

Despesas públicas em gestão ambiental e emissões de gases de efeito estufa: evidências para municípios brasileiros (2000-2021)^a

Public Environmental Management Expenditures and Greenhouse Gas Emissions: Evidence from Brazilian Municipalities (2000-2021)

Filipe Santiago dos Reis^b 

Universidade Federal de Juiz de Fora, Programa de Pós-Graduação em Economia, Juiz de Fora (MG), Brasil

Ludmilla Rodrigues Costa Gonçalves^c 

Universidade Federal de Juiz de Fora, Programa de Pós-Graduação em Economia, Juiz de Fora (MG), Brasil

Alessandra Cristina Quirino^d 

Universidade Federal de Juiz de Fora, Programa de Pós-Graduação em Economia, Juiz de Fora (MG), Brasil

Weslem Rodrigues Faria^e 

Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Economia, Juiz de Fora (MG), Brasil

Editor responsável: Rafael Galvão de Almeida | DOI: 10.22456/2176-5456.152818

^a Submissão: 11/01/2026 | Aprovação: 02/09/2026 | Publicação: 13/09/2026

^b filipe.santiago@estudante.ufjf.br | Concepção, pesquisa e análise de dados e/ou documentos, discussão dos resultados e redação e/ou revisão do texto.

^c ludmilla.goncalves@ufjf.br | Concepção, análise dos dados e/ou documentos, discussão dos resultados e redação e/ou revisão do texto.

^d alessandra.quirino@estudante.ufjf.br | Concepção, análise dos dados e/ou documentos, discussão dos resultados e redação e/ou revisão do texto.

^e weslem.faria@ufjf.br | Concepção, análise dos dados e/ou documentos, discussão dos resultados e redação e/ou revisão do texto.

Este trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos nº 309195/2022-5, 402212/2023-1 e 302416/2026-9; da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código de Financiamento 001; da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG); e da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), por meio de bolsa de incentivo à qualificação de servidores. Os autores declaram não haver conflito de interesse. Os conteúdos utilizados na pesquisa podem ser disponibilizados sob demanda aos autores. Foram utilizadas ferramentas de Inteligência Artificial (IA) para revisão gramatical/ortográfica do texto:



Esta publicação está licenciada sob os termos de
Creative Commons 4.0 Internacional

Resumo: Este estudo investiga a relação entre as despesas públicas destinadas à gestão ambiental e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em nível municipal no Brasil, entre 2000 e 2021. Foram utilizados dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG-OC), do Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro (SICONFI), do Sistema de Contas Nacionais (SCN) e do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass) e do Sistema de Crédito Rural do Banco Central do Brasil (BCB). A estratégia empírica combina modelos de painel com efeitos fixos bidirecionais (município e ano), com inclusão progressiva de controles socioeconômicos, *proxies* de desmatamento, investimento agropecuário e capacidade institucional, bem como uma análise dinâmica complementar em formato de *event study*, inspirada no arcabouço de diferenças-em-diferenças em torno da implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) para explorar variações no esforço orçamentário municipal em gestão ambiental. Os resultados indicam que as despesas públicas em gestão ambiental, tanto contemporâneas quanto defasadas, não apresentam evidência robusta de associação com reduções sistemáticas das emissões. Em conjunto, os achados são consistentes com a hipótese de neutralidade fiscal da Função 18 agregada (Quintela, 2016), sugerindo que a heterogeneidade na composição da despesa pode diluir associações potencialmente relevantes entre a despesa ambiental e as emissões. Os resultados reforçam a importância de considerar a composição funcional da despesa ambiental e a capacidade institucional necessária para transformar recursos orçamentários em ações ambientais efetivas.

Palavras-chave: Municípios brasileiros. Despesa pública. Gases de efeito estufa. Diferenças-em-Diferenças. *Event Study*.

Abstract: This study investigates the relationship between public expenditures on environmental management and greenhouse gas (GHG) emissions at the municipal level in Brazil between 2000 and 2021. The analysis draws on data from the Greenhouse Gas Emissions and Removals Estimation System (SEEG-OC), the Brazilian Public Sector Accounting and Fiscal Information System (SICONFI), the System of National Accounts (SCN), the Demographic Census of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), the Annual Land Use and Land Cover Mapping Project (MapBiomass), and the Rural Credit System of the Central Bank of Brazil (BCB). The empirical strategy combines two-way fixed effects panel models (municipality and year) with the progressive inclusion of socioeconomic controls, proxies for deforestation, agricultural investment, and institutional capacity. In addition, a complementary dynamic event-study analysis inspired by the difference-in-differences framework is used to compare emission trajectories across municipalities with different levels of pre-policy environmental budget effort, exploiting the implementation of the National Policy on Climate Change (PNMC) to explore variations in municipal environmental capacity. The results indicate that public expenditures on environmental management, both contemporaneous and lagged, show no robust evidence of association with systematic reductions in emissions. This pattern is consistent with the fiscal neutrality hypothesis of the aggregated environmental function (Function 18) (Quintela, 2016), suggesting that heterogeneity in the composition of spending may dilute potentially relevant associations between environmental spending and emissions. Overall, the findings underscore the importance of considering the

functional composition of environmental spending and the institutional capacity of municipalities when assessing the effectiveness of public environmental policies.

Keywords: Brazilian Municipalities. Public Expenditure. Greenhouse Gas Emissions. Difference-in-Differences. Event Study.

JEL: H72. Q54. Q58.

1. Introdução

A conservação, a preservação e a recuperação ambiental emergiram como prioridades estruturais na agenda pública e acadêmica, impulsionadas pelo reconhecimento crescente dos efeitos da degradação ambiental sobre o bem-estar social e o desenvolvimento econômico. Esse movimento se reflete tanto na ampliação da produção científica quanto na consolidação de iniciativas internacionais voltadas à conciliação entre crescimento econômico e sustentabilidade ambiental, com ênfase na formulação de políticas públicas capazes de mitigar emissões de gases de efeito estufa (GEE) sem gerar custos sociais excessivos (Quintela, 2016).

Dentre os principais estudos e acordos internacionais, um dos destaques é o relatório *Inclusive Green Growth: The Pathway to Sustainable Development*, do Banco Mundial (World Bank, 2012). Ele propõe políticas climáticas necessárias para conciliar crescimento econômico com proteção ambiental, ainda que tais políticas possam gerar impactos sobre variáveis macroeconômicas relevantes (Marinho e Ferreira, 2024). Nesse contexto, a intensificação das emissões de gases de efeito estufa constitui um dos principais desafios contemporâneos, dadas suas implicações para a estabilidade climática global (Cox *et al.*, 2000; Esquivel-Muelbert *et al.*, 2019; Fearnside, 1997).

Os GEE desempenham um papel significativo na modificação das condições ambientais, sendo sua geração associada principalmente ao uso de insumos na produção de diversos bens e serviços e ao consumo desses produtos pelos consumidores finais, conforme sintetizado nos relatórios do IPCC (2023). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) identifica o aumento da concentração desses gases na atmosfera como o principal impulsionador das mudanças na temperatura global. O inventário nacional de GEE inclui o dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonetos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF_6). Esses gases são frequentemente expressos em termos de dióxido de carbono equivalente (CO_2e), que representa a quantidade de emissões ajustada pelos respectivos potenciais de aquecimento global (Costa *et al.*, 2021).

Dados do *Climate Watch (CAIT) (WRI, 2023)*, referentes ao ano de 2021, indicam que o Brasil era o quinto maior emissor global de GEE, respondendo por 3,1% do total mundial. O país fica atrás apenas da China (26%), EUA (11%), Índia

(7%) e Rússia (4%), e ligeiramente à frente da Indonésia (3%). Ao considerar a União Europeia como uma única entidade, o Brasil ocupa a sexta posição nessa classificação (Tsai *et al.*, 2024).

Diante do complexo desafio das mudanças climáticas, cuja compreensão plena ainda está em evolução entre pesquisadores, gestores e a sociedade, e considerando a vasta extensão territorial e a diversidade ambiental do Brasil, é crucial priorizar estratégias e implementar políticas públicas que levem em consideração as particularidades regionais (Cunha; Reis, 2015). Assim, o setor público tem o papel de corrigir as falhas de mercado que o setor privado não consegue resolver satisfatoriamente, além de outras deficiências que demandam intervenção governamental (Musgrave, 1959).

A atuação do Estado na implementação de políticas públicas requer a alocação de recursos financeiros previamente definidos no planejamento orçamentário, os quais competem com outras prioridades governamentais. Dada a limitação dos recursos econômicos disponíveis, a eficácia dessas políticas depende, em grande medida, da qualidade da gestão e da capacidade das instituições públicas de planejar, alocar e executar o orçamento de forma eficiente (Quintela; Alves da Silva; Gomes, 2014).

Diante desse contexto, este artigo investiga a relação entre as despesas públicas municipais destinadas à gestão ambiental e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil entre 2000 e 2021.

Especificamente, busca responder à seguinte questão de pesquisa: *qual é a relação entre a despesa pública municipal em gestão ambiental e as emissões de gases de efeito estufa?*

Para responder a essa questão, emprega-se um modelo de efeitos fixos bidirecionais (município e tempo). Esta estratégia metodológica é crucial, pois permite controlar tanto características próprias e invariantes de cada município (efeitos individuais fixos) quanto fatores comuns a todos os municípios em um determinado ano (efeitos de tempo fixos). A análise é conduzida considerando as emissões totais e, de forma estratificada, por setor: agropecuária, mudanças no uso da terra, energia, processos industriais e resíduos.

À luz da literatura existente, espera-se que eventuais associações entre as despesas públicas em gestão ambiental e as emissões dependam da composição da

despesa e da capacidade institucional dos municípios para converter recursos orçamentários em ações efetivas de implementação e fiscalização ambiental. Nesse contexto, o estudo busca verificar empiricamente se essas associações se manifestam de forma consistente para a despesa ambiental agregada.

Os resultados indicam ausência de evidências robustas de associação entre a despesa ambiental agregada e reduções sistemáticas das emissões, resultado consistente com a hipótese de neutralidade fiscal da Função 18 agregada, proposta por Quintela (2016).

Além desta seção introdutória, o artigo está estruturado em mais quatro seções, cada uma com objetivos específicos. A Seção 2 apresenta o referencial teórico, abordando conceitos relacionados às emissões de gases de efeito estufa, ao orçamento público e às principais evidências empíricas disponíveis. A Seção 3 descreve as variáveis utilizadas e o modelo econométrico adotado. A Seção 4 discute os resultados obtidos por meio das estimações, enquanto a Seção 5 apresenta as considerações finais do estudo.

2. Revisão de literatura

A atuação do setor público na área ambiental insere-se no escopo clássico das funções fiscais do Estado, alocativa, distributiva e estabilizadora, especialmente no enfrentamento de falhas de mercado associadas às externalidades ambientais (Musgrave, 1959; Quintela, 2016). Essa intervenção manifesta-se por meio da despesa pública municipal executada na função orçamentária de gestão ambiental.

No Brasil, a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187/2009 (Brasil, 2009), formalizou o compromisso do país com a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, orientando a atuação do setor público em ações de adaptação e mitigação compatíveis com o desenvolvimento econômico e social.

As despesas públicas associadas à agenda climática incluem custeio, investimentos, transferências, renúncias fiscais e inversões financeiras voltadas à mitigação e adaptação. Essas ações abrangem: i) a adoção de tecnologias mais eficientes no uso de recursos naturais e na redução de emissões; ii) iniciativas para

ampliar sumidouros de carbono; e iii) medidas destinadas a reduzir a vulnerabilidade de sistemas naturais e humanos aos impactos (Tozato *et al.*, 2019).

2.1 Despesas públicas em gestão ambiental

A literatura sobre a relação entre as despesas públicas em gestão ambiental e emissões de gases de efeito estufa ainda é incipiente, sobretudo no contexto brasileiro (Quintela, 2016). Estudos internacionais indicam resultados heterogêneos: em alguns casos, despesas ambientais contribuem para reduzir poluição e emissões; em outros, não há efeitos estatisticamente significativos ou consistentes (Barbier; Markandya, 2013; Barbier, 2019; Quintela, 2016). Essa heterogeneidade sugere que os efeitos da despesa ambiental dependem de múltiplos fatores institucionais, setoriais e regionais. Nesse contexto, compreender os mecanismos pelos quais a despesa ambiental pode afetar as emissões torna-se fundamental para interpretar os resultados empíricos reportados na literatura (Mickwitz, 2006; Sterner; Coria, 2013).

A literatura identifica diferentes mecanismos por meio dos quais a despesa pública em gestão ambiental pode afetar as emissões de gases de efeito estufa. Esses mecanismos estão associados à atuação do Estado na regulação, monitoramento e execução de políticas ambientais, operando por canais distintos, mas complementares. No presente estudo, são considerados quatro mecanismos principais.

O primeiro refere-se à fiscalização e ao *enforcement* ambiental. Nesse contexto, *enforcement* é entendido como a capacidade do Estado de monitorar, regulamentar e fazer cumprir a legislação ambiental por meio de instrumentos como autuações, embargos e sanções. As despesas públicas destinadas ao custeio de órgãos de fiscalização ampliam essa capacidade, inibindo práticas ilegais que elevam as emissões, especialmente aquelas associadas ao desmatamento e à agropecuária (Andersen *et al.*, 2002; Assunção; Gandour; Rocha, 2015).

O segundo mecanismo ocorre por meio do monitoramento tecnológico. Investimentos em sistemas como o Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) e o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) aumentam a capacidade estatal de identificar desmatamentos e queimadas em tempo quase real, possibilitando

respostas mais rápidas e eficazes (Diniz *et al.*, 2015; INPE, 2024). Essas despesas afetam diretamente os setores de uso da terra e agropecuária, principais fontes de emissões no Brasil (Observatório do Clima, 2024).

Um terceiro canal relaciona-se à criação e manutenção de áreas protegidas. As despesas ambientais destinadas à conservação e preservação territorial restringem atividades extrativas e a expansão da fronteira agrícola, reduzindo emissões associadas ao uso da terra e à conversão de florestas (Nepstad *et al.*, 2014; Soares-Filho *et al.*, 2010).

O quarto mecanismo refere-se ao fortalecimento da capacidade estatal. Os recursos aplicados em contratação de servidores, aquisição de equipamentos, capacitação e infraestrutura institucional fortalecem a execução de políticas ambientais, com reflexos sobre os diferentes setores emissores (Evans, 2012; Skocpol, 1985).

Esses mecanismos operam de forma heterogênea entre setores econômicos, refletindo diferenças na estrutura produtiva, nos vetores emissores e na capacidade de *enforcement*, conforme documentado pela literatura empírica sobre políticas ambientais e regulação setorial (Cole; Elliott, 2003; Mickwitz, 2006; Sterner; Coria, 2013).

No contexto brasileiro, a variável de interesse corresponde à despesa pública municipal executada na Função 18 (Gestão Ambiental). Essa função integra a classificação funcional da despesa pública estabelecida pela Portaria nº 42/1999 (Brasil, 1999), que organiza o gasto governamental segundo áreas de atuação. A Função 18 compreende as subfunções Preservação e Conservação Ambiental, Controle Ambiental, Recuperação de Áreas Degradadas, Recursos Hídricos e Meteorologia (Portaria nº 42/1999; Lei nº 4.320/1964). Como essas subfunções contemplam instrumentos e objetivos distintos, sua agregação pode ocultar heterogeneidades relevantes na relação entre a despesa ambiental e as emissões de gases de efeito estufa (Barbier, 2019; Quintela, 2016).

2.2 Experiências empíricas

A literatura empírica sobre a eficácia da despesa pública ambiental na mitigação das emissões de GEE apresenta resultados heterogêneos. Estudos internacionais, empregando diferentes estratégias econométricas, como dados em

painel, Método dos Momentos Generalizados (GMM) e modelos *Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology* (STIRPAT), chegam a conclusões distintas quanto à magnitude e à significância estatística dessa relação.

De modo geral, parte da literatura identifica associações negativas entre a despesa ambiental e as emissões, enquanto outros estudos não encontram evidências estatisticamente significativas. Esses resultados sugerem que a eficácia da despesa pública ambiental depende de fatores como capacidade institucional, nível de *enforcement*, composição da despesa e contexto de implementação das políticas ambientais. O Quadro 1 sintetiza estudos empíricos representativos dessa literatura, destacando o contexto analisado, as estratégias metodológicas empregadas e os principais resultados encontrados.

Quadro 1 – Experiências empíricas

Artigo	Metodologia	Espaço Geográfico	Período	Resultados
<i>The Impact of Environmental Protection Expenditures on Reducing Greenhouse Gas Emissions</i> (Yilmaz, 2025)	Dados em painel não balanceado, com variáveis como despesas em proteção ambiental (EPEs), PIB <i>per capita</i> , população urbana e abertura comercial.	Amostra de 117 Países, incluindo nações desenvolvidas e em desenvolvimento (ex.: Brasil, EUA, China, Alemanha, Índia).	2000 a 2023	Relação negativa entre EPEs e emissões de GEE, porém não estatisticamente significativa em parte dos modelos estimados.
<i>Environmental Investments and Climate Change: How Environmental Protection Expenditure and Gross Domestic Product Affect Emissions in the European Union</i>	Análise de correlação e regressão com dados secundários provenientes do Eurostat, avaliando a relação entre o Produto Interno Bruto (PIB), as despesas com proteção	27 países da União Europeia (análise em nível agregado, sem detalhamento por país-membro).	2008 a 2022	A análise de correlação indicou uma relação inversa significativa entre os investimentos ambientais e as emissões, sugerindo que maiores despesas com proteção ambiental estão associadas à

(Georgieva, 2024)	ambiental e as emissões de gases de efeito estufa.			redução da pegada de carbono.
<i>Exploring the nexus between financial inclusion, governance, and carbon emissions in SAARC countries</i> (Mehmood <i>et al.</i> , 2024)	GMM como principal abordagem econométrica. Também foram aplicadas a regressão por quantis com método de momentos (MM-QR) e testes de causalidade de Granger para robustez dos resultados.	Países membros da SAARC (<i>South Asian Association for Regional Cooperation</i>), que incluem: Afeganistão, Bangladesh, Butão, Índia, Maldivas, Nepal, Paquistão e Sri Lanka.	2004 a 2022	Os testes de causalidade revelaram relações tanto unidirecionais quanto bidirecionais entre variáveis financeiras e emissões, reforçando a importância de políticas que aliem desenvolvimento financeiro à sustentabilidade ambiental.
<i>The effectiveness of environmental protection policies on greenhouse gas emissions</i> (Aziz, Hossain e Lamb, 2024)	Modelo STIRPAT estendido (<i>Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology</i>)	10 províncias do Canadá	1995 a 2019	Despesas públicas e privadas em proteção ambiental reduziram emissões de GEE no longo prazo, com efeito mais forte no setor privado (−3% versus −1% para despesas públicas)

Fonte: elaboração própria dos autores.

3. Dados e método

3.1 Base de dados e descrição das variáveis

Para construir o painel de dados em nível municipal para o período de 2000 a 2021, foi utilizado um conjunto abrangente de fontes de dados públicas. As variáveis dependentes de emissões de GEE foram obtidas do Sistema de Estimativas de Emissões (Observatório do Clima, 2024), enquanto a variável de interesse, as despesas públicas (Função 18), provém do SICONFI (STN, 2024). Os controles socioeconômicos (Produto Interno Bruto – PIB, Valor Adicionado Bruto

– VAB e Densidade Populacional) vieram do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio das Contas Nacionais e do Censo. Além disso, foram utilizados os dados de supressão de vegetação primária (MapBiomas, 2023); o crédito rural (Banco Central do Brasil, 2024); a *proxy* de *enforcement* federal (autuações) dos dados abertos do IBAMA registradas por município; e a *proxy* de capacidade estatal burocrática (vínculos) da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) (Ministério do Trabalho e Emprego brasileiro, 2021).

As variáveis dependentes são as emissões de GEE em nível municipal, mensuradas em toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2e), a partir das estimativas municipais disponibilizadas pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).

Seguindo a literatura e a estrutura de classificação setorial das emissões adotada pelo SEEG e pelo IPCC (2023), a análise considera as emissões totais e, de forma desagregada, cinco setores: i) agropecuária, abrangendo atividades de produção animal, vegetal e manejo de solos; ii) energia, decorrente da produção e do consumo de energia; iii) mudanças no uso da terra e do solo, associadas à conversão da cobertura vegetal e às queimadas; iv) processos industriais, decorrentes da transformação físico-química de materiais; e v) resíduos, associados à gestão de resíduos sólidos e ao tratamento de efluentes líquidos.

A variável de interesse é a despesa pública municipal na Função 18 (Gestão Ambiental), obtida do Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro (SICONFI) (STN, 2024). Essa função foi padronizada nacionalmente pela Portaria nº 42/1999 (Brasil, 1999) e é a *proxy* oficial para a execução orçamentária ambiental dos governos locais.

Um desafio central nesta literatura, e que este artigo busca tratar, é a heterogeneidade interna dessa variável. Conforme o Quadro 2 detalha, a Função 18 agrega subfunções com lógicas distintas:

Quadro 2 – Subfunções orçamentárias de gestão ambiental

Código	Subfunção	Descrição
541	Preservação e conservação ambiental	Formulação, execução, coordenação e manutenção voltadas à proteção da fauna e da flora, à conservação de ecossistemas e áreas ambientalmente relevantes, bem como a medidas preventivas e de proteção de áreas urbanas e rurais contra eventos como secas e inundações, incluindo iniciativas de conservação e proteção do solo contra processos de degradação naturais ou antrópicos.
542	Controle ambiental	Prevenção, monitoramento e controle de diferentes formas de poluição, incluindo contaminação hídrica, atmosférica, do solo e poluição sonora.
543	Recuperação de áreas degradadas	Recuperação, reabilitação e reintegração de áreas degradadas, com foco em tornar viável seu uso urbano ou rural, especialmente em localidades sujeitas a alagamentos recorrentes ou a processos erosivos.
544	Recursos hídricos	Planejamento, coordenação, regulação, controle e supervisão relacionados ao uso, gestão e aproveitamento integrado dos recursos hídricos, buscando compatibilizar múltiplos usos e assegurar utilização sustentável.
545	Meteorologia	Estruturar, coordenar e manter sistemas, órgãos e instrumentos voltados ao monitoramento e estudo do clima e do tempo, incluindo análise de variabilidade climática e condições meteorológicas.
999	Demais Subfunções de Gestão Ambiental	Despesas que não se enquadram nas subfunções anteriores, por insuficiência de informação ou por natureza não classificável nas categorias específicas.

Fonte: Brasil (1999) e Quintela (2016).

Tratar essa despesa agregada como uniforme pode ocultar heterogeneidades e diluir associações específicas entre diferentes componentes da despesa ambiental e as emissões. Portanto, além de testar a Função 18 agregada, também foram estimados modelos que desagregam essas subfunções para examinar se diferentes componentes das despesas em gestão ambiental apresentam associações distintas com as emissões.

Para avaliar a relação entre as despesas públicas em gestão ambiental e as emissões, o modelo inclui controles usuais na literatura, de modo a condicionar a estimação a fatores de escala, composição e capacidade estatal e reduzir a influência de variáveis omitidas observáveis. O primeiro grupo de variáveis controla a estrutura socioeconômica e de escala. O PIB *per capita* é incluído como controle do nível de renda e da intensidade da atividade econômica, dimensões

relacionadas à literatura da Curva de Kuznets Ambiental (Grossman e Krueger, 1991; Kuznets, 1955; Shafik e Bandyopadhyay, 1992), sem que a especificação adotada constitua um teste direto da hipótese de U invertido. Além disso, para capturar o efeito composição da economia, incluem-se o VAB industrial e o VAB agropecuário *per capita*, que controlam o perfil produtivo de municípios mais dependentes da indústria ou da agropecuária.

O segundo grupo de controles concentra-se nos determinantes setoriais e institucionais. A Supressão de Vegetação Primária em hectares é uma variável-chave para o contexto brasileiro, controlando um determinante diretamente associado às emissões no setor de Mudança de Uso da Terra. O Investimento Agropecuário, mensurado pelo crédito rural, é utilizado como *proxy* para a intensificação e expansão das atividades agropecuárias. Por fim, para controlar a capacidade de *enforcement* e a governança, utilizaram-se duas *proxies*: as Autuações Ambientais do IBAMA (como *proxy* para o *enforcement* federal) e o Número de Vínculos em Regulação (como *proxy* para a capacidade burocrática e de capital humano no nível municipal).

Todos os valores monetários utilizados neste trabalho foram atualizados para preços reais de 2021, por meio de deflação pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), calculado pelo IBGE.

O período de análise inicia-se em 2000, primeiro exercício fiscal após a Portaria nº 42/1999, e termina em 2021. A base compreende os 5.570 municípios brasileiros, totalizando 122.540 registros município-ano. A amostra efetiva varia entre as especificações em razão da inclusão de defasagens e da disponibilidade dos controles, resultando em amostras de estimação desbalanceadas em alguns modelos.

3.2 Modelo empírico

3.2.1 O Modelo de efeitos fixos (linha de base)

O estudo utiliza modelos em painel para analisar a relação entre as despesas públicas ambientais e as emissões de GEE nos municípios brasileiros. A abordagem é adequada dadas as fortes diferenças socioeconômicas e geográficas entre os 5.570 municípios, permitindo controlar heterogeneidade não observada fixa no tempo (Greene, 2003; Gujarati; Porter, 2011; Wooldridge, 2016).

O modelo de referência é um modelo de efeitos fixos bidirecionais (*two-way fixed effects* – TWFE). A escolha pelo modelo de efeitos fixos em detrimento do modelo de efeitos aleatórios é respaldada pelo teste de Hausman (1978). A equação estimada é:

$$\ln(1 + y_{i,t}) = \alpha + \beta_1 \cdot \ln(1 + desp_{i,t}) + \beta_2 \cdot \ln(1 + desp_{i,t-1}) + \gamma' X_{i,t} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

em que $\ln(1 + y_{i,t})$ é a variável de resultado (Emissão de GEE *per capita*) do município i no ano t ; $\ln(1 + desp_{i,t})$ é a despesa em gestão ambiental contemporânea e $\ln(1 + desp_{i,t-1})$ sua defasagem de um período. A inclusão da despesa ambiental defasada permite capturar possíveis efeitos temporais da execução orçamentária sobre as emissões, reconhecendo que seus impactos podem não ocorrer contemporaneamente. O coeficiente β_2 captura a associação estimada da despesa no período seguinte à sua execução; $X_{i,t}$ é um vetor de controles (PIB *per capita*, estrutura do Valor Adicionado Bruto da indústria e da agricultura, Supressão de Vegetação primária, operações de Crédito para a agropecuária e as *proxies* institucionais); μ_i são efeitos fixos de município (controlam geografia, bioma, etc.); λ_t são efeitos fixos de ano (controlam choques macroeconômicos); e $\varepsilon_{i,t}$ é o termo de erro idiossincrático.

3.2.2 Estratégia de identificação e endogeneidade

A principal ameaça à identificação dos coeficientes β_1 e β_2 decorre da possível endogeneidade entre as despesas ambientais e as emissões de gases de efeito estufa. Essa endogeneidade pode resultar, em primeiro lugar, de simultaneidade, uma vez que municípios com níveis mais elevados de emissões podem ampliar suas despesas em gestão ambiental em períodos subsequentes. Em segundo lugar, fatores não observados variantes no tempo, como mudanças institucionais, características da gestão pública local ou choques específicos aos municípios, podem afetar simultaneamente as despesas ambientais e as emissões. Por fim, a persistência temporal das emissões também pode introduzir viés nas estimativas. No modelo base, optou-se por não incluir o termo defasado da variável dependente, $\ln(y_{i,t-1})$, a fim de evitar o viés de Nickell (Nickell, 1981). Diante

dessas limitações, o artigo complementa a análise por efeitos fixos bidirecionais com uma análise dinâmica inspirada no arcabouço de Callaway e Sant’Anna (2021), cujo objetivo é examinar a dinâmica das trajetórias das emissões em torno da implementação da PNMC.

O procedimento permite examinar a evolução das trajetórias das emissões entre municípios classificados segundo diferentes níveis de esforço orçamentário ambiental observados no período pré-PNMC (2000-2008), além de avaliar a consistência dos resultados obtidos pelos modelos TWFE. Trata-se de uma estratégia complementar voltada à análise da dinâmica temporal das emissões, e não de um desenho concebido para estabelecer uma relação causal estrita entre a despesa ambiental municipal e as emissões de gases de efeito estufa.

O exercício empírico baseia-se na implementação da PNMC, instituída em 2009 e implementada a partir de 2010, combinada com diferenças na alocação orçamentária ambiental observada no período pré-PNMC. Esse esforço foi mensurado pela média das despesas municipais empenhadas na Função 18 (Gestão Ambiental) no período de 2000 a 2008. A utilização dessa medida parte da premissa de que municípios que, antes da PNMC, destinavam maior volume de recursos à gestão ambiental tendiam a apresentar maior esforço orçamentário nessa função. Os municípios foram classificados no primeiro e no quarto quartis da distribuição dessas despesas, formando grupos de menor e maior esforço orçamentário. Como essa classificação decorre da própria execução orçamentária observada antes da implementação da política, e não de uma fonte exógena de variação, os grupos apresentam diferenças em características estruturais prévias. Por essa razão, o Apêndice E apresenta estatísticas descritivas comparando os grupos antes da implementação da PNMC, permitindo avaliar seu grau de comparabilidade e evidenciando que a interpretação do exercício depende da plausibilidade da hipótese de tendências paralelas, e não da igualdade das características observáveis entre os grupos.

Nesse contexto, a aplicação do estimador de Callaway e Sant’Anna (2021) difere de sua formulação canônica. A PNMC constitui um choque institucional comum a todos os municípios brasileiros, inexistindo, portanto, um grupo genuinamente não tratado. Assim, a comparação não decorre da adoção diferencial da política, mas da comparação das trajetórias das emissões entre municípios com diferentes níveis de esforço orçamentário ambiental observados antes da

implementação da PNMC. A análise dinâmica (*event study*) permite avaliar a plausibilidade da hipótese de tendências paralelas por meio da inspeção dos coeficientes estimados no período pré-política. Dessa forma, os resultados devem ser interpretados como evidências associativas consistentes com o desenho institucional adotado, e não como estimativas causais.

3.2.3 Análise de mecanismos e extensões

Para avaliar como as despesas em gestão ambiental se relacionam com as emissões, o modelo de base é estendido de modo a explorar a heterogeneidade da despesa entre subfunções. Conforme discutido na Seção 3.1, a Função 18 agrega diferentes tipos de ações. Assim, para investigar se as relações estimadas estão associadas a instrumentos mais diretos, como a fiscalização, ou a ações indiretas, reestimamos o modelo substituindo a despesa total por um vetor das subfunções relevantes da Equação (2).

$$\ln(1 + y_{i,t}) = \alpha + \sum_{k=541}^{999} [\beta_k \ln(1 + desp_{k,i,t}) + \theta_k \ln(1 + desp_{k,i,t-1})] + \gamma'X_{i,t} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

em que $k = \{541, 542, 543, 544, 545 \text{ e } 999\}$, representa o conjunto de subfunções consideradas, e $(desp_{k,i,t})$ representa a despesa *per capita* em cada subfunção: 541 (Preservação e conservação ambiental), 542 (Controle ambiental), 543 (Recuperação de áreas degradadas), 544 (Recursos hídricos), 545 (Meteorologia) e 999 (demais despesas ambientais). Essa decomposição permite examinar se as associações estimadas diferem entre as subfunções orçamentárias, incluindo suas defasagens.

Quanto à capacidade institucional: a despesa em gestão ambiental pode ser ineficaz se o município não tiver capacidade de executá-la. Testa-se isso reestimando o modelo da Equação (3) incluindo as *proxies* de *enforcement* (Autuações IBAMA) e capacidade (Vínculos RAIS).

$$\ln(1 + y_{i,t}) = \alpha + \beta_1 \cdot \ln(1 + desp_{i,t}) + \beta_2 \cdot \ln(1 + desp_{i,t-1}) + \delta_1 \cdot \ln(1 + autos_{i,t}) + \delta_2 \cdot \ln(1 + serv_{i,t}) + \gamma'X_{i,t} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

A estimação base utiliza um modelo de efeitos fixos bidirecionais (municipal e anual) com as variáveis contínuas transformadas por $\ln(1 + x)$, explorando variação intra-município ao longo do tempo. Como exercício complementar, incorpora-se uma análise dinâmica inspirada no arcabouço de diferenças-em-diferenças com heterogeneidade temporal (Callaway; Sant'Anna, 2021), permitindo examinar a evolução temporal das associações e verificar a consistência dos resultados obtidos no modelo principal.

As inferências utilizam erros-padrão robustos com agrupamento no nível municipal. Para fins de robustez e melhor compreensão dos mecanismos subjacentes, são conduzidos:

- a) procedimentos de inclusão progressiva de controles;
- b) estimações desagregadas por subfunção da despesa ambiental;
- c) inclusão de *proxies* de *enforcement*, como autuações e vínculos institucionais; e
- d) estimações por setores (agropecuária, energia, terra, indústria e resíduos).

4. Resultados empíricos

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados empíricos obtidos a partir da metodologia econométrica proposta. As estimações da associação entre as Despesas Públicas em Gestão Ambiental (Função 18) são realizadas com base nas variáveis dependentes correspondentes às emissões totais *per capita* e às suas desagregações setoriais. A análise considera a relação estimada contemporânea e defasada das despesas para os municípios brasileiros, controlando por um amplo vetor de variáveis socioeconômicas, institucionais e de *enforcement* no período de 2000 a 2021.

A apresentação dos resultados inicia-se com as estatísticas descritivas e a análise exploratória dos dados. Em seguida, são detalhados os resultados dos modelos de Efeitos Fixos (linha de base) e das estimações de *event study*.

4.1 Estatísticas descritivas e análise exploratória

A presente subseção apresenta as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na estimação do painel municipal brasileiro no período de 2000 a 2021. A Tabela 1 reporta as principais medidas de tendência central e dispersão (média,

desvio-padrão, mínimo e máximo) para o conjunto completo de variáveis, abrangendo as emissões de GEE (totais e setoriais), a despesa municipal em gestão ambiental (Função 18 e subfunções) e os controles socioeconômicos, ambientais e institucionais.

As estatísticas descritivas evidenciam elevada heterogeneidade entre municípios, tanto nas emissões quanto na execução orçamentária ambiental. Observa-se predominância das emissões associadas à mudança de uso da terra e à agropecuária, bem como forte concentração espacial de fontes industriais e energéticas, o que motiva a inclusão de controles territoriais e institucionais nas estimações econométricas subsequentes.

No bloco de despesas, a Função 18 - Gestão Ambiental apresenta média de R\$ 15,68 *per capita* e desvio-padrão de R\$ 47,31, com máximo de R\$ 2.182,10. A decomposição por subfunções indica que a maior parcela média se concentra na subfunção 541 (preservação e conservação ambiental), com média de R\$ 8,15 e o maior valor observado entre as subfunções. Em contraste, a subfunção 545 (meteorologia) apresenta média próxima de zero (R\$ 0,01) e baixa dispersão, o que indica utilização residual na prática orçamentária municipal e, consequentemente, limitada variação informacional para explicar diferenças nas emissões.

A heterogeneidade interna da Função 18 sugere que o tratamento das despesas em gestão ambiental como um agregado homogêneo pode diluir associações específicas entre seus componentes e as emissões (Barbier, 2019; Quintela, 2016). Isso ocorre quando componentes com maior potencial de mitigação, como ações diretamente associadas ao controle e à fiscalização, são combinados a parcelas relevantes de despesas administrativas, rotineiras ou de baixa intensidade operacional. Nesses casos, o coeficiente estimado para a despesa total tende a apresentar menor magnitude, mesmo na presença de efeitos relevantes em subcomponentes específicos. Assim, as estatísticas descritivas fornecem motivação empírica para a estratégia de desagregação posterior por subfunções.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas das variáveis selecionadas (2000-2021)

Dimensão	Variável	Média	Desvio-Padrão	Mínimo	Máximo
Emissões de Gases de Efeito Estufa em Toneladas <i>per capita</i>	EMITOT (CO ₂)	25,38	99,73	0,00	6.902,02
	AGRO (CO ₂)	8,56	15,04	0,00	345,39
	ENERGIA (CO ₂)	1,05	6,38	0,00	663,63
	TERRA (CO ₂)	15,32	93,88	0,00	6.849,26
	INDUSTRIA (CO ₂)	0,09	2,22	0,00	260,00
	RESIDUOS (CO ₂)	0,36	0,71	0,00	19,29
Despesas por Função e Subfunção Orçamentária <i>per capita</i>	18 - Função Gestão Ambiental (R\$)	15,68	47,31	0,00	2.182,10
	541 - Subfunção de Preservação e conservação ambiental (R\$)	8,15	32,37	0,00	2.182,10
	542 - Subfunção de Controle ambiental (R\$)	2,75	18,21	0,00	1.321,30
	543 - Subfunção de Recuperação de áreas degradadas (R\$)	0,22	6,81	0,00	1.536,09
	544 - Subfunção de Recursos hídricos (R\$)	1,07	15,57	0,00	1.555,65
	545 - Subfunção de Meteorologia (R\$)	0,01	0,52	0,00	111,37
	999 - Outras Subfunções de Gestão Ambiental (R\$)	2,09	17,23	0,00	1.277,84
Demografia	População (Unidade)	34.755,59	206.080,59	771	12.396.372
Renda <i>per capita</i>	PIB Municipal (R\$)	22.717,95	26.690,12	465,55	1.269.528,86
	Valor Adicionado Industrial (R\$)	4.671,70	15.914,31	6,64	1.043.555,79
	Valor Adicionado da Agropecuária (R\$)	4.725,58	7.834,18	1,15	304.145,76
Desmatamento	Supressão Vegetação Primária (ha)	579,90	2.402,05	0,00	157.437,97
Investimento Agropecuária	Operações de Crédito para Agropecuária (Unidade)	202,02	356,45	0,00	8.751,00
Enforcement	Autuações Ambientais do IBAMA (Unidade)	3,89	16,88	0,00	936,00
	Vínculos em Regulação de atividades econômicas e sociais (Unidade)	0,15	7,27	0,00	1.021,00

Fonte: elaboração própria dos autores.

No conjunto de controles socioeconômicos, a população apresenta média de 34.755,59, com desvio-padrão de 206.080,59 e máximo de 12.396.372, refletindo elevada desigualdade na escala urbana entre municípios brasileiros. De

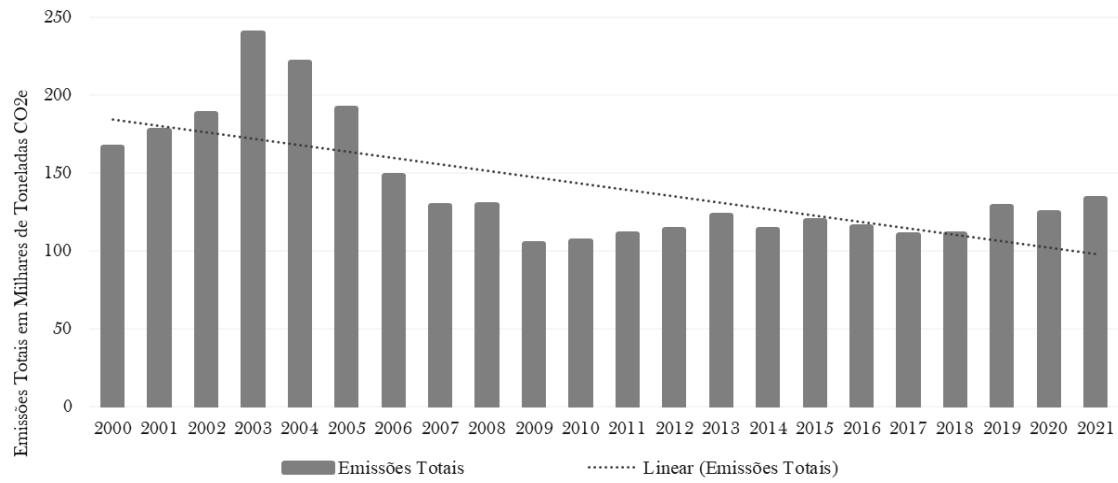
forma análoga, PIB municipal, VAB industrial e VAB agropecuário apresentam grande dispersão, o que evidencia heterogeneidade estrutural do perfil produtivo e justifica sua inclusão como controles associados aos canais de escala e composição.

No bloco ambiental e institucional, a supressão de vegetação primária apresenta média de 579,90 hectares e máximo de 157.437,97, indicando elevada concentração de eventos de conversão de cobertura vegetal em determinados municípios e anos. As operações de crédito agropecuário (média 202,02; máximo 8.751) revelam variabilidade expressiva no financiamento do setor, compatível tanto com processos de intensificação quanto de expansão produtiva, o que sustenta seu uso como *proxy* de investimento e pressão produtiva nas estimações.

Por fim, as autuações do IBAMA (média 3,89 autuações por município; máximo 936) e os vínculos em regulação (média 0,15 servidores e máximo 1.021) exibem distribuição altamente concentrada, com predominância de valores próximos de zero e poucas observações município-ano respondendo por grande parcela da atividade fiscalizatória e da capacidade estatal burocrática observada. Esse padrão é relevante por sugerir que a efetividade das despesas em gestão ambiental pode ser condicionada por capacidades institucionais mínimas, uma vez que a execução orçamentária tende a produzir resultados ambientais mais consistentes quando acompanhada de capacidade administrativa e *enforcement*, aspecto explorado nas especificações com controles institucionais e nas análises de mecanismos.

Complementarmente à Tabela 1, a Figura 1 apresenta a série temporal agregada das emissões e da despesa em gestão ambiental, enquanto a Figura 2 sintetiza a distribuição espacial das emissões municipais acumuladas (2000–2021), evidenciando heterogeneidade territorial. Observa-se concentração das maiores intensidades no Norte e na faixa de transição Amazônia–Cerrado, com padrão mais nítido no setor de uso da terra; na agropecuária, as intensidades se distribuem sobretudo no Centro-Oeste e na fronteira agropecuária, enquanto energia, indústria e resíduos se concentram em poucos municípios, padrão consistente com a localização de centros urbanos e polos produtivos (Quintão *et al.*, 2021).

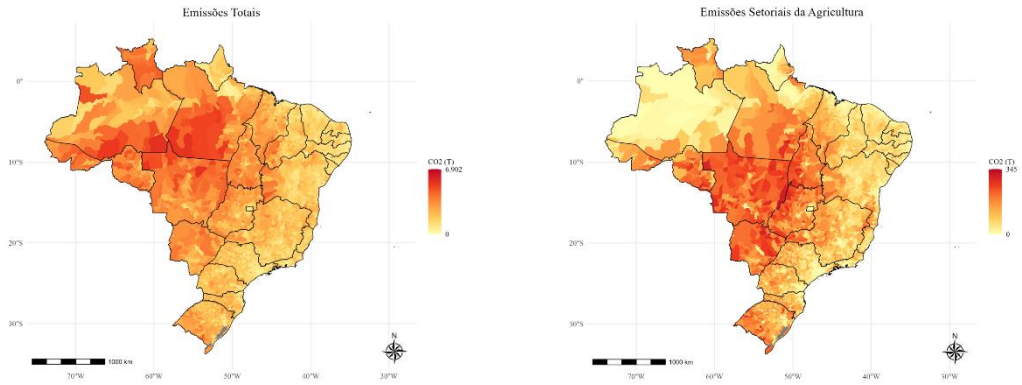
Figura 1 – Série temporal das emissões de GEE (2000-2021)

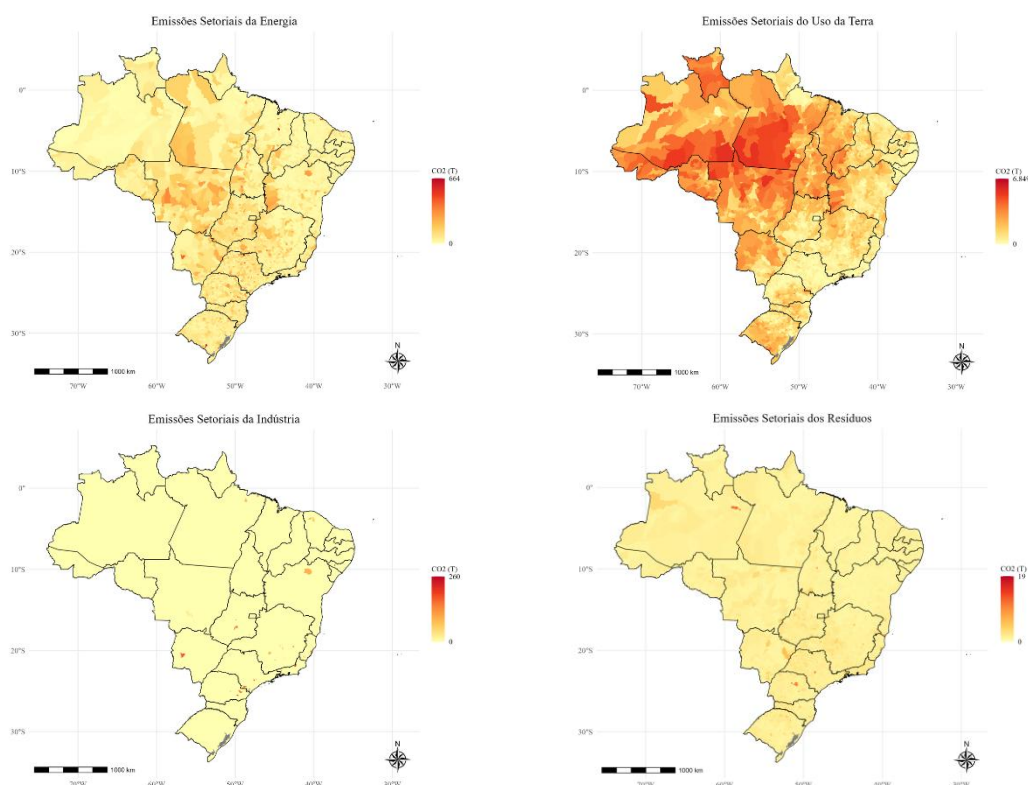


Fonte: elaboração própria dos autores com base na SEEG (2024).

Embora a série agregada sugira uma tendência de queda, essa evidência é apenas descritiva e não permite identificar o papel das despesas municipais; as estimações com efeitos fixos explorarão variações intra-município e controlarão por choques comuns anuais.

Figura 2 – Emissões acumuladas de GEE (2000-2021)





Fonte: elaboração própria dos autores com base na SEEG (2024).

A distribuição espacial apresentada na Figura 2 reforça a existência de heterogeneidade territorial nas emissões municipais, em linha com as estatísticas descritivas previamente discutidas. Esses padrões sugerem que fatores estruturais e regionais desempenham papel relevante na dinâmica das emissões, o que justifica a inclusão de controles e a utilização de modelos econométricos capazes de capturar tais diferenças na análise subsequente.

4.2 Resultado principal

Para avaliar a robustez dos coeficientes estimados e controlar por possíveis variáveis omitidas, foram estimados modelos com efeitos fixos em especificações progressivas. A Tabela 2 apresenta estimativas com efeitos fixos bidirecionais (município e ano) para as emissões totais ($\ln_emitot$), em especificações progressivas que introduzem, de forma sequencial, a despesa ambiental contemporânea ($\ln_desp$), sua defasagem de um período e blocos adicionais de controles econômicos, ambientais e institucionais. As estimativas devem ser interpretadas como associações intra-município ao longo do tempo, isto é,

exploram variações dentro do mesmo município, após controlar por choques comuns anuais e por características invariantes no tempo.

Tabela 2 – Resultados das especificações progressivas por efeitos fixos (emissões totais)

Variáveis	1	2	3	4	5
$\ln_desp_{i,t}$	0.002 (0.002)	-0.0004 (0.001)	-0.002* (0.001)	-0.001 (0.001)	-0.002* (0.001)
$\ln_desp_{i,t-1}$	-	0.003** (0.001)	0.002* (0.001)	0.003*** (0.001)	0.002* (0.001)
$\ln_pib_{i,t}$	-	-	0.162*** (0.025)	0.142*** (0.025)	0.160*** (0.025)
$\ln_vaind_{i,t}$	-	-	-0.006 (0.007)	-0.002 (0.006)	-0.005 (0.007)
$\ln_vaagro_{i,t}$	-	-	0.022** (0.009)	0.022** (0.009)	0.023*** (0.009)
$\ln_investimento_{i,t}$	-	-	-0.004** (0.002)	-0.005*** (0.002)	-0.004* (0.002)
$\ln_sup_veg_prim_{i,t}$	-	-	-	0.218*** (0.005)	0.217*** (0.005)
$\ln_autua\c{c}{o}{e}s_{i,t}$	-	-	-	-	0.012*** (0.002)
$\ln_vinculos_{i,t}$	-	-	-	-	0.007 (0.011)
Observações	122.540	116.970	116.841	109.114	116.841
R^2	0.0001	0.0001	0.0130	0.1660	0.0140
Adj. R-Squared	-0.0480	-0.0500	-0.0370	0.1240	-0.0360
F Statistic	7.562***	4.707***	243.485***	2,953.706***	191.592***

Fonte: elaboração própria dos autores.

Nota: significância * $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$; erros-padrão das estimativas entre parênteses.

Antes de apresentar os resultados da Tabela 2, foram realizados testes de especificação para escolher entre modelos *pooled*, efeitos aleatórios (RE) e efeitos fixos (FE). O teste F para efeitos bidirecionais (Chow/*pFtest*) rejeitou a hipótese nula de ausência de efeitos não observados ($F = 116,34$; $p < 0,001$), indicando que a estimação *pooled* OLS é inadequada. Em seguida, o teste LM de Breusch–Pagan (Honda) também rejeitou a hipótese nula de inexistência de componente de painel ($z = 786,14$; $p < 0,001$), evidenciando que um modelo com efeitos (RE ou FE) é preferível ao *pooled*. Por fim, o teste de Hausman rejeitou a hipótese nula de consistência do estimador de efeitos aleatórios ($X^2 = 58,921$; $gl = 9$; $p < 0,001$), favorecendo a adoção do modelo de efeitos fixos bidirecionais como especificação

principal para estimar a relação entre as despesas em gestão ambiental e as emissões totais (Breusch; Pagan, 1979; Hausman, 1978; Hausman; Taylor, 1981). Os testes e os resultados das demais estimativas estão disponíveis no apêndice *online*.

Os resultados da Tabela 2 reportam estimações com efeitos fixos de município e ano para $\ln_emitot$, de modo que os coeficientes capturam variações intra-município ao longo do tempo, controlando por choques comuns anuais e por características invariantes dos municípios. As variáveis contínuas são transformadas por $\ln(1+x)$, permitindo preservar observações iguais a zero. Nessa especificação, os coeficientes representam associações na escala logarítmica transformada e não correspondem a elasticidades constantes, embora se aproximem dessa interpretação para valores suficientemente elevados das variáveis.

No modelo (1), o coeficiente contemporâneo da despesa ambiental é estatisticamente não significativo (0.002), não havendo evidência de associação sistemática entre as despesas em gestão ambiental e as emissões na ausência de controles adicionais. No modelo (2), a despesa contemporânea permanece não significativa, enquanto o coeficiente da despesa defasada torna-se positivo e estatisticamente significativo a 5% (0.003**), consistente com potenciais mecanismos de simultaneidade e resposta fiscal endógena, como o aumento de despesas após pressões ambientais recentes, o que recomenda cautela na interpretação da correlação da especificação estática.

Com a inclusão de controles econômicos no modelo (3), o coeficiente contemporâneo da despesa ambiental passa a apresentar sinal negativo, porém marginalmente significativo (-0.002^*), enquanto o coeficiente da despesa defasada permanece positivo e marginalmente significativo (0.002^*). Em termos substantivos, as magnitudes dos coeficientes são muito reduzidas: o coeficiente contemporâneo é de $-0,002$, enquanto o coeficiente associado à despesa defasada é de $0,002$ no período corrente. A combinação de coeficiente contemporâneo negativo e coeficiente defasado positivo não configura um padrão intertemporal de mitigação persistente, sendo mais compatível com mecanismos de reação fiscal e simultaneidade. Em particular, municípios com maiores pressões ambientais podem ampliar a despesa pública posteriormente, gerando correlação positiva entre as despesas defasadas e emissões sem implicar efeito causal das despesas

sobre o aumento das emissões, além da possível presença de endogeneidade residual associada a fatores omitidos variantes no tempo.

No modelo (4), a introdução da supressão de vegetação primária apresenta coeficiente positivo e estatisticamente significativo (0,218***), constituindo uma das associações de maior magnitude entre os controles considerados. Esse resultado eleva substancialmente o poder explicativo do modelo ($R^2 = 0.166$) e reforça a relevância do uso e da cobertura da terra para a dinâmica das emissões municipais no Brasil. Nesse contexto, o coeficiente contemporâneo da despesa ambiental perde significância estatística, enquanto o coeficiente da despesa defasada permanece positivo e se torna altamente significativo (0.003***), sugerindo que a relação estimada entre as despesas e as emissões é sensível à inclusão de determinantes ambientais diretos e permanece mais consistente com mecanismos de simultaneidade e resposta orçamentária reativa do que com um processo persistente de mitigação ambiental.

No modelo (5), com *proxies* institucionais (autuações e vínculos), o coeficiente contemporâneo da despesa volta a ser negativo, porém apenas marginal (-0.002^*), e o coeficiente da despesa defasada permanece positivo e marginalmente significativo (0.002*). Esse padrão reforça a interpretação de que não há evidência robusta de mitigação persistente associada à despesa ambiental agregada, sendo mais compatível com mecanismos de reação fiscal e simultaneidade, nos quais municípios com maiores pressões ambientais tendem a ampliar a despesa pública posteriormente. Entre os controles institucionais, o coeficiente associado às autuações ambientais é positivo e altamente significativo (0.012***), enquanto a *proxy* de vínculos não se distingue estatisticamente de zero. Esse resultado não deve ser interpretado como evidência de que a fiscalização aumenta as emissões, mas sim como indicativo de que municípios com maior pressão ambiental, maior intensidade produtiva ou maior capacidade institucional de monitoramento tendem a registrar simultaneamente mais emissões e maior volume de autuações, sugerindo que a dimensão de *enforcement* capturada pelas autuações está mais fortemente associada à dinâmica contemporânea das emissões nesta especificação.

O poder explicativo varia substancialmente entre as especificações, com aumento expressivo do R^2 após a inclusão da supressão de vegetação primária.

Do ponto de vista empírico, portanto, os resultados não sustentam evidência robusta de que as despesas em gestão ambiental, na forma agregada utilizada, tenham sido suficientes para conter as emissões totais de GEE no período analisado. Quando o coeficiente contemporâneo é estatisticamente significativo, ele é pequeno e apenas marginal (10%), e o coeficiente defasado é recorrentemente positivo e significativo, padrão mais consistente com reação orçamentária, simultaneidade e variáveis omitidas variantes no tempo do que com mitigação persistente com defasagem de um período.

Esse conjunto de resultados motiva a sequência da estratégia empírica: *i)* desagregar a Função 18 por subfunções (Tabela 3), reduzindo a perda de informação decorrente da agregação e captando heterogeneidade de mecanismos; e *ii)* avançar para uma análise dinâmica complementar em formato de *event study*, tomando a implementação da PNMC como um choque institucional comum a todos os municípios, mas explorando variações na intensidade de resposta das emissões associadas à alocação orçamentária ambiental dos municípios (Tabela 4).

A Tabela 3 apresenta estimações por efeitos fixos bidirecionais (município e ano) para as emissões totais e setoriais (agropecuária, energia, terra, indústria e resíduos), estimando simultaneamente as subfunções orçamentárias 541, 542, 543, 544, 545 e 999 em nível e com uma defasagem de um período. Além das subfunções, a especificação inclui controles econômicos (PIB e VABs), *proxy* de desmatamento (supressão de vegetação primária), *proxy* de investimento agropecuário (operações de crédito) e *proxies* institucionais (autuações e vínculos).

A inclusão conjunta das subfunções permite interpretar cada coeficiente como uma associação condicional às demais rubricas ambientais, permitindo avaliar heterogeneidades entre componentes da despesa ambiental que podem ser ocultadas pela agregação na Função 18.

Tabela 3 – Modelo de efeitos fixos por subfunções orçamentárias e setores

Variável	<i>EMITOT</i> _{<i>i,t</i>}	<i>AGRO</i> _{<i>i,t</i>}	<i>ENERGIA</i> _{<i>i,t</i>}	<i>TERRA</i> _{<i>i,t</i>}	<i>INDUSTRIA</i> _{<i>i,t</i>}	<i>RESIDUOS</i> _{<i>i,t</i>}
<i>ln</i> _541 _{<i>i,t</i>}	0.002 (0.001)	-0.001 (0.001)	0.012*** (0.002)	-0.002 (0.001)	0.0005 (0.001)	0.000 (0.000)
<i>ln</i> _541 _{<i>i,t-1</i>}	0.007*** (0.001)	-0.001 (0.001)	0.018*** (0.002)	-0.003** (0.001)	-0.00001 (0.001)	0.000 (0.000)
<i>ln</i> _542 _{<i>i,t</i>}	0.002 (0.002)	-0.0004 (0.001)	0.008*** (0.002)	-0.0003 (0.002)	0.0001 (0.001)	0.001*** (0.000)
<i>ln</i> _542 _{<i>i,t-1</i>}	0.008*** (0.002)	0.001 (0.001)	0.014*** (0.002)	0.001 (0.002)	-0.001 (0.001)	0.001 (0.000)
<i>ln</i> _543 _{<i>i,t</i>}	0.004 (0.004)	-0.002 (0.002)	0.013*** (0.005)	-0.007 (0.004)	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)
<i>ln</i> _543 _{<i>i,t-1</i>}	0.008** (0.004)	-0.002 (0.003)	0.016*** (0.005)	-0.003 (0.004)	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)
<i>ln</i> _544 _{<i>i,t</i>}	0.001 (0.002)	-0.002* (0.001)	-0.004** (0.002)	0.006** (0.003)	-0.0002 (0.0003)	-0.000 (0.001)
<i>ln</i> _544 _{<i>i,t-1</i>}	-0.001 (0.002)	-0.001 (0.001)	-0.012*** (0.002)	0.003 (0.003)	-0.0001 (0.0004)	0.001* (0.000)
<i>ln</i> _545 _{<i>i,t</i>}	0.006 (0.035)	-0.004 (0.016)	0.001 (0.022)	-0.029 (0.019)	0.051 (0.046)	-0.003 (0.002)
<i>ln</i> _545 _{<i>i,t-1</i>}	0.033 (0.035)	-0.003 (0.013)	0.006 (0.022)	0.004 (0.021)	0.047 (0.043)	0.004 (0.021)
<i>ln</i> _999 _{<i>i,t</i>}	0.001 (0.002)	-0.001* (0.001)	0.007*** (0.002)	-0.004** (0.002)	0.002 (0.001)	0.001 (0.000)
<i>ln</i> _999 _{<i>i,t-1</i>}	0.007*** (0.002)	-0.001 (0.001)	0.009*** (0.002)	-0.001 (0.002)	0.001 (0.001)	-0.000 (0.000)
<i>ln</i> _pib _{<i>i,t</i>}	0.140*** (0.025)	0.072*** (0.010)	0.138*** (0.032)	0.080*** (0.017)	-0.019 (0.015)	0.009*** (0.003)
<i>ln</i> _vaind _{<i>i,t</i>}	-0.002 (0.006)	- (0.003)	0.024*** (0.007)	-0.006 (0.006)	0.008* (0.004)	0.001 (0.001)
<i>ln</i> _vaagro _{<i>i,t</i>}	0.021** (0.009)	0.136*** (0.004)	-0.015 (0.010)	-0.002 (0.006)	0.003 (0.005)	0.013*** (0.001)
<i>ln</i> _investimento _{<i>i,t</i>}	-0.005** (0.002)	0.006*** (0.001)	-0.020*** (0.002)	0.003* (0.002)	0.0002 (0.001)	0.000 (0.000)
<i>ln</i> _sup_veg_prim _{<i>i,t</i>}	0.218*** (0.005)	0.003* (0.002)	-0.023*** (0.003)	0.402*** (0.006)	-0.001 (0.001)	0.000 (0.001)
<i>ln</i> _autuações _{<i>i,t</i>}	0.005** (0.002)	0.002** (0.001)	-0.016*** (0.002)	0.017*** (0.002)	-0.002** (0.001)	0.001 (0.001)
<i>ln</i> _vinculos _{<i>i,t</i>}	0.006 (0.011)	-0.004 (0.004)	0.015** (0.007)	-0.001 (0.006)	-0.002 (0.010)	-0.001 (0.001)
Observações	109,114	109,114	109,114	109,114	109,114	108,939
<i>R</i> ²	0.167	0.137	0.031	0.303	0.001	0.014
<i>Adj, R-Squared</i>	0.125	0.093	-0.018	0.268	-0.049	-0.036
<i>F Statistic</i>	1.1e3***	8.6e2***	1.7e2***	2.3e3***	7.6***	77.8***

Fonte: elaboração própria dos autores.

Nota: significância * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,01; Erros-padrão das estimativas entre parênteses.

A evidência da Tabela 3 corrobora a existência de forte heterogeneidade entre os setores emissores e evidencia a predominância de fatores estruturais e ambientais diretamente relacionados à dinâmica das emissões municipais. Em particular, a supressão de vegetação primária apresenta associação estatisticamente robusta e de elevada magnitude com as emissões decorrentes da mudança de uso da terra, resultado coerente com a literatura que identifica o uso e a cobertura do solo como o principal canal das emissões brasileiras. Esse padrão também se reflete no ajuste dos modelos: as estimações para o setor de uso e mudança da terra apresentam o maior poder explicativo ($R^2 = 0,303$), enquanto os modelos para os setores industrial ($R^2 = 0,001$), energia ($R^2 = 0,031$) e resíduos ($R^2 = 0,014$) exibem menor capacidade de explicar a variação das emissões, sugerindo que parte relevante da heterogeneidade municipal nesses setores permanece associada a fatores não capturados pelos controles observáveis.

Quanto à variável de interesse, a decomposição da despesa em gestão ambiental por subfunções não revela um padrão uniforme de associações entre os diferentes componentes da Função 18 e as emissões setoriais. Em vez de uma associação homogênea, os resultados indicam que as associações variam conforme a subfunção orçamentária e o setor emissor considerado, reforçando a hipótese de que a agregação da despesa ambiental pode ocultar mecanismos distintos de atuação. Quando surgem associações estatisticamente significativas em determinadas rubricas e setores, sua interpretação deve ser cautelosa por pelo menos dois motivos: i) a alocação entre subfunções pode refletir prioridades reativas a pressões ambientais recentes; e ii) parte da correlação pode operar com defasagens e por canais institucionais, como capacidade de implementação e *enforcement*, que não são plenamente observáveis nas informações orçamentárias agregadas.

A recorrência de associações estatisticamente significativas em alguns setores, especialmente nas emissões relacionadas ao setor de energia, sugere que as associações entre as despesas ambientais e as emissões podem variar conforme a natureza da subfunção orçamentária e o perfil das atividades emissoras predominantes em cada município. Embora essas associações não permitam inferir relações causais, elas são compatíveis com a hipótese de que determinadas subfunções respondam mais intensamente a pressões ambientais específicas ou atuem em contextos institucionais distintos, produzindo padrões diferenciados

entre os setores emissores. Esse resultado reforça que a agregação das despesas na Função 18 tende a ocultar mecanismos específicos de atuação das diferentes subfunções, dificultando a identificação de associações que somente se tornam visíveis quando a despesa é analisada de forma desagregada.

Em síntese, a Tabela 3 evidencia que as associações entre as subfunções da despesa ambiental e as emissões são heterogêneas entre os diferentes setores, ao passo que fatores estruturais, territoriais e institucionais continuam desempenhando papel predominante na dinâmica das emissões.

Embora estimações via *System-GMM* tenham sido exploradas como exercício adicional, os testes de diagnóstico indicaram fragilidades de identificação. Por essa razão, tais resultados são apresentados apenas como evidência exploratória no Apêndice *online*, não sendo utilizados para inferência principal.

4.3 *Event study* em torno da Política Nacional sobre Mudança do Clima

Como exercício complementar às estimações por efeitos fixos, esta subseção apresenta os resultados da análise dinâmica em formato de *event study*, inspirada no arcabouço de Callaway e Sant’Anna (2021). A estratégia toma a implementação da PNMC, a partir de 2010, como marco institucional comum a todos os municípios brasileiros, investigando se a trajetória das emissões difere entre localidades com distintos níveis de execução orçamentária ambiental no período anterior à implementação da política. Essa execução orçamentária foi mensurada a partir da média das despesas municipais na Função 18 (Gestão Ambiental) observadas exclusivamente no período anterior à PNMC (2000-2008), permitindo comparar municípios com menor e maior esforço orçamentário ambiental antes da implementação da política.

A estrutura de agregação dinâmica de Callaway e Sant’Anna (2021) é utilizada como referência operacional para organizar os contrastes temporais entre os grupos de maior e menor esforço orçamentário pré-PNMC. Como a PNMC incide simultaneamente sobre todos os municípios e os grupos são definidos a partir da despesa ambiental observada antes da política, não há adoção escalonada nem tratamento exógeno. Portanto, os coeficientes são interpretados como

contrastes dinâmicos entre trajetórias, e não como efeitos causais da PNMC ou da despesa ambiental.

A Figura 3 apresenta os coeficientes dinâmicos estimados (*event study*), permitindo avaliar a evolução temporal das diferenças entre os grupos de maior e menor esforço orçamentário ambiental antes e após a implementação da PNMC. Complementarmente, a Tabela 4 reporta o contraste médio agregado no período pós-PNMC, sintetizando a magnitude média dessas diferenças.

No período anterior à implementação da PNMC, os coeficientes estimados permanecem próximos de zero e, em sua maioria, apresentam intervalos de confiança que incluem o valor nulo, não evidenciando padrão sistemático de divergência entre os grupos com diferentes níveis de alocação orçamentária. Essa evidência gráfica mostra-se compatível com a hipótese de tendências paralelas, sugerindo que municípios com diferentes níveis de execução orçamentária ambiental prévia exibiam trajetórias semelhantes de emissões antes da implementação da política, elemento relevante para avaliar a comparabilidade das trajetórias pré-política entre os grupos.

No período posterior à implementação da PNMC, os coeficientes estimados apresentam elevada variabilidade e, na maioria dos casos, não diferem estatisticamente de zero. A Tabela 4 mostra que as estimativas médias agregadas permanecem próximas de zero para as emissões totais (0,0047), da agropecuária (0,0079), do setor de energia (0,0115), das mudanças no uso da terra (-0,0213) e da indústria (-0,005), todos acompanhados de intervalos de confiança que incluem o valor nulo. Esses resultados sugerem que, após a implementação da PNMC, municípios mais comprometidos orçamentariamente com a gestão ambiental antes da implementação da PNMC não apresentaram trajetórias de emissões sistematicamente distintas daquelas observadas entre municípios com menor execução orçamentária em gestão ambiental.

A reduzida magnitude dos contrastes estimados também pode refletir fatores que atenuam o contraste entre os grupos analisados. Entre eles, destacam-se potenciais *spillovers* espaciais decorrentes do deslocamento de atividades emissoras, da atuação regionalizada da fiscalização ambiental e de externalidades compartilhadas entre municípios vizinhos, mecanismos que tendem a reduzir a diferença observada entre as trajetórias de emissões dos grupos de comparação.

Tabela 4 – Estimação *Event Study* com agregação dinâmica

	<i>EMITOT</i> _{g,t}	<i>AGRO</i> _{g,t}	<i>ENERGIA</i> _g	<i>TERRA</i> _{g,t}	<i>INDUSTRIA</i> _{g,t}	<i>RESIDUOS</i> _{g,t}
Estimativa média	0,0047 (0,0197)	0,0079 (0,0071)	0,0115 (0,0207)	-0,0213 (0,0177)	-0,005 (0,0165)	0,0083*** (0,002)
[IC 95%]	-0,034 - 0,043	-0,006 - 0,022	-0,029 - 0,052	-0,056 - 0,013	-0,037 - 0,027	0,004 - 0,012
Obs.	64.658	64.658	64.658	64.658	64.658	64.658

Fonte: elaboração própria dos autores.

Nota: significância * $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$; Erros-padrão das estimativas entre parênteses. A estimativa média corresponde à agregação dinâmica das estimativas e deve ser interpretada de forma associativa, conforme o desenho empírico descrito na seção 3.2.2.

A única exceção refere-se às emissões do setor de resíduos, para as quais se observa um contraste médio positivo e estatisticamente significativo (0,0083; $p < 0,01$). Apesar da significância estatística, a magnitude do coeficiente permanece reduzida, sugerindo limitada relevância econômica. Sua interpretação, portanto, deve ser realizada com cautela, uma vez que o resultado pode estar associado a características específicas desse setor, tais como avanços na mensuração das emissões, ampliação da cobertura dos serviços de coleta e destinação de resíduos ou outras mudanças institucionais ocorridas no período, fatores que não podem ser isolados pela estratégia empírica adotada.

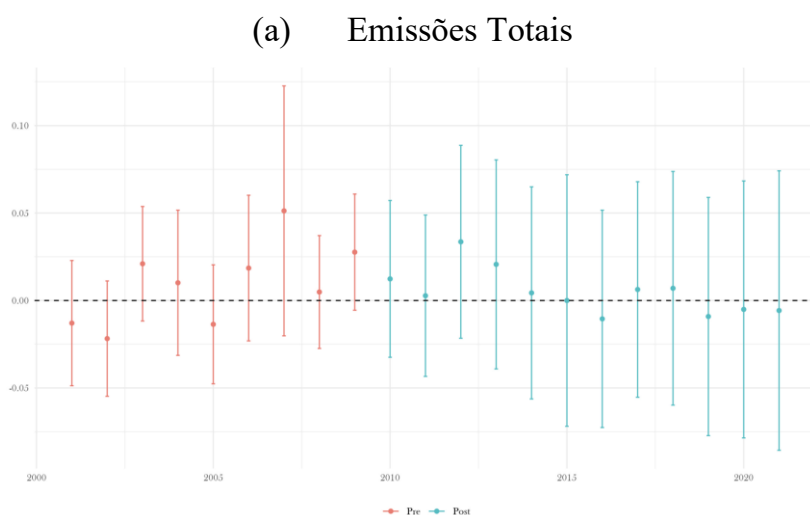
A Figura 3 complementa os resultados da Tabela 4 ao apresentar a evolução temporal dos coeficientes estimados para cada setor emissor. De modo geral, não se observa uma ruptura sistemática nas trajetórias das emissões após a implementação da PNMC. Embora alguns períodos apresentem coeficientes positivos ou negativos, essas estimativas oscilam em torno de zero e, na maior parte dos casos, permanecem acompanhadas por intervalos de confiança que incluem o valor nulo. Esse padrão indica ausência de evidência consistente de padrões dinâmicos persistentes associados às diferenças de execução orçamentária ambiental entre os municípios.

Observa-se ainda que os intervalos de confiança tendem a se ampliar no período pós-PNMC, refletindo maior incerteza estatística nas estimativas dinâmicas. Parte dessa variabilidade pode decorrer da heterogeneidade das respostas municipais à política, bem como de fatores não observados que evoluem de forma diferenciada entre localidades. Adicionalmente, a existência de potenciais *spillovers* espaciais, como deslocamento de atividades emissoras,

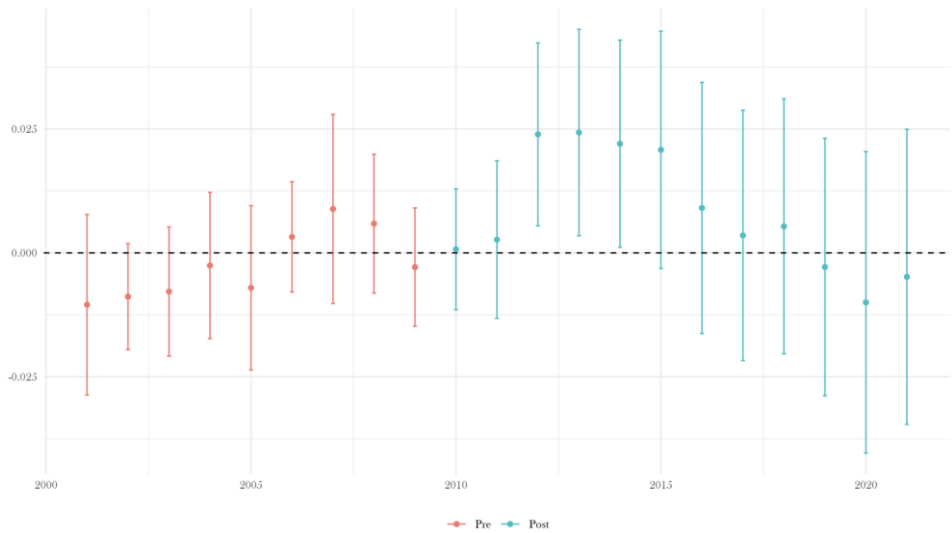
atuação regionalizada da fiscalização ambiental e externalidades compartilhadas entre municípios vizinhos, pode reduzir o contraste entre os grupos de comparação e contribuir para a atenuação dos contrastes estimados.

Em conjunto, os resultados do *event study* são consistentes com aqueles obtidos pelos modelos de efeitos fixos, indicando que municípios com diferentes níveis de execução orçamentária prévia não apresentaram trajetórias sistematicamente distintas de emissões após a implementação da PNMC. Esses achados sugerem que o volume agregado das despesas municipais na Função 18, isoladamente, não apresenta associação sistemática com reduções persistentes e economicamente relevantes das emissões de gases de efeito estufa. Em contrapartida, os resultados são compatíveis com a hipótese de que a efetividade das políticas ambientais dependa da composição funcional da despesa, da capacidade institucional dos governos locais e da qualidade dos mecanismos de implementação, monitoramento e *enforcement*.

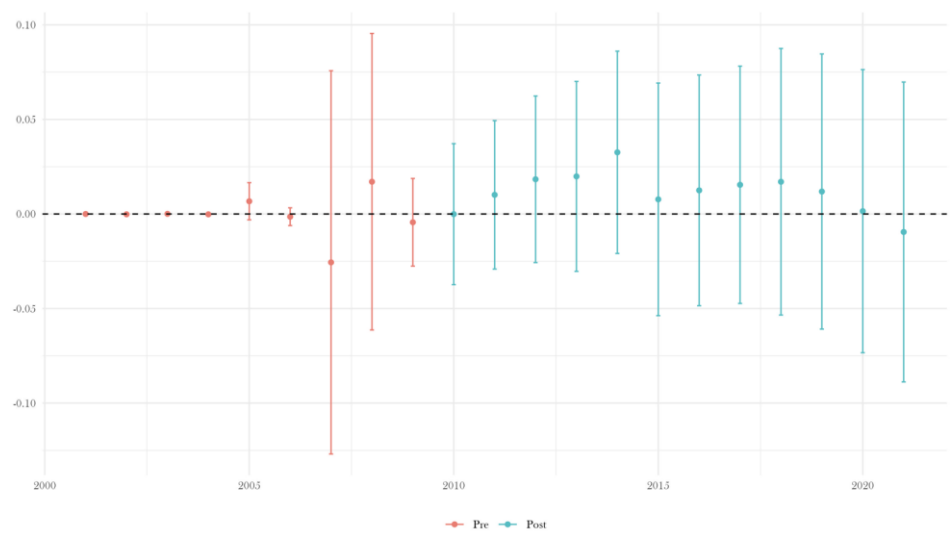
Figura 3 – Coeficientes dinâmicos (*event study*) das emissões de GEE



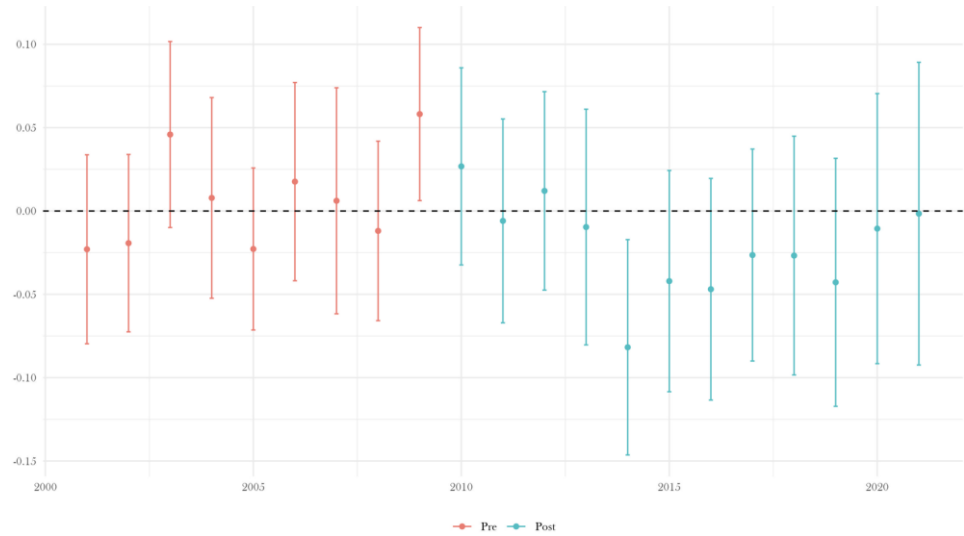
(b) Emissões da Agropecuária



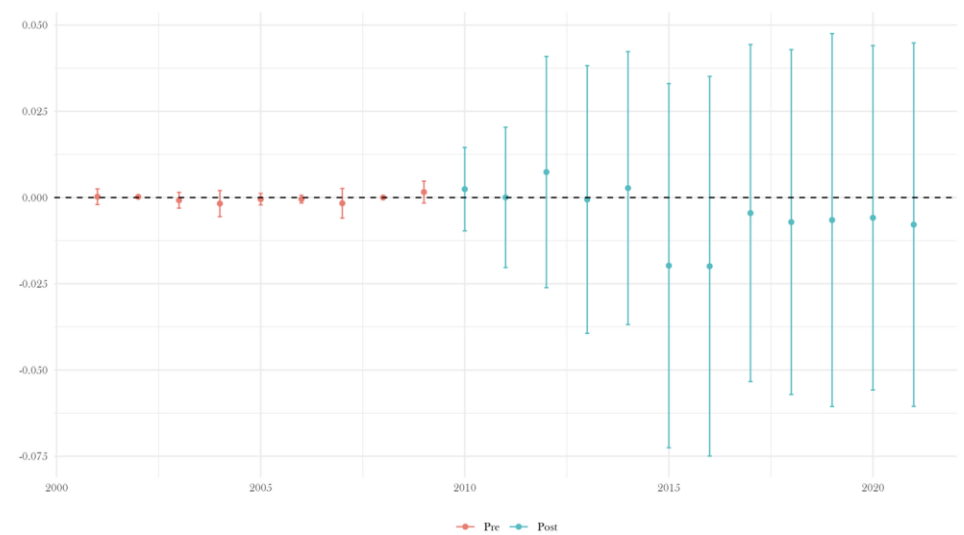
(c) Emissões do Setor de Energia



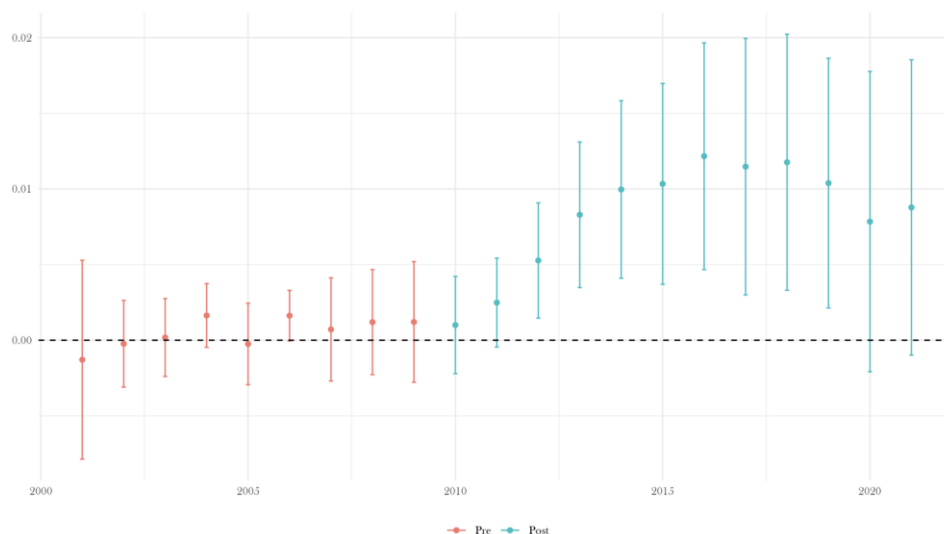
(d) Emissões das Mudanças no Uso da Terra



(e) Emissões do Setor Industrial



(f) Emissões do Setor de Resíduos



Fonte: elaboração própria dos autores.

Esse conjunto de evidências é consistente com a interpretação de neutralidade fiscal da Função 18 agregada proposta por Quintela (2016), segundo a qual o volume agregado de recursos destinados à gestão ambiental não se traduz, necessariamente, em reduções mensuráveis das emissões de gases de efeito estufa. Nessa perspectiva, os resultados sugerem que a avaliação da efetividade da política ambiental deve considerar não apenas o montante total executado, mas também a alocação dos recursos entre diferentes instrumentos de intervenção, a capacidade institucional dos governos locais e a qualidade dos mecanismos de implementação, monitoramento e fiscalização.

5. Considerações finais

Esta pesquisa analisou a relação entre a execução orçamentária municipal na Função 18 (Gestão Ambiental) e as emissões de gases de efeito estufa nos municípios brasileiros entre 2000 e 2021, por meio de modelos de painel com efeitos fixos bidirecionais e de uma análise dinâmica complementar em formato de *event study*, inspirada no arcabouço de diferenças-em-diferenças. Essa análise explorou diferenças nas trajetórias das emissões entre municípios classificados segundo sua execução orçamentária em gestão ambiental no período anterior à implementação da PNMC.

De forma geral, os resultados não indicam evidência robusta de que maiores despesas ambientais municipais, tal como registradas na função agregada, estejam associadas a reduções sistemáticas das emissões no período analisado, ao passo que determinantes estruturais, especialmente a supressão de vegetação primária, apresentam associações mais fortes e consistentes com a dinâmica emissora local.

Esses achados precisam ser interpretados à luz de algumas limitações metodológicas. Embora a estratégia empírica combine diferentes abordagens, como modelos de efeitos fixos bidirecionais e *event study*, os resultados devem ser interpretados como evidências associativas consistentes com os mecanismos discutidos ao longo do artigo. Além disso, algumas amostras efetivas de estimação tornam-se desbalanceadas em razão da disponibilidade desigual das covariáveis ao longo do tempo, o que pode alterar a composição da amostra entre as especificações. As *proxies* de *enforcement* e de capacidade institucional também capturam apenas parte do esforço regulatório e burocrático, deixando de fora dimensões relevantes da implementação das políticas ambientais. Soma-se a isso a possível violação da hipótese de não interferência entre unidades (SUTVA), uma vez que políticas ambientais e dinâmicas emissoras podem gerar efeitos de transbordamento espacial entre municípios. Processos como deslocamento do desmatamento, expansão da fronteira agropecuária, fiscalização regional e externalidades ambientais compartilhadas podem fazer com que ações ambientais e pressões emissoras em um município afetem as trajetórias de emissões de municípios vizinhos, reduzindo o contraste entre os grupos de maior e menor esforço orçamentário pré-PNMC e atenuando as diferenças estimadas. Dessa forma, a ausência de evidências robustas pode refletir não apenas a hipótese de neutralidade fiscal da despesa ambiental agregada, mas também limitações inerentes à mensuração espacial e institucional da política ambiental no contexto municipal brasileiro.

Ainda assim, os resultados oferecem implicações relevantes para a política pública. Os achados são consistentes com a hipótese de neutralidade fiscal da Função 18 agregada, conforme discutido por Quintela (2016), segundo a qual a agregação de despesas heterogêneas, combinando ações com diferentes intensidades de impacto ambiental, tende a diluir efeitos potencialmente relevantes sobre as emissões. Parte da associação positiva observada na despesa defasada também é compatível com mecanismos de reação fiscal, nos quais municípios com

maiores pressões ambientais ampliam posteriormente sua despesa pública, sem que isso implique efeito causal das despesas sobre o aumento das emissões. Nesse sentido, os padrões encontrados sugerem que a simples ampliação do volume de despesas na Função 18, sem alterações nas suas subfunções e sem fortalecimento da capacidade de implementação, tende a apresentar associação limitada com as emissões. Esses resultados sugerem a relevância de avaliar de forma específica a composição das despesas ambientais e sua articulação com capacidades locais de fiscalização e monitoramento, em vez de considerar apenas o volume agregado executado na Função 18.

Esse resultado dialoga diretamente com a literatura de economia do meio ambiente e finanças públicas, que enfatiza o papel da capacidade estatal e da qualidade da alocação de recursos, e não apenas do volume de despesas, na efetividade das políticas ambientais (Barbier, 2019; Sterner e Coria, 2013). A análise desenvolvida também indica alguns caminhos promissores para desdobramentos futuros de pesquisa. Investigações que combinem dados orçamentários com informações operacionais mais detalhadas sobre fiscalização, criação e manejo de áreas protegidas e adoção de tecnologias de monitoramento poderão elucidar mecanismos específicos por meio dos quais a despesa se converte (ou não) em resultados ambientais. Estudos com recortes espaciais mais finos ou enfoques em períodos de mudanças institucionais relevantes também podem ajudar a identificar desenhos orçamentários e arranjos de governança mais efetivos na redução das emissões. Nesse sentido, o artigo contribui para a literatura de economia ambiental e finanças públicas ao mostrar que a ausência de associações robustas para a despesa ambiental agregada não implica inexistência de mecanismos relevantes em componentes específicos da despesa. Ao contrário, os resultados sugerem que a composição funcional da despesa, a capacidade administrativa dos municípios e a articulação com políticas de maior escala constituem elementos centrais para compreender a efetividade das políticas ambientais locais.

Esta pesquisa, ao evidenciar os desafios na formulação de planos e políticas públicas de gestão ambiental, alinha-se aos compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris (ONU, 2015). Embora os instrumentos orçamentários previstos nos artigos 165 a 169 da Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988) sejam fundamentais para a previsão e alocação de recursos destinados às ações

ambientais, sua existência, por si só, não garante a efetividade esperada. Os resultados também sugerem que o desafio da política climática municipal pode residir menos no volume de recursos alocados e mais na capacidade de transformá-los em instrumentos efetivos de mitigação. Espera-se, assim, que este estudo forneça subsídios empíricos para a revisão de planos existentes e para a formulação de políticas públicas que integrem as despesas ambientais de forma mais explícita aos instrumentos de planejamento e orçamento públicos.

Referências

ANDERSEN, L. E.; GRANGER, C. W. J.; REIS, E. J.; WEINHOLD, D.; WUNDER, S. *The dynamics of deforestation and economic growth in the Brazilian Amazon*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511493454>.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: prices or policies? *Environment and Development Economics*, v. 20, n. 6, p. 697-722, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1355770X15000078>.

AZIZ, N.; HOSSAIN, B.; LAMB, L. The effectiveness of environmental protection policies on greenhouse gas emissions. *Journal of Cleaner Production*, v. 450, art. 141868, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141868>.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. *Crédito rural*. Brasília, DF: BCB, [2024]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/creditorural>. Acesso em: 27 abr. 2024.

BARBIER, E. B.; MARKANDYA, A. *A new blueprint for a green economy*. London: Routledge, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9780203097298>.

BARBIER, E. B. *The water paradox: overcoming the global crisis in water management*. New Haven: Yale University Press, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.12987/yale/9780300224436.001.0001>.

BRASIL. Lei nº 4.320, de 17 de março de 1964. Estatui normas gerais de direito financeiro para elaboração e controle dos orçamentos e balanços da União, dos Estados, dos Municípios e do Distrito Federal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 mar. 1964. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/14320.htm.

BRASIL. [Constituição (1988)]. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm.

BRASIL. Portaria nº 42, de 14 de abril de 1999. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 abr. 1999. Disponível em: <https://www.gov.br/planejamento/pt-br/assuntos/orcamento/legislacao-sobre-orcamento/arquivos/2012/portaria-mog-no-42-de-14-de-abril-de-1999-atualizado-23-07-2012>.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 dez. 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm.

BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrica*, v. 47, n. 5, p. 1287-1294, 1979. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1911963>.

CALLAWAY, B.; SANT'ANNA, P. H. C. Difference-in-differences with multiple time periods. *Journal of Econometrics*, v. 225, n. 2, p. 200-230, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.12.001>.

COLE, M. A.; ELLIOTT, R. J. R. Determining the trade-environment composition effect: the role of capital, labor and environmental regulations. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 46, n. 3, p. 363-383, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0095-0696\(03\)00021-4](https://doi.org/10.1016/S0095-0696(03)00021-4).

COSTA, D. J.; GUEDES, F.; BERTARELLI JÚNIOR, A. A.; FARIA, W. R. Padrões regionais e emissões de gases de efeito estufa (GEE): uma análise para os municípios da Amazônia Legal. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS REGIONAIS E URBANOS, 19., 2021, [online]. *Anais [...]*. [S. l.]: ABER, 2021.

COX, P. M.; BETTS, R. A.; JONES, C. D.; SPALL, S. A.; TOTTERDELL, I. J. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, v. 408, n. 6809, p. 184-187, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/35041539>.

CUNHA, D. A. da; REIS, D. I. dos. Efeitos das mudanças climáticas no setor agrícola do estado de Minas Gerais. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 10, n. 3, 3 jun. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.25070/rea.v10i3.206>.

DINIZ, C. G. *et al.* DETER-B: the new Amazon near real-time deforestation detection system. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth*

Observations and Remote Sensing, v. 8, n. 7, p. 3619-3628, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2437075>.

ESQUIVEL-MUELBERT, A. *et al.* Compositional response of Amazon forests to climate change. *Global Change Biology*, v. 25, n. 1, p. 39-56, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14413>.

EVANS, P. B. *Embedded autonomy: states and industrial transformation*. Princeton: Princeton University Press, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/9781400821723>.

FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions. *Climatic Change*, v. 35, n. 3, p. 321-360, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1005336724350>.

GEORGIEVA, V. Environmental investments and climate change: how environmental protection expenditure and gross domestic product affect emissions in the European Union. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, v. 12, n. 4, p. 1-17, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d12.0528>.

GREENE, W. H. *Econometric analysis*. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. *Econometria básica*. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. *Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement*. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 1991. (NBER Working Paper, n. 3914). Disponível em: <https://doi.org/10.3386/w3914>.

HAUSMAN, J. A. Specification tests in econometrics. *Econometrica*, v. 46, n. 6, p. 1251-1271, 1978. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1913827>.

HAUSMAN, J. A.; TAYLOR, W. E. Panel data and unobservable individual effects. *Econometrica*, v. 49, n. 6, p. 1377-1398, 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1911406>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). *PRODES: monitoramento do desmatamento da floresta amazônica brasileira por satélite*. São José dos Campos: INPE, 2024. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>.

IPCC. *Climate change 2023: synthesis report: contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.

KUZNETS, S. Economic growth and income inequality. *American Economic Review*, v. 45, n. 1, p. 1-28, 1955.

MAPBIOMAS. *Coleção 8 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil*. [S. l.]: MapBiomass, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomass/SJZOLT>.

MARINHO, V. da S.; FERREIRA, C. R. Complexidade econômica nos municípios brasileiros: efeitos sobre as emissões de gases do efeito estufa. In: SEMINÁRIO DE ECONOMIA DE DIAMANTINA, 20., 2024, Diamantina. *Anais [...]*. Diamantina: CEDEPLAR/UFMG, 2024. p. 1-20.

MEHMOOD, J.; YANG, J.; WANG, J.; AHMAD, M. Exploring the nexus between financial inclusion, governance, and carbon emissions in SAARC countries. *Heliyon*, v. 10, n. 24, e40985, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40985>.

MICKWITZ, P. *Environmental policy evaluation: concepts and practice*. Helsinki: Finnish Society of Sciences and Letters, 2006. (Commentationes Scientiarum Socialium, v. 66).

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. *Relação Anual de Informações Sociais (RAIS)*. Brasília, DF: MTE, 2021. Disponível em: <https://bi.trabalho.gov.br/bgcaged/>.

MUSGRAVE, R. A. *The theory of public finance: a study in public economy*. New York: McGraw-Hill, 1959.

NEPSTAD, D. *et al.* Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. *Science*, v. 344, n. 6188, p. 1118-1123, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1248525>.

NICKELL, S. Biases in dynamic models with fixed effects. *Econometrica*, v. 49, n. 6, p. 1417-1426, 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1911408>.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. *Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)*. [S. l.]: Observatório do Clima, 2024. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>.

ONU. *Acordo de Paris sobre o clima*. Nações Unidas no Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/88191-acordo-de-paris-sobre-o-clima>.

QUINTÃO, J. M. B.; CANTINHO, R. Z.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M. de; MARACAHIPES, L.; BUSTAMANTE, M. M. C. Mudanças do uso e cobertura da terra no Brasil, emissões de GEE e políticas em curso. *Ciência e Cultura*, v. 73, n. 1, p. 18-24, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21800/2317-66602021000100004>.

QUINTELA, M. C. de A. Investimentos em gestão ambiental versus redução de emissões de gases de efeito estufa: relações e causalidades no Brasil. *Cadernos de Finanças Públicas*, Brasília, DF, ENAP, 16 dez. 2016.

QUINTELA, M. C. de A.; ALVES DA SILVA, J. M.; GOMES, M. F. M. *Qualidade do gasto público estadual no Brasil*. [S. l.]: Novas Edições Acadêmicas, 2014.

SHAFIK, N.; BANDYOPADHYAY, S. *Economic growth and environmental quality: time series and cross-country evidence*. Washington, DC: World Bank, 1992. (World Bank Policy Research Working Paper, n. 904).

SKOCPOL, T. Bringing the state back in: strategies of analysis in current research. In: EVANS, P. B.; RUESCHEMEYER, D.; SKOCPOL, T. (ed.). *Bringing the state back in*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985. p. 3-38. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511628283.002>.

SOARES-FILHO, B. *et al.* Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 107, n. 24, p. 10821-10826, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0913048107>.

STERNER, T.; CORIA, J. *Policy instruments for environmental and natural resource management*. 2. ed. New York: Routledge, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9781315780894>.

SECRETARIA DO TESOURO NACIONAL (STN). *Apresentação do SICONFI*. Brasília, DF: STN, 2024. Disponível em: <https://siconfi.tesouro.gov.br/siconfi/pages/public/conteudo/conteudo.jsf?id=21>.

TOZATO, H. de C.; LUEDEMANN, G.; FRANGETTO, F. W.; MOREIRA, C. T. C. *Abordagens metodológicas para a identificação dos gastos com mudança do clima: desafios para o Brasil*. Brasília, DF: IPEA, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/entities/publication/66af5557-9c73-411d-be2d-9e61a21c15fe>.

TSAI, D. et al. *Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil, 1970-2023*. São Paulo: Observatório do Clima, 2024. Disponível em: <https://energiacambiente.org.br/wp-content/uploads/2024/01/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-11.pdf>.

WOOLDRIDGE, J. M. *Introdução à econometria: uma abordagem moderna*. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

WORLD BANK. *Inclusive green growth: the pathway to sustainable development*. Washington, DC: World Bank, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-9551-6>.

WRI – WORLD RESOURCES INSTITUTE. *Climate Watch: greenhouse gas (GHG) emissions*. Washington, DC: WRI, 2023. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2021&start_year=1990.

YILMAZ, S. The impact of environmental protection expenditures on reducing greenhouse gas emissions. *Sustainability*, v. 17, n. 7, art. 3192, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su17073192>.

Material Complementar

O apêndice *online* apresenta os testes e as estimações complementares que subsidiam as análises do artigo, incluindo especificações adicionais, verificações de robustez e resultados auxiliares.