaritmo do número de vínculos empregatícios e de estabelecimentos, são construídas com base nas informações disponibilizadas pela RAIS. Já a variável de tratamento foi elaborada a partir do ano de entrada em operação dos parques eólicos em cada município, com dados extraídos do Sistema de Informações de Geração da ANEEL, que fornece informações sobre o ano de início da operação, a potência e a quantidade de usinas por município⁸. Com isso, a amostra final conta com 61 municípios tratados⁹.

Para a construção da variável que capta o efeito de *spillover* do tratamento, são considerados raios de 50, 60 e 75 km. Com isso, o número de municípios classificados como expostos indiretamente ao tratamento foi, respectivamente, de 290, 384 e 518. O objetivo é identificar, posteriormente, a distância na qual esse efeito atinge sua maior magnitude e utilizá-la como resultado principal.

Quanto à definição do grupo de controle, adotou-se uma distância de segurança, considerando apenas municípios localizados a mais de 100 km daqueles diretamente expostos ao tratamento. Assim, o grupo de controle é formado exclusivamente por 736 municípios da região Nordeste localizados a mais de 100 km do parque eólico mais próximo. Essa medida visa evitar qualquer viés decorrente de efeitos indiretos do tratamento, garantindo que os municípios do grupo de controle não sejam influenciados pelos impactos gerados nos municípios tratados.

Em relação às covariáveis, foi utilizado um conjunto de variáveis que capturam características socioeconômicas e demográficas dos municípios, as quais podem influenciar direta ou indiretamente o mercado de trabalho, seguindo principalmente o estudo de Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020). Entre elas, temos o índice de Gini e a proporção da população em extrema pobreza, ambos construídos com base nos dados do Censo Demográfico; a densidade demográfica, calculada como a razão entre a população total e a área do município, com informações provenientes do IBGE; a taxa de mortalidade infantil, a qual corresponde ao número de óbitos

⁶ Nem todos os 1.794 municípios da região Nordeste foram considerados na análise devido à ausência de informações para algumas das covariáveis em determinados municípios.

⁷ Embora o PROINFA tenha sido instituído em 2002, o primeiro parque eólico entrou em operação apenas em 2006, marcando o início efetivo do tratamento.

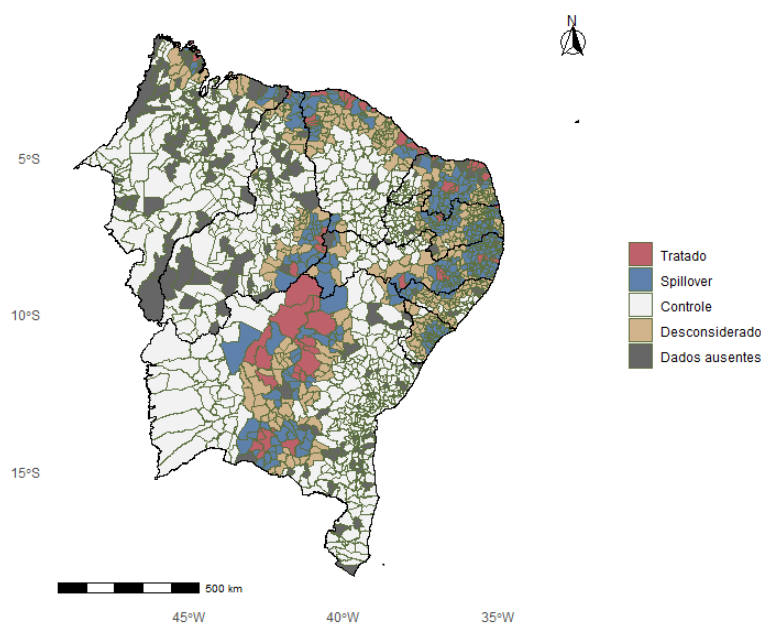
⁸ Entre os parques eólicos em operação na região Nordeste, quatro, localizados nos municípios de Pindoretama (CE), Macau (RN), Fortaleza (CE) e Brejinho (RN), não possuem registro do ano de entrada em operação. Por esse motivo, esses municípios foram excluídos da análise, assim como aqueles localizados em um raio de 100 km a partir deles.

⁹ Embora 73 municípios distintos possuam parques eólicos em operação, em 12 deles há ausência de dados para algumas covariáveis. Apesar de não serem incluídos diretamente na análise, os efeitos de *spillover* provenientes desses municípios são considerados.

infantis dividido pelo número de nascidos vivos e multiplicado por mil, com dados extraídos do DATASUS; e o logaritmo das despesas correntes municipais, obtido a partir do sistema FINBRA. Por fim, foi incluída uma dummy que indica se o partido político do prefeito, no início do período, coincide com o do presidente da República, construída com base em informações do TSE.

Na Figura 2, é possível visualizar a distribuição espacial dos municípios tratados, dos potenciais *spillovers* a um raio de até 60 km, do grupo de controle, daqueles desconsiderados por estarem situados a menos de 100 km dos parques eólicos, bem como dos municípios excluídos devido à falta de informações nas covariáveis.

Figura 2 – Distribuição espacial dos municípios tratados, *spillover*, controle e excluídos



Fonte: Elaboração dos autores.

Na Figura 2, são apresentados os 61 municípios tratados, com presença de parques eólicos, destacados em vermelho, os 384 municípios potenciais impactados com efeitos de *spillover*, localizados em um raio de até 60 km, em azul, e os 736 municípios do grupo de controle, em branco, enquanto a margem de segurança de 100 km está delineada em amarelo e os municípios com ausência de informações em alguma das covariáveis ao longo dos anos aparecem em cinza.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultado principal

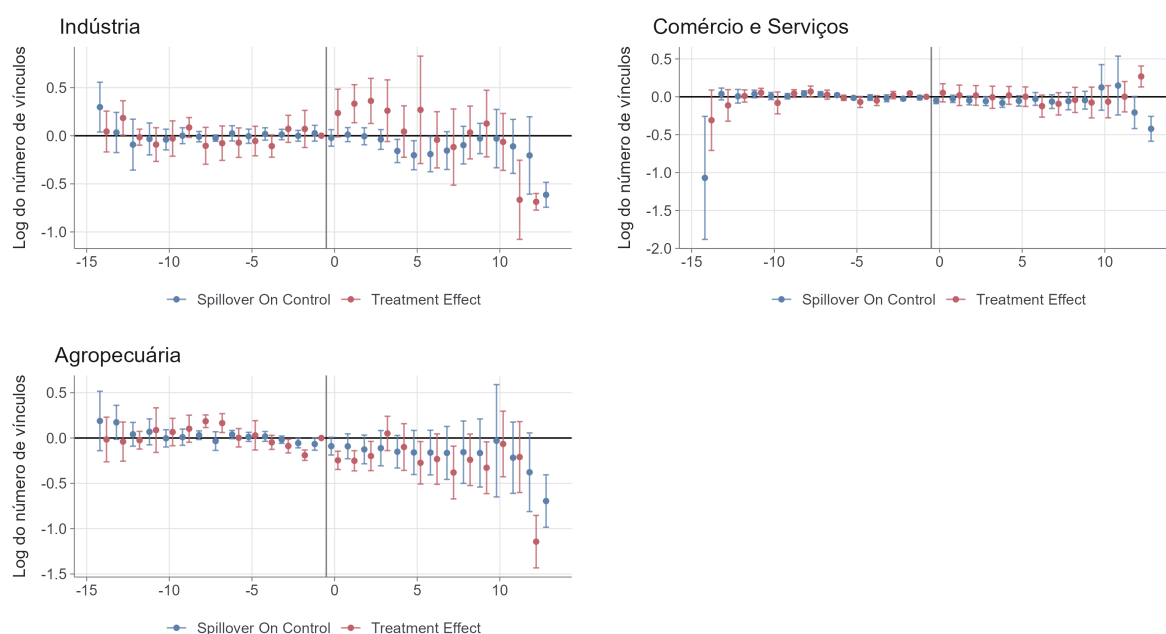
Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados obtidos neste estudo, utilizando a estratégia descrita na seção metodológica. Para os resultados principais, foram realizadas estimações condicionais às covariáveis, considerando efeito fixo de município e tempo para os grandes setores da economia: indústria, comércio e serviços e agropecuária.

Na Figura 3, são apresentados os resultados para o logaritmo do número de vínculos empregatícios ao longo do tempo, incluindo os períodos anteriores e posteriores à instalação dos

parques eólicos. Os pontos centrais correspondem às estimativas, com intervalos de confiança representados pelas barras verticais. As barras vermelhas indicam os resultados para os municípios diretamente beneficiados com a instalação dos empreendimentos (municípios tratados), enquanto as barras azuis mostram os resultados para os municípios vizinhos localizados em um raio de até 60 km¹⁰ do parque eólico mais próximo. As estimativas do período pré-tratamento servem para avaliar a hipótese de trajetórias paralelas condicionais às covariáveis. Essa hipótese não é rejeitada quando os intervalos de confiança incluem o zero nos períodos anteriores à intervenção. Por sua vez, as estimativas do pós-tratamento indicam o efeito da política e são consideradas estatisticamente significativas quando seus intervalos de confiança não contêm o valor zero.

Conforme podemos observar, no caso dos setores da indústria e do comércio e serviços, não se rejeita a hipótese de trajetórias paralelas no pré-tratamento ¹¹.

Figura 3 – Efeitos da expansão dos parques eólicos por tempo de exposição no logaritmo do número de vínculos



Fonte: Elaboração dos autores.

Quanto ao pós-tratamento, observamos que a implantação de parques eólicos impacta positivamente os municípios beneficiados do Nordeste, com aumentos nos vínculos empregatícios de aproximadamente 33,3% e 36,2% após um e dois anos de exposição ao tratamento, respectivamente. Em contrapartida, identificamos efeitos negativos sobre os municípios vizinhos, com reduções nos vínculos de cerca de 15,8%, 20,2% e 19,1% após quatro, cinco e seis anos de exposição, respectivamente.

No setor de comércio e serviços, nos primeiros anos de exposição ao tratamento, apenas os efeitos de *spillovers* se mostram significante estatisticamente. Especificamente, nos municípios

¹⁰ Essa é a distância na qual os efeitos de *spillover* sobre os vínculos empregatícios atingem seu ponto máximo, conforme evidenciado na comparação com as distâncias de 50 km e 75 km, cujos resultados estão disponíveis no Apêndice A.

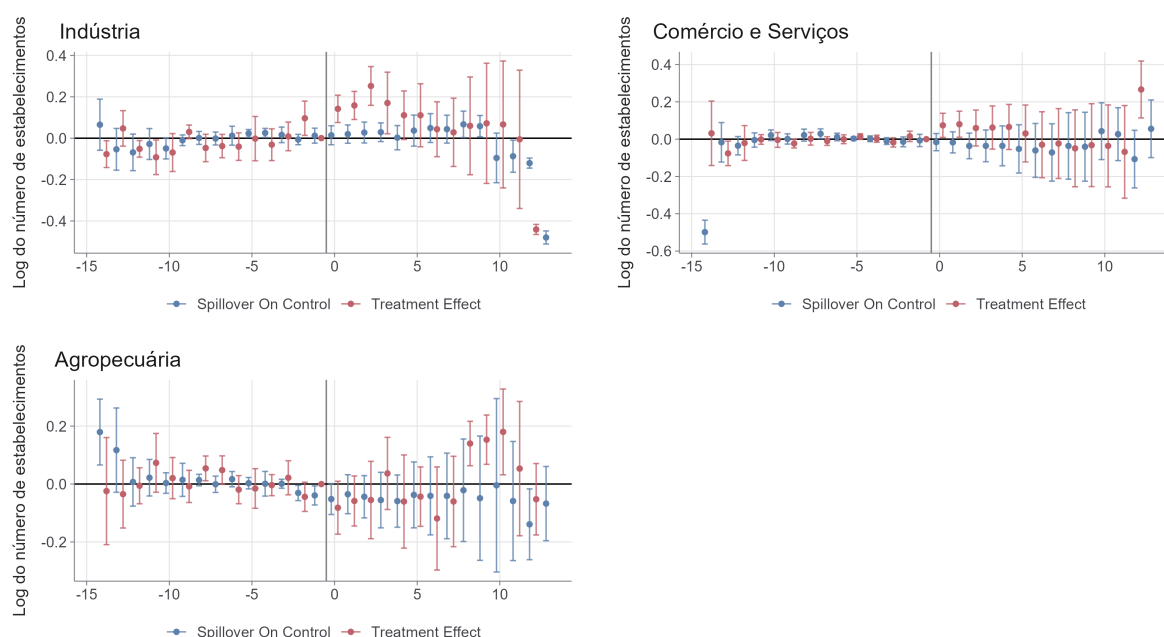
¹¹ Segundo Roth et al. (2023), a presença de pré-tendências pontualmente significativas não invalida a identificação do efeito causal, especialmente quando apresentam baixa magnitude ou sinal oposto ao efeito estimado no pós-tratamento.

vizinhos os vínculos empregatícios foram reduzidos em aproximadamente 5,1% e 8,0% no primeiro e no quarto anos de exposição, respectivamente.

Por fim, no setor agropecuário, os efeitos identificados sobre os municípios tratados são predominantemente negativos. No entanto, observam-se tendências significativas já nos dois anos anteriores ao início da operação dos parques eólicos, o que sugere uma possível reação antecipada à política, possivelmente em resposta a fase de construção dos empreendimentos.

Na Figura 4, é possível visualizar o impacto nos estabelecimentos, nos quais o efeito de *spillover* atinge o seu máximo a 50 km¹². Novamente, não rejeitamos a hipótese de tendências paralelas no pré-tratamento dos setores da indústria e de comércio e serviços.

Figura 4 – Efeitos da expansão dos parques eólicos por tempo de exposição no logaritmo do número de estabelecimentos



Fonte: Elaboração dos autores.

No período pós-política, notam-se efeitos estatisticamente significativos no setor industrial apenas nos municípios diretamente tratados, com impactos positivos concentrados nos primeiros anos de exposição. Estima-se que os estabelecimentos industriais tenham aumentado em aproximadamente 14,2%, 15,8%, 25,3% e 17% do primeiro ao quarto ano de exposição ao tratamento, respectivamente.

No setor de comércio e serviços, constatamos resultados semelhantes aos observados no setor industrial, com efeitos estatisticamente significativos nos anos iniciais de exposição apenas nos municípios tratados, apresentando impacto positivo com aumentos de aproximadamente 7,4% e 8,0% nos estabelecimentos desse setor do primeiro ao segundo ano de exposição, respectivamente. Já para o setor da agropecuária, não se observam efeitos estatisticamente significativos nos anos iniciais de exposição ao tratamento.

De modo geral, os impactos positivos sobre os vínculos empregatícios nos municípios diretamente beneficiados, especialmente no setor industrial, estão alinhados com os achados de

¹² Realizamos diferentes métricas de distância, utilizando raios de 50 km, 60 km e 75 km, que podem ser consultadas no Apêndice A. A escolha da distância de 50 km baseia-se nos resultados empíricos, que apontaram esse raio como o ponto em que o efeito de *spillover* sobre os estabelecimento foi mais pronunciado.

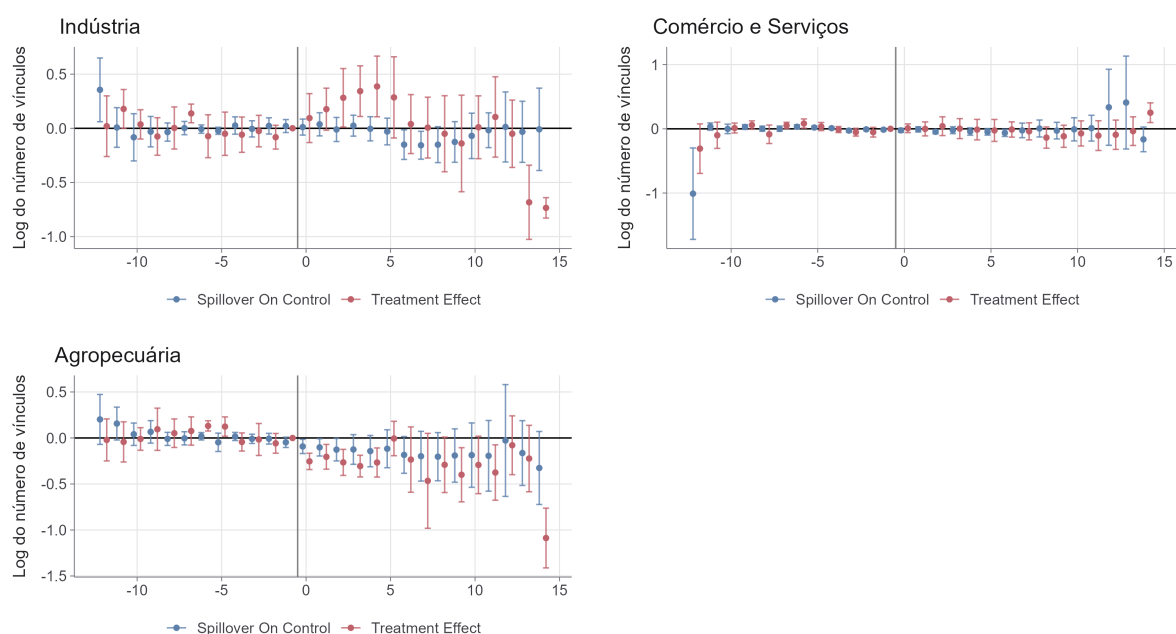
Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020) e com os resultados agregados de Lessa et al. (2024). No caso dos estabelecimentos, dimensão até então não explorada na literatura, merece destaque o crescimento observado nos setores industrial e de comércio e serviços, que antecede o aumento dos vínculos empregatícios, sugerindo uma dinâmica de expansão produtiva anterior à geração de empregos.

Os efeitos negativos de *spillover* nos vínculos empregatícios dos setores industrial e de comércio e serviços revelam impactos relevantes, ainda não analisados de forma adequada pela literatura. Esses achados reforçam a necessidade de cautela em estudos que utilizam municípios vizinhos como grupo de controle, como Lessa et al. (2024), pois ignorar esses efeitos pode levar à superestimação dos impactos positivos nos municípios diretamente tratados. Além disso, trabalhos como o de Gonçalves, Rodrigues e Chagas (2020), ao não empregar métodos apropriados para capturar tais efeitos, também podem apresentar estimativas enviesadas.

5.2 Verificações de robustez: Antecipação de tratamento e seleção de amostra

Como o ano de primeiro tratamento adotado nesta análise corresponde ao início da operação dos parques eólicos, é importante considerar que a fase de construção pode, por si só, gerar impactos no mercado de trabalho local. Esse aspecto ganha relevância diante dos resultados principais, que apontam efeitos estatisticamente significativos no setor agropecuário antes do início da operação, sugerindo possíveis impactos antecipados associados à fase de construção dos empreendimentos. Diante disso, realizamos testes específicos para investigar a existência de efeitos de antecipação, considerando os um, dois e três anos anteriores ao início das atividades dos empreendimentos, cujos resultados são apresentados nas figuras a seguir.

Figura 5 – Efeitos da expansão dos parques eólicos por tempo de exposição no logaritmo do número de vínculos com antecipação de dois anos



Fonte: Elaboração dos autores.

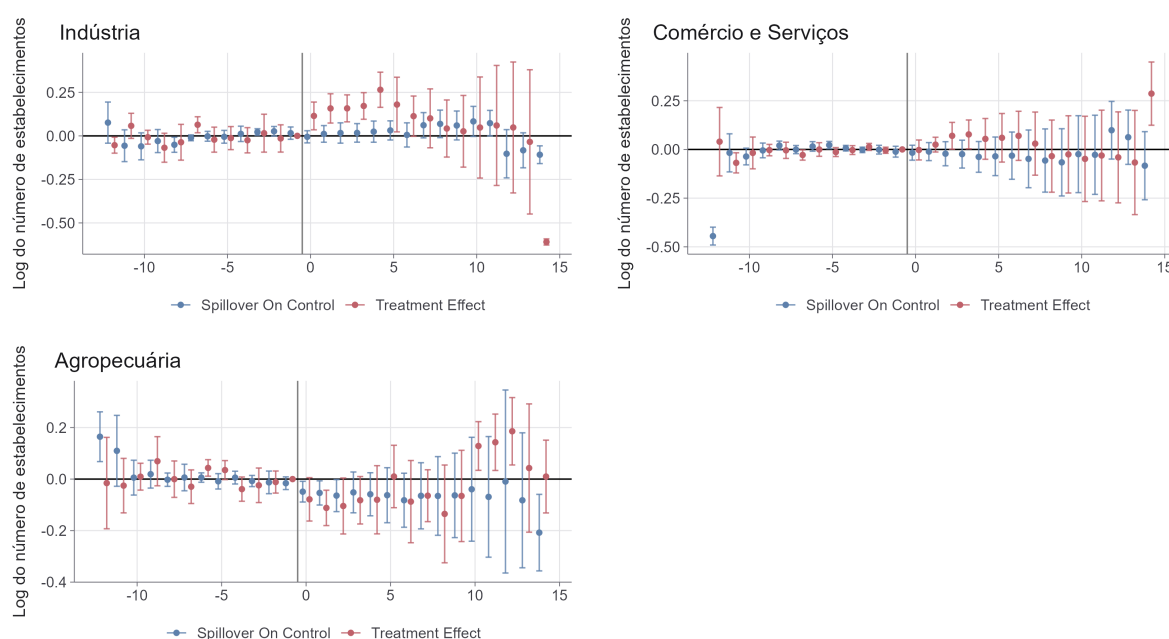
Na Figura 5, ao considerar uma antecipação de dois anos¹³, observamos efeitos positi-

¹³ A escolha da antecipação de dois anos baseia-se na constatação de que, ao considerar três anos, não se observa

vos nos vínculos empregatícios do setor industrial nos municípios diretamente tratados, com aumentos de aproximadamente 28,2%, 34,3% e 38,7% do terceiro ao quinto ano de exposição ao tratamento, respectivamente. Em relação aos efeitos de *spillover*, os impactos negativos nos setores industrial e de comércio e serviços são consistentes com os resultados principais.

No caso do setor agropecuário, o que chama atenção com a antecipação do tratamento é o impacto observado tanto nos municípios tratados quanto nos vizinhos. Nos municípios tratados, os vínculos empregatícios apresentam quedas do primeiro ao quinto ano de exposição, de 25,4%, 20,5%, 26,6%, 30,6% e 26,7%, respectivamente. Por sua vez, os efeitos de *spillover* atingem os municípios vizinhos nos três primeiros anos de exposição, com diminuições de 9,2%, 10,2% e 12,7%. Os efeitos estimados para os estabelecimentos podem ser visualizados na Figura 6¹⁴.

Figura 6 – Efeitos da expansão dos parques eólicos por tempo de exposição no logaritmo do número de estabelecimentos, com antecipação de dois anos



Fonte: Elaboração dos autores.

Notamos na Figura 6, que apenas os setores da indústria e da agropecuária sugerem indícios de antecipação nos estabelecimentos. No setor industrial, esse efeito é estatisticamente significativo apenas nos municípios tratados, estendendo-se do primeiro ao sexto ano de exposição, com aumentos estimados de aproximadamente 11,5%, 15,8%, 15,8%, 17,2%, 26,5% e 18%, respectivamente.

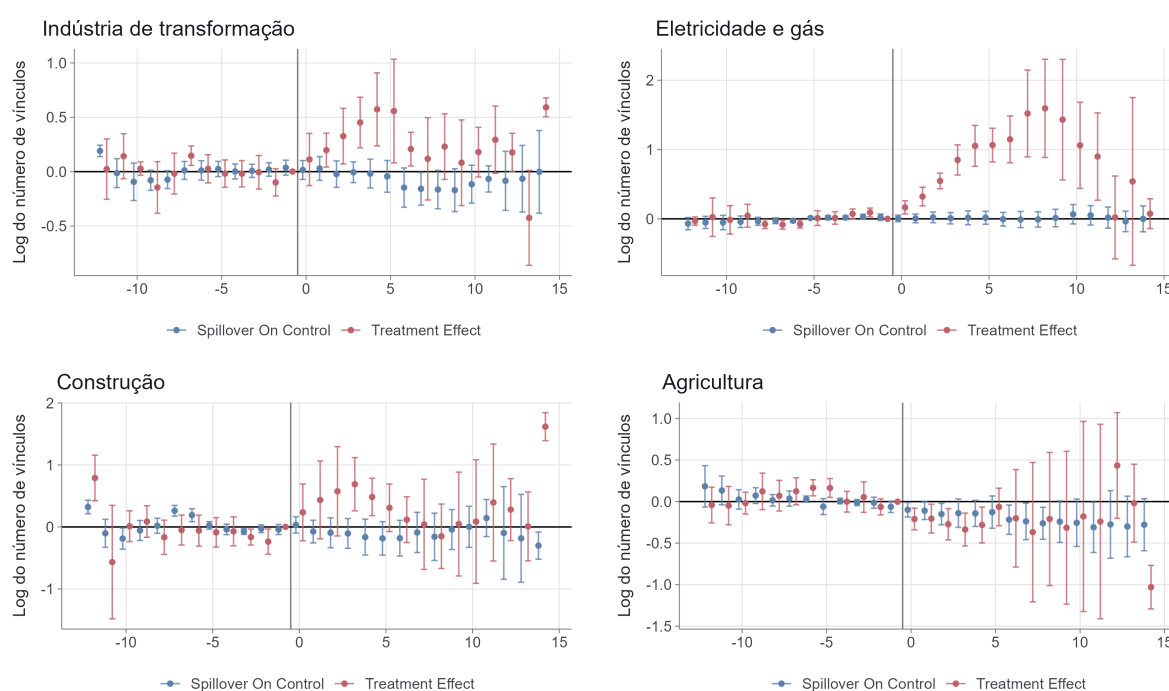
No setor agropecuário, por outro lado, observamos efeitos negativos tanto nos municípios diretamente tratados quanto nos vizinhos. Nos tratados, a redução nos estabelecimentos ocorre exclusivamente no segundo ano de exposição, com uma queda de 11,2%. Já nos municípios vizinhos, os efeitos se estendem do primeiro ao terceiro ano, com reduções de aproximadamente 4,9%, 5,4% e 6,4%, respectivamente.

efeito no primeiro ano de tratamento, enquanto a antecipação de apenas um ano revela tendências significativas no período pré-tratamento. Quanto à definição da distância do *spillover* de 60 km segue o mesmo critério adotado na seção de resultados principais.

¹⁴ Aqui também constatamos que a antecipação de dois anos é a mais adequada. Quanto à definição da distância do *spillover* de 50 km segue o mesmo critério adotado na seção de resultados principais.

Diante do exposto, os resultados mostram que os vínculos empregatícios e os estabelecimentos nos grandes setores da economia reagem de maneira distinta à expansão dos parques eólicos. Considerando essa heterogeneidade setorial, é razoável supor que determinados subsetores experimentem efeitos ainda mais expressivos. Com base nisso, selecionamos os subsetores da indústria de transformação, eletricidade e gás, construção e agricultura, a fim de investigar com maior detalhamento os impactos da expansão eólica sobre essas atividades. Os efeitos estimados sobre os vínculos empregatícios, com antecipação de dois anos e raio de *spillover* de 60 km, são apresentados na Figura 7.

Figura 7 – Efeitos da expansão dos parques eólicos por tempo de exposição, sobre o logaritmo do número de vínculos empregatícios nos subsetores selecionados, com antecipação de dois anos.



Fonte: Elaboração dos autores.

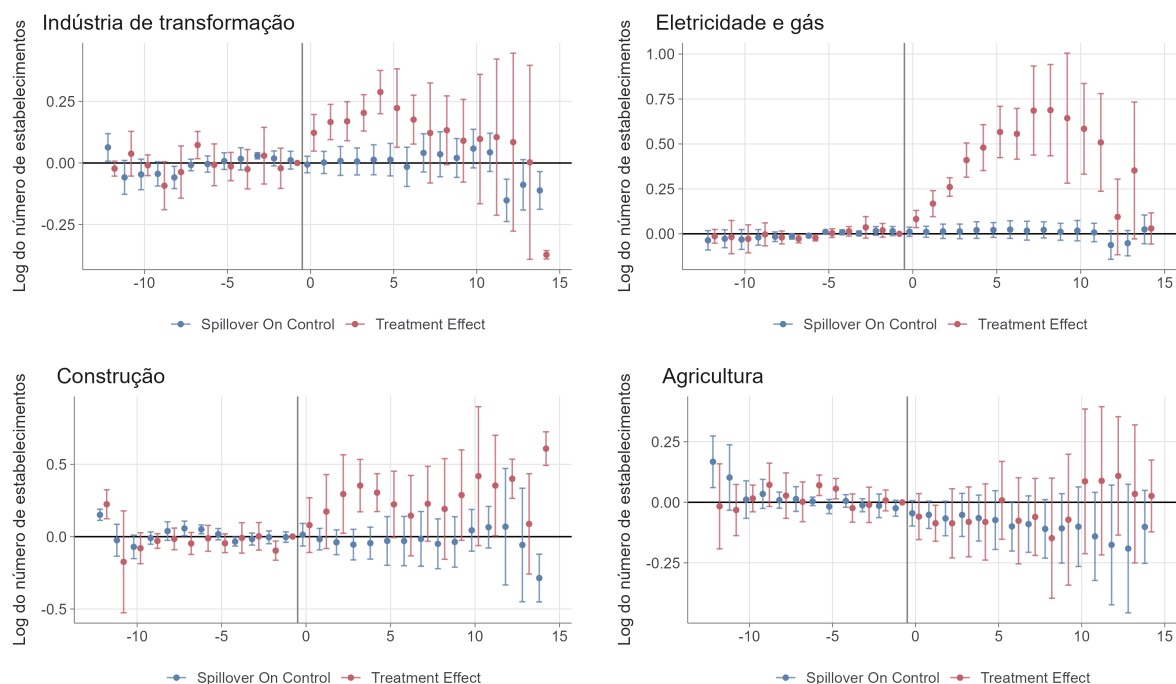
Os resultados da Figura 7 indicam que os efeitos da expansão dos parques eólicos nos subsetores se incidem, de fato, por um período de exposição mais prolongado. Na indústria de transformação, os impactos ocorrem apenas nos municípios tratados, do segundo ao sétimo ano de exposição, com um crescimento nos vínculos empregatícios, que varia de 19,8% no segundo ano a 55,8% no sexto. No subsetor de eletricidade, ao qual se vincula a atividade desempenhada pelos parques eólicos, os efeitos também se concentram exclusivamente nos municípios tratados, estendendo-se do primeiro ao décimo segundo ano de exposição. Esse subsetor apresentou o maior crescimento nos vínculos empregatícios, com variações que vão de 16,6% no primeiro ano a 159,5% no nono ano de exposição.

No subsetor de construção, não observamos efeitos de *spillover* nos anos iniciais de exposição ao tratamento, tampouco sinais de antecipação. Os impactos concentram-se nos municípios tratados, com efeitos estimados de 68,9% e 48% após três e quatro anos de exposição, respectivamente. Por fim, o subsetor da agricultura reflete a tendência observada no seu grande setor, com efeitos negativos nos municípios tratados do primeiro ao quinto ano de exposição, variando de 20,5% a 33,7%. Além disso, identificam-se efeitos negativos de *spillover*, presentes

do primeiro ao terceiro ano e reaparecendo do sétimo ao nono ano de exposição, com variações de 9,8% no primeiro ano a 26,2% no nono.

Na Figura 8 é apresentado os resultados referentes aos estabelecimentos desses mesmos subsectores.

Figura 8 – Efeitos da expansão dos parques eólicos por tempo de exposição sobre o logaritmo do número de estabelecimentos nos subsectores selecionados, com antecipação de dois anos



Fonte: Elaboração dos autores.

Considerando novamente a antecipação de dois anos, os resultados para o número de estabelecimentos se mostram semelhantes àqueles observados para o emprego. Na indústria de transformação, o efeito se estende do primeiro ao sétimo ano de exposição, com variações entre 12,3% e 28,8%, sem evidências de *spillover* sobre os municípios vizinhos. Já o subsector de eletricidade e gás, mais uma vez, apresenta os maiores ganhos, com efeitos do primeiro ao décimo segundo ano de exposição, variando de 8,2% no primeiro ano a 68,8% no nono.

No setor da construção, não se observam indícios de antecipação nem efeitos de *spillover* sobre os municípios vizinhos. Os impactos concentram-se exclusivamente no município tratado, com efeitos positivos entre o terceiro e o quinto ano de exposição, de 29,4%, 35,3% e 30,5%, respectivamente. Por fim, na agropecuária, observa-se apenas um efeito negativo de 8,7% no município tratado no segundo ano de exposição.

Em suma, os resultados corroboram os achados da seção principal, ao trazer novas evidências de que diferentes atividades econômicas são impactadas de formas distintas pela implementação de um parque eólico. Além disso, identificam-se efeitos de *spillover* negativos sobre os municípios vizinhos, especialmente em atividades relacionadas à indústria e à agropecuária. Adicionalmente, identifica-se um efeito de antecipação de até dois anos antes da entrada em operação dos parques eólicos, possivelmente associado à fase de construção, que demanda contratação de serviços e fornecimento de insumos locais. Esse processo contribui para a dinamização da economia, refletida no aumento do número de estabelecimentos nos setores

industrial, comercial e de serviços, bem como no crescimento dos vínculos empregatícios nessas atividades. Contudo, à medida que esses setores se beneficiam, o setor primário tende a reduzir suas atividades, diminuindo número de estabelecimentos e vínculos, tanto nos municípios tratados quanto em seus vizinhos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo avaliar impacto da expansão dos parques eólicos sobre a acumulação de vínculos empregatícios e de estabelecimentos, por setor econômico, nos municípios da região Nordeste do Brasil. A análise buscou entender em que medida a implantação desses empreendimentos contribuem para o desenvolvimento local, por meio do aumento de emprego e de estabelecimento, bem como a forma como tais efeitos se manifestam entre os diferentes setores da economia, as fases do projeto em que se concentram e sua duração. A motivação central da pesquisa decorre do fato de que os parques eólicos podem afetar não apenas o município de instalação, mas também áreas vizinhas, por meio de efeitos de transbordamento, que ainda são pouco incorporados na literatura.

Para tratar essa limitação, utilizamos o estimador de DiD proposto por Butts (2023), que permite captar efeitos dinâmicos da política e mensurar *spillovers* com base na distância geográfica. Essa abordagem robusta possibilita estimar tanto os impactos diretos nos municípios tratados quanto os efeitos indiretos sobre localidades vizinhas, contemplando a heterogeneidade temporal dos impactos.

Os resultados indicam que a instalação de parques eólicos está associada ao aumento dos vínculos empregatícios e do número de estabelecimentos no setor industrial dos municípios que recebem o empreendimento. No caso dos vínculos, esse efeito é estatisticamente significativo após um e dois anos de exposição ao tratamento, com aumentos de 33,3% e 36,2%, respectivamente. Em relação aos estabelecimentos, os impactos positivos se estendem do primeiro ao quarto ano de exposição, com variações entre 14,2% e 25,3%. Por outro lado, identificam-se efeitos de transbordamento (*spillovers*) negativos sobre os vínculos empregatícios nos municípios vizinhos, especialmente após cinco, seis e sete anos de exposição.

No setor de comércio e serviços, observamos inicialmente efeitos de *spillover* negativos de 5,1% e 8,0% nos vínculos empregatícios, no primeiro e no quarto ano de exposição ao tratamento, respectivamente. Em contrapartida, em relação aos estabelecimentos, identificamos efeitos positivos de 7,4% e 8,0% nos municípios diretamente tratados, entre o primeiro e o segundo de exposição. Já no setor agropecuário, a ausência de trajetórias paralelas no período pré-tratamento limitou a interpretação dos resultados estimados.

Testes de robustez confirmam os resultados encontrados e fornecem novas evidências da existência de um efeito de antecipação de dois anos, sobretudo nos setores agropecuário e industrial. No setor agropecuário, os efeitos observados sobre os municípios tratados e os *spillovers* são negativos, tanto no número de vínculos empregatícios quanto de estabelecimentos. Já no setor industrial, o efeito é positivo, manifestando-se apenas no número de estabelecimentos. Adicionalmente, verificamos que o subsector de eletricidade e gás também antecipa esse efeito em dois anos, com impactos que se estendem do primeiro ao décimo ano de exposição ao tratamento, tanto sobre os vínculos quanto sobre os estabelecimentos.

De forma geral, os resultados deste estudo estão alinhados à literatura existente, especialmente no que se refere aos efeitos observados nos municípios diretamente tratados. No entanto, este trabalho avança ao apresentar evidências desagregadas por setor econômico e, adicionalmente, ao demonstrar de forma robusta a presença de efeitos de *spillover*, que devem ser considerados na formulação e avaliação de políticas públicas voltadas à expansão dessa fonte

de energia. A principal limitação da análise está na indisponibilidade de dados em determinados anos, o que impediu a inclusão de todos os municípios contemplados com parques eólicos na amostra.

Como desdobramento futuro, pretendemos aprofundar a investigação incorporando outras variáveis do mercado de trabalho, como salário médio, massa salarial e rotatividade. A inclusão desses indicadores permitirá uma avaliação mais abrangente dos impactos econômicos da implantação de parques eólicos, contribuindo para um entendimento mais completo dos efeitos locais e regionais dessa política de transição energética.

REFERÊNCIAS

ALMAZÁN-GÓMEZ, M. et al. Socioeconomic impacts of wind farms in small and rural areas: a case study in north-eastern Spain. **Clean Technologies and Environmental Policy**, Springer, p. 1–14, 2025.

AQUILA, G. et al. Wind power generation: An impact analysis of incentive strategies for cleaner energy provision in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 137, p. 1100–1108, 2016.

BORBA, B. S. M.; SZKLO, A.; SCHAEFFER, R. Plug-in hybrid electric vehicles as a way to maximize the integration of variable renewable energy in power systems: The case of wind generation in northeastern Brazil. **Energy**, Elsevier, v. 37, n. 1, p. 469–481, 2012.

BRASIL. **Decreto nº 4.213, de 26 de abril de 2002**. Brasília, DF: [s.n.], 2002. Define os setores da economia prioritários para o desenvolvimento regional, nas áreas de atuação da extinta SUDENE, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4213.htm>.

BROWN, J. P. et al. Ex post analysis of economic impacts from wind power development in US counties. **Energy Economics**, Elsevier, v. 34, n. 6, p. 1743–1754, 2012.

BUTTS, K. Difference-in-differences estimation with spatial spillovers. **arXiv preprint arXiv:2105.03737**, 2023.

COSTA, H.; VEIGA, L. Local labor impact of wind energy investment: an analysis of Portuguese municipalities. **Energy Economics**, Elsevier, v. 94, p. 105055, 2021.

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

HARTLEY, P. R. et al. Local employment impact from competing energy sources: Shale gas versus wind generation in Texas. **Energy Economics**, Elsevier, v. 49, p. 610–619, 2015.

KARASMANAKI, E. Is it safe to live near wind turbines? reviewing the impacts of wind turbine noise. **Energy for Sustainable Development**, Elsevier, v. 69, p. 87–102, 2022.

LESSA, L. C. R. et al. A instalação de parques eólicos nos municípios nordestinos afeta o mercado de trabalho local? 2024.

LIMA, M. et al. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris Agreement in Brazil. **Environmental Development**, Elsevier, v. 33, p. 100504, 2020.

MORENO, B.; LÓPEZ, A. J. The effect of renewable energy on employment. the case of asturias (spain). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 12, n. 3, p. 732–751, 2008.

NUNES, A. M. M. et al. Impact assessment of public policies in the municipalities covered by the brazilian incentive program for alternative electricity sources (proinfra). **Renewable Energy**, Elsevier, v. 235, p. 121342, 2024.

ROTH, J. et al. What's trending in difference-in-differences? a synthesis of the recent econometrics literature. **Journal of Econometrics**, Elsevier, v. 235, n. 2, p. 2218–2244, 2023.

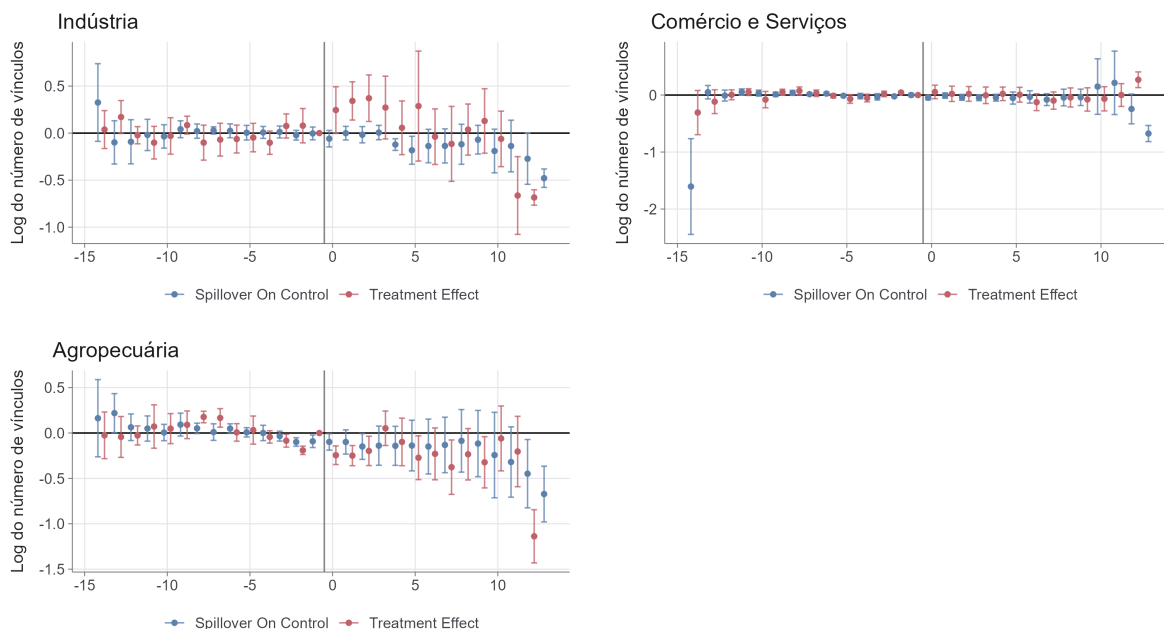
SIMAS, M.; PACCA, S. Assessing employment in renewable energy technologies: A case study for wind power in brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 31, p. 83–90, 2014.

VASCONCELLOS, H. A. S.; COUTO, L. C. Estimation of socioeconomic impacts of wind power projects in brazil's northeast region using interregional input-output analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 149, p. 111376, 2021.

ZHANG, R. et al. Job losses or gains? the impact of supply-side energy transition on employment in china. **Energy**, Elsevier, v. 308, p. 132804, 2024.

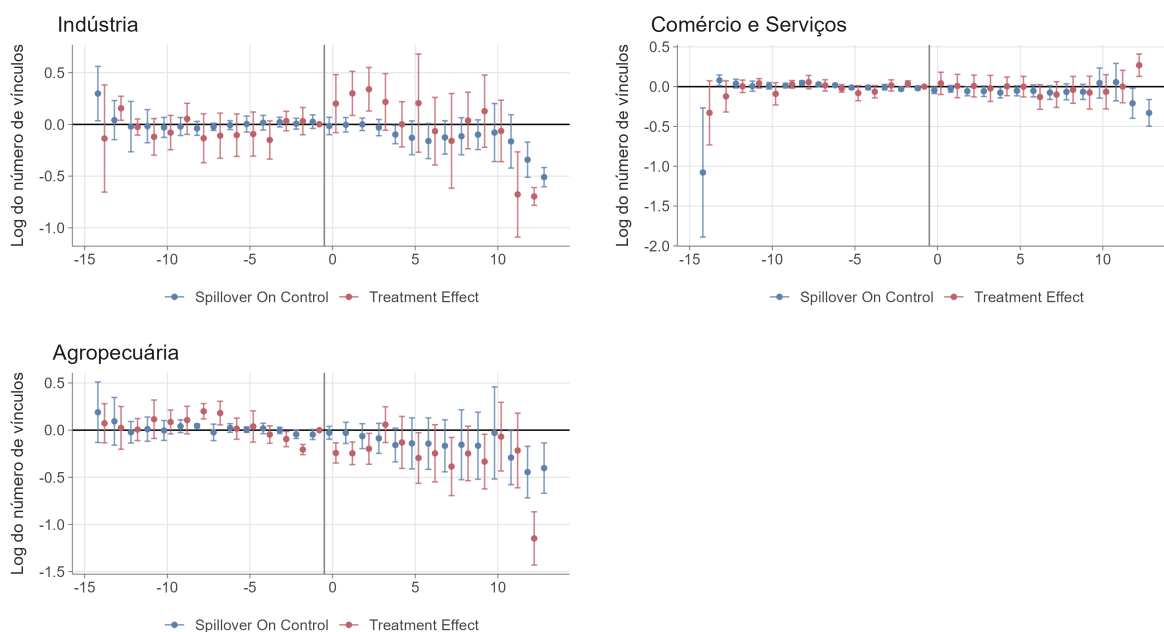
APENDICE - A: RESULTADOS CONSIDERANDO DIFERENTES SPILLOVERS

Figura 9 – Efeitos da expansão dos parques eólicos por tempo de exposição no logaritmo do número de vínculos, *spillover* de 50 km



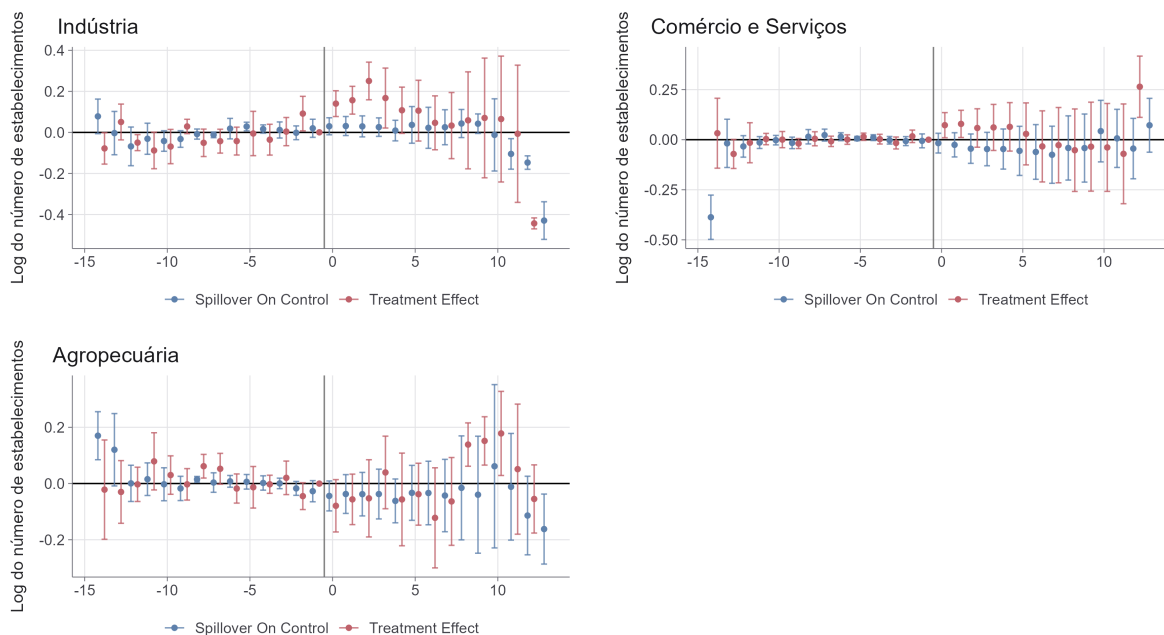
Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 10 – Efeitos da expansão dos parques eólicos por tempo de exposição no logaritmo do número de vínculos, *spillover* de 75 km



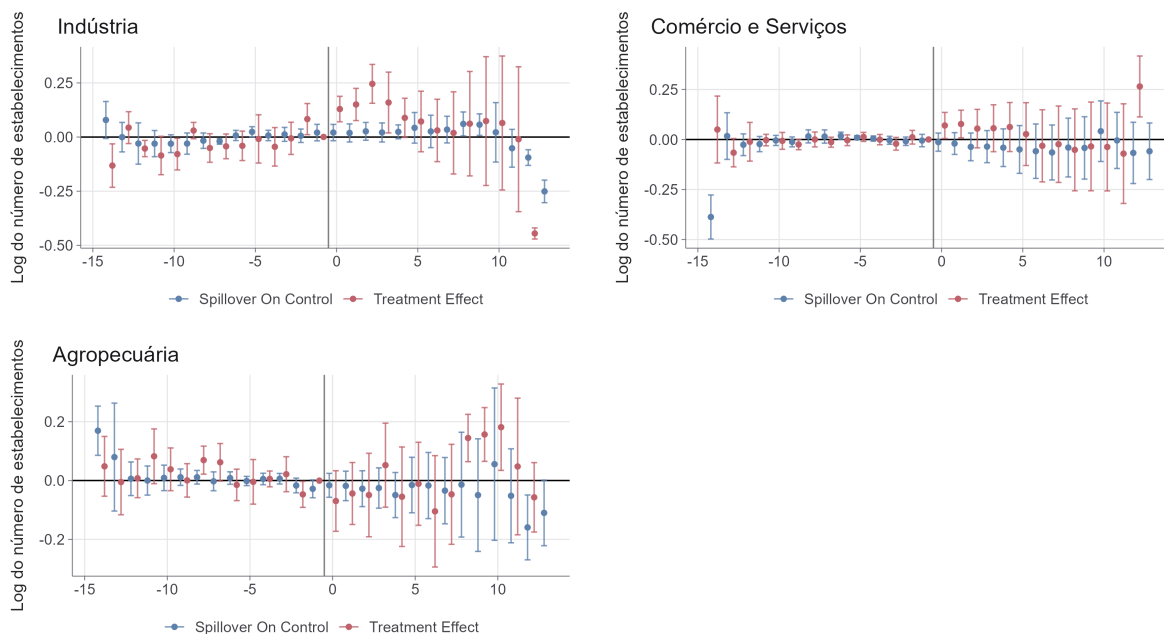
Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 11 – Efeitos da expansão dos parques eólicos por tempo de exposição no logaritmo do número de estabelecimentos, *spillover* de 60 km



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 12 – Efeitos da expansão dos parques eólicos por tempo de exposição no logaritmo do número de estabelecimentos, *spillover* de 75 km



Fonte: Elaboração dos autores.