

# SINERGIA

REVISTA DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS, ADMINISTRATIVAS E CONTÁBEIS (ICEAC)

## ANÁLISE DO IMPACTO DAS POLÍTICAS DE COMBATE AO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA

BRUNO BENEVIT\*  
CAROLINA SILVA DA TRINDADE\*\*  
ROBERTO BEZERRA DE MELO JÚNIOR\*\*\*  
DANIEL DE ABREU PEREIRA UHR\*\*\*\*  
JÚLIA GALLEGUO ZIERO UHR\*\*\*\*\*

### RESUMO

O objetivo deste estudo é testar a efetividade das políticas de combate ao desmatamento na Amazônia Legal brasileira implementadas entre 2004 e 2008 nos municípios isolados da região. Buscamos identificar o efeito dessas mudanças legais ao analisar o incremento do desmatamento em dois períodos: 2002 a 2007 e 2005 a 2010. Utiliza-se a metodologia de diferença em diferenças, considerando os municípios não metropolitanos como o grupo tratado e municípios metropolitanos como o grupo controle. Os resultados indicam uma redução no incremento do desmatamento de 11,289 km<sup>2</sup> por município em média após a implementação da política ambiental de 2004, e uma redução de aproximadamente 13,464 km<sup>2</sup> após a implementação do conjunto de políticas ambientais de 2008. Diferentes grupos de tratamento, análise de estudo de evento e 3 tipos diferentes de testes de placebo foram empregados para verificar a robustez dos resultados. Os testes de robustez corroboram os resultados encontrados. As evidências encontradas ressaltam a importância de políticas de combate ao desmatamento em regiões isoladas dos centros urbanos. Os resultados encontrados fornecem novas evidências relacionadas à efetividade relativa de políticas de combate ao desmatamento em municípios isolados na região, além de analisar isoladamente as políticas implementadas nos anos 2000 em períodos distintos.

**Palavras-chave:** Economia ambiental. Desmatamento. Amazônia Legal Brasileira. Legislação ambiental. Diferença em diferenças.

### ABSTRACT

The objective of this study is to test the effectiveness of policies to combat deforestation in the Brazilian Legal Amazon implemented between 2004 and 2008 in isolated municipalities in the region. We identify the effect of these legal changes by analyzing the increase in deforestation in two periods: 2002 to 2007 and 2005 to 2010. The methodology of difference in differences is used, considering non-metropolitan municipalities as the treatment group and metropolitan municipalities as the control group. The results indicate a reduction in the increase in deforestation of 11.289 km<sup>2</sup> per municipality on average after the implementation of the environmental policy of 2004, and a reduction of approximately 13.464 km<sup>2</sup> after the implementation of the environmental policies of 2008. Different treatment groups, event study analysis, and 3 different types of placebo tests were employed to verify the robustness of the results. The robustness tests corroborate the results found. The results found provide new evidence related to the relative effectiveness of policies to combat deforestation in isolated municipalities in the region, in addition to analyzing separately the policies implemented in the 2000s in different periods.

**Keywords:** Environmental economics. Deforestation. Brazilian Legal Amazon. Environmental legislation. Difference in differences.

Recebido em: 23-01-2023 Aceito em: 23-07-2023

## 1 INTRODUÇÃO

A relevância da preservação do meio ambiente é frequentemente destacada em pesquisas científicas, tendo sob perspectiva o desenvolvimento mundial sustentável e os impactos para gerações futuras

\* Mestre em Economia Aplicada (2022) pelo Programa de Pós-graduação em Organizações e Mercados (PPGOM) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). E-mail: bruno.benevit@gmail.com

\*\* Doutoranda em Economia Aplicada na Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Mestre em Economia do Desenvolvimento pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

\*\*\* Mestre em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

\*\*\*\* Pós-Doutor em Economia pela Universidade de São Paulo (FEA/USP). Doutor em Economia pela Universidade de Brasília (UnB). Mestre em Economia pela Universidade de Brasília (UnB).

\*\*\*\*\* Pós-doutora em Economia pela Universidade de São Paulo (USP). Doutora e Mestre em Economia pela Universidade de Brasília (UnB).

decorrentes da degradação ambiental. Segundo Relatório da Organização das Nações Unidas (United Nations Environment Programme, 2021), a humanidade está utilizando aproximadamente 1,6 vez a quantidade de serviços que a natureza é capaz de fornecer para que não ocorra o colapso do ecossistema e conseqüentemente a perda de biodiversidade. Ainda, conforme a Organização, cerca de 40% da população (3,2 bilhões de pessoas) mundial está sendo afetada pela degradação do meio ambiente. Os efeitos na população compreendem poluição do ar (Currie e Walker, 2019), aumento da temperatura terrestre e das emissões de CO<sub>2</sub> (Fearnside e Laurance, 2004), maior incidência de fenômenos tropicais (como furacões), desastres hidrológicos e secas (Ray *et al.*, 2006), aumento de ocorrência de doenças como Malária, Ebola, Leishmaniose e Esquistossomose (Berazneva e Byker, 2017; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020; Food and Agriculture Organization of the United Nations e United Nations Environment Program, 2020; Lam e Chua, 2002) e problemas econômicos como a redução do Produto Interno Bruto (PIB), principalmente em países em desenvolvimento (Fearnside, 2005; Nitin Bhatia e Graeme S. Cumming, 2020).

O maior volume de desmatamento encontra-se em países subdesenvolvidos e emergentes. Na maior parte, a causa desse desmatamento está fortemente relacionada ao uso do solo, o que afeta o ambiente e a cobertura vegetal, a saber: expansão das pastagens e áreas agrícolas, extração de madeira e expansão da infraestrutura (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016; Geist e Lambin, 2002; Margulis, 2003). No Brasil, país referência em produção e exportação de *commodities*, e que têm maior percentual de áreas desmatadas no mundo, a preocupação com a preservação dos biomas é crescente (INPE, 2021). O desmatamento, na Amazônia Legal brasileira, registrado foi de 27.772 km<sup>2</sup> em 2004, ano de inauguração do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm). Nesse sentido, as entidades públicas e a legislação ambiental brasileira adotaram medidas com o objetivo de impedir o desmatamento ilegal e monitorar as ações em áreas de vegetação em situação crítica no Brasil (Brasil, 2003, 2004, 2007; Brasil, C. C., 2008; Brasil, C. M. N., 2008; Brasil, M. M. A., 2008). Em 2012, o índice de desmatamento registrado na Amazônia Legal brasileira foi de 4.571km<sup>2</sup>, representando uma redução de 84% em relação ao primeiro ano do programa.

Compreender as melhores práticas para o combate ao desmatamento tropical é essencial não apenas para a contenção da perda da biodiversidade, mas também para o enfrentamento do aquecimento global. Pesquisas realizadas sobre esse tema indicam que as políticas ambientais adotadas no período de 2004 a 2012 foram efetivas no combate ao desmatamento na Amazônia Legal. Assunção, Gandour e Rocha (2015) concluíram que, após a implementação do PPCDAm, uma série de políticas introduzidas entre 2004 e 2008 induziram a redução do desmatamento na Amazônia Legal brasileira em 56% no período de 2005 a 2009. Em outro estudo, Assunção, Gandour e Rocha (2012) mostram que houve diminuição de 75% no desmatamento observado de 2007 a 2011 devido à combinação do aprimoramento dos mecanismos de aprimoramento a partir de 2004 e com a criação de dispositivos legais para a aplicação de multas impostas em 2008. Hargrave e Kis-Katos (2013) enfatizam que tais políticas, somadas a mudanças na disponibilidade de crédito agrícola, também impactaram o desmatamento na região durante o período.

Assim, a redução do desmatamento na Amazônia Legal brasileira demonstra estar atrelada ao conjunto de políticas associadas ao PPCDAm, que provocaram o aumento do monitoramento, da fiscalização e da imposição de dispositivos institucionais que reduziram os incentivos para a prática de atividades econômicas extrativistas. Nesse sentido, identificar o potencial e a efetividade de políticas decorrentes do PPCDAm entre 2004 e 2008 é importante para a formulação e o aprimoramento de outras políticas. Assim, este estudo se propõe a responder aos seguintes questionamentos: (i) as reduções nos níveis de desmatamento da Amazônia Legal brasileira ocorridas pós 2004 e pós 2008 foram ocasionadas pela implementação de políticas relacionadas ao PPCDAm no mesmo período? (ii) como tais políticas afetaram os municípios mais isolados? (iii) qual a magnitude do efeito das mudanças legislativas sobre o incremento do desmatamento desses municípios?

Para responder a tais perguntas, empregamos o método de diferenças em diferenças (DD). Consideramos os municípios situados em região não metropolitana da Amazônia Legal brasileira como o grupo tratado e os municípios situados em região metropolitana como o grupo controle. Como análise de robustez, realizamos análises com diferentes grupos tratados, estudo de evento e testes de placebo. A amostra utilizada neste estudo contempla 6 fontes de dados combinados, em que a principal base de dados utilizada para o auferimento do desmatamento é oriunda do Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal (PRODES) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para a segunda análise com diferentes grupos tratados, utiliza-se a demarcação de territórios indígenas através de dados do portal eletrônico da Fundação Nacional do Índio (FUNAI). Foram analisados dois períodos para verificar o efeito dos conjuntos de políticas de 2004 e 2008, compreendendo, assim, os anos de 2002 a 2007 e 2005 a 2010. A análise é realizada em nível municipal, compreendendo 760 municípios situados na região da Amazônia Legal Brasileira.

Este trabalho contribui para a literatura de diversas formas. Primeiramente, o artigo avalia o impacto da primeira fase do PPCDAm, isolando o efeito do conjunto de políticas implementadas em 2004 e 2008,



(Brasil, 1988, 1981). Desde esse período, surgiram decretos, leis, resoluções e planos de ação com o intuito de garantir a utilização racional, bem como a conservação efetiva dos recursos. Em 1986, a Lei nº 7.511/1986 além de penalizar a ocorrência dos desmatamentos, mesmo com a garantia de recuperação ou compensação da vegetação original, também aumentou os limites das Áreas de Preservação Permanente (APP's) nas margens dos rios para 30 metros (anteriormente, o limite estava em 5 metros). Em 1989, houve um novo aumento das APP's no intuito de garantir a extensão da proteção para áreas ao redor das nascentes e com altitudes mais elevadas (superiores a 1.800 metros), e, ainda, determinou-se que o reflorestamento necessário fosse feito com espécies nativas, de maneira prioritária (Lei nº 7.803/1989) (Senado Federal Brasileiro, 2011).

Em 1992, com a promoção da Conferência Eco-92 no Brasil pela Organização das Nações Unidas (ONU), a agenda ambiental ganhou relevância ainda maior, inclusive internacionalmente. Segundo dados do INPE (2021), entre os meses de agosto de 1994 a 1995, o país atingiu o recorde de desmatamento no país com 29.000 km<sup>2</sup> (Senado Federal Brasileiro, 2012). Com o intuito de frear o desmatamento florestal, o governo brasileiro alterou o Código Florestal poucos anos depois ao lançar a Medida Provisória nº 2.166-67/2001. Outra modificação do Código Florestal que merece destaque foi a inserção da aplicação de multas pelos órgãos de fiscalização, ocorrida a partir da consolidação da Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998). Em 2001, para propriedades rurais situadas na Amazônia e no Cerrado dentro dos limites da Amazônia Legal, houve o aumento do percentual de área de reserva legal para 80% (antes 50%) e 35% (antes 20%), respectivamente. No final de 2003, com os níveis de desmatamento bastante elevados, viu-se a necessidade da criação de medidas mais rígidas para conter as devastações, principalmente na Amazônia Legal, resultando na criação PPCDAm em 2004.

A criação do PPCDAm se deu a partir do Grupo Permanente de Trabalho Interministerial para a Redução dos Índices de Desmatamento da Amazônia Legal instituído via o Decreto Presidencial nº 9.922/2003 (Brasil, 2003). O PPCDAm combinou ações de diferentes instituições governamentais e estabeleceu novos critérios para a gestão do território, controle ambiental, aprimorando ferramentas de monitoramento e punição do desmatamento (Assunção, Gandour e Rocha, 2015; Brasil, 2004). Entre o final de 2007 e início de 2008, foram implementados os Decretos presidenciais nº 6.321/2007 e nº 6.514/2008, e pela Resolução nº 3.545/2008 do Conselho Monetário Nacional (CMN). Esse conjunto de políticas foi implementado visando aprimorar a coordenação entre as entidades federativas e instituições financeiras, aprimorando os critérios de prioridade nos municípios com maiores índices de desmatamento, condicionando o crédito rural à conformidade com regulações ambientais, e ampliando o arcabouço legal para a aplicação de sanções para crimes ambientais (Assunção, Gandour e Rocha, 2015; Brasil, 2007; Brasil, C. C., 2008; Brasil, C. M. N., 2008; Brasil, M. M. A., 2008).

Segundo dados do INPE (2021), o ritmo do desmatamento na Amazônia Legal brasileira diminuiu substancialmente na segunda metade dos anos 2000. Após atingir um pico de 27.772 km<sup>2</sup> em 2004, a taxa de desmatamento na região caiu consideravelmente, registrando 4.571 km<sup>2</sup> em 2012, o seu menor índice na série histórica. Essa queda, bastante influenciada pelos estados de Tocantins, Mato Grosso e Maranhão, que tiveram reduções bastante significativas (85,44%, 85,49% e 68,60%, respectivamente) em relação à área desmatada em 2004. Apenas os estados de Roraima e Amazonas tiveram aumento da área desmatada em relação a 2004. O Gráfico 1 ilustra a diminuição do desmatamento nos estados da Amazônia Legal brasileira ao longo dos anos 2004 a 2019. A partir do gráfico, é possível observar uma queda constante até o ano de 2007, apresentando um novo ponto de inflexão em 2008. Tal fenômeno pode ter ocorrido devido às políticas de conservação voltadas à região da Amazônia Legal adotadas ao longo desse período. Em 2004, houve a criação do PPCDAm a partir do Grupo Permanente de Trabalho Interministerial para a Redução dos Índices de Desmatamento da Amazônia Legal instituído via decreto nº 9.922/2003 (Brasil, 2003). O PPCDAm combinou ações de diferentes instituições governamentais e estabeleceu novos critérios para a gestão do território, controle ambiental, aprimorando ferramentas de monitoramento e punição do desmatamento (Assunção, Gandour e Rocha, 2015; Brasil, 2004).

**Gráfico 1 – Desmatamento na Amazônia Legal, 2004-2019**



**Fonte:** Elaborado pelos autores a partir dos dados do INPE (2021) pelo programa Stata.

Entretanto, apesar dessas medidas, os índices de desmatamento no Brasil ainda são bastante preocupantes. Em 2019, aproximadamente 15% da área total do Brasil foi desmatada. Desses, 63,25% ocorreram no bioma Amazônia, 33,56%, no bioma Cerrado, 1,27%, no bioma Pantanal, 1%, no bioma Caatinga, 0,87%, no bioma Mata Atlântica e 0,05%, no bioma Pampa (Azevedo *et al.*, 2020; IBGE, 2021). Em relação aos biomas, destaca-se que a Mata Atlântica, por exemplo, já teve 93% de sua área devastada, com 383 dos 633 animais ameaçados de extinção no Brasil, e mais de 20 mil espécies de plantas (sendo 8 mil naturais da região). Segundo maior bioma da América do Sul (perdendo apenas para a Amazônia), o Cerrado já tem mais da metade de sua área convertida em ambiente urbano, e, em 2019, registraram aumento de 15% no desmatamento em suas unidades de conservação. O Pantanal, por sua vez, conta com 16,5% de sua área já desmatada, e é bastante prejudicado também pelo desmatamento no Cerrado, uma vez que os rios que correm no Pantanal nascem no Cerrado. O bioma Caatinga, localizado no semiárido brasileiro, possui 80% de seu território alterado pela ação humana e conta com apenas 2% de sua área caracterizada como área de preservação permanente. O bioma pampa, situado no sul do País, sofreu desmatamento de mais de 44% de sua área total, justificado principalmente pela utilização da produção agrícola. Em relação à Amazônia, houve aumento de 30% nas queimadas e de mais de 80% no desmatamento na comparação 2019-2018. No âmbito da Amazônia Legal, os níveis de desmatamento, após manterem uma certa estabilidade entre 2013-2018, parecem estar dando sinais de volta de crescimento em 2019 (muito influenciado pelas altas nas taxas de devastação nos estados do Roraima, Acre e Pará com, respectivamente, 216,4%, 55% e 40,7% de variação no período 2018-2019) (Fundação SOS Mata Atlântica, 2019; IBGE, 2021; INPE, 2021). Mas o fato é que a região experimentou redução significativa desses níveis no período entre 2004 e 2012, período este que coincide com a implementação das importantes medidas políticas de 2004 e 2008.

## 2.2 O PPCDAM e suas políticas ambientais

Em 2004, o governo passou a olhar de maneira diferente para as políticas de contenção do desmatamento e, como resultado, lançou o PPCDAm. O PPCDAm era composto por um conjunto de estratégias prioritárias visando à promoção da redução das taxas de desmatamento na Amazônia Legal por meio de ações integradas de ordenamento territorial e fundiário, monitoramento e controle, fomento a atividades produtivas sustentáveis e infraestrutura. O PPCDAm envolveria, ainda, parcerias entre órgãos federais, estaduais, municipais, setor privado e entidades da sociedade civil. Assim, passaram a fazer parte desse novo plano de ação instituições especializadas como as polícias Federal e Rodoviária, o Exército Brasileiro e o INPE. O plano contava com três fases, a saber: fase I (2004-2008), fase II (2009-2011) e fase III (2012-2015) (Brasil, 2004).

Os três eixos principais do PPCDAm eram a promoção de práticas sustentáveis, a gestão territorial e questões de uso da terra, e a intensificação do controle e contenção do desmatamento. A questão envolvendo o controle e monitoramento da região, por exemplo, melhorou consideravelmente com a criação, pelo INPE, do Sistema em Tempo Real para Detecção de Desmatamento (DETER), em 2004, para monitorar a cobertura

florestal via satélite (com imagens georreferenciadas, geradas quinzenalmente). Segundo Assunção, Gandour e Rocha (2015), a criação do DETER qualificou consideravelmente o monitoramento por sensoriamento remoto na região, porque permitiu que os focos de desmatamento fossem encontrados de maneira mais rápida, possibilitando a emissão de alertas no intuito de indicar áreas críticas. Antes da consolidação do DETER, o monitoramento dependia de relatórios voluntários que indicassem a condição de cada área dentro da Amazônia Legal, e isso dificultava muito a atuação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) na repressão legal aos infratores, inclusive em questão de tempo.

Outro ponto do PPCDAm que merece destaque foi o aumento da criação de áreas protegidas, a saber: Unidades de Conservação (formadas por áreas de preservação permanente (APP's) e de reserva legal (RL)) e territórios indígenas. Conforme Assunção, Gandour e Rocha (2015), houve aumento de mais de 520 mil km<sup>2</sup> na área de Unidades de Conservação na Amazônia Legal entre 2004 e 2009. Em 2010, segundo os autores, cerca de 43% da área da Amazônia Legal era considerada área protegida. Na questão de infraestrutura e ordenamento fundiário, a intensificação da regularização das posses de terras (envolvendo questões de direito de propriedade) como resposta à prática de "grilagem" mostra-se fundamental, inclusive para a consolidação de áreas protegidas. Segundo a Fundação Nacional do Índio (2021), a demarcação de terras indígenas funciona como uma medida protetiva, que contribui para a proteção do meio ambiente e da biodiversidade. Desde o seu início, o PPCDAm estabeleceu uma mudança institucional em relação ao meio ambiente na região, redimensionando a prioridade e a coordenação por parte dos entes públicos e privados (Assunção, Gandour e Rocha, 2015).

Entre o final de 2007 e 2008, uma série de novas medidas foram implementadas. A primeira medida que compôs esse conjunto de medidas foi o Decreto Presidencial nº 6.321/2007. O Decreto estabeleceu a base legal para que o MMA estabelecesse os municípios com intensa atividade de desmatamento dentro do território da Amazônia Legal brasileira, possibilitando a adoção de medidas mais rígidas em relação a eles. Selecionados anualmente com base em seu histórico recente de desmatamento, a saída dessa lista estava condicionada a uma redução significativa de desmatamento (Brasil, 2007). Complementarmente, a Portaria MMA nº 28 (Brasil, M. M. A., 2008) trouxe a listagem dos primeiros 36 municípios prioritários em janeiro de 2008. O custo adicional proporcionado por pertencerem a essa lista acabou provocando consequências indiretas aos municípios incluídos, como, por exemplo, a recusa de frigoríficos na compra de gado de fazendas em situação legalmente irregular, e a necessidade de maior prioridade na produção sustentável (Arima *et al.*, 2014; Assunção e Rocha, 2019; Heliandro Maia *et al.*, 2011).

A segunda medida adotada foi o aumento da rigidez em relação aos crimes ambientais e demais processos. Essa medida visava auxiliar o novo processo de monitoramento e controle do PPCDAm, e foi respaldada legalmente pelo Decreto Presidencial nº 6.514/2008, promovendo o restabelecimento, para processos de cunho ambiental, de diretrizes tanto para sua investigação quanto para sua penalização, inclusive incluindo novos instrumentos de punição, que se somaram às multas já existentes, como embargos, apreensão e destruição de bens e materiais de produção e prisão. Esse decreto incorporou, de maneira mais detalhada, à legislação as possíveis infrações e os referidos processos administrativos necessários para a aplicação de sanções, o que ocasionou maior agilidade e clareza na realização de tais processos (Assunção, Gandour e Rocha, 2015; Brasil, C. C., 2008).

Por fim, a Resolução 3.545/2008 do CMN condicionou a concessão de crédito rural na Amazônia ao limitá-la à comprovação de conformidade com a legislação ambiental pelos tomadores de empréstimo e à legitimidade das reivindicações fundiárias, impactando a demarcação de terras e de áreas protegidas. Logo, aqueles não enquadrados nos limites legais eram considerados não elegíveis para a obtenção do crédito, uma vez que passava a ser obrigatório provar não apenas a propriedade da terra, mas também a inexistência de embargos. Caso as terras estivessem embargadas, então o crédito rural não era concedido, e, caso as terras sofressem embargo após a concessão, o contrato era suspenso até a sua normalização, incorrendo em sua extinção caso contrário (Assunção, Gandour e Rocha, 2015; Brasil, C. M. N., 2008). Segundo Assunção *et al.* (2013), em 2003, cerca de 30% dos recursos necessários aos produtores brasileiros em um ano (safra) foram financiados com a obtenção do crédito rural. Assim, sanções a esse crédito acabam interferindo na produção de *commodities* no país, e, conseqüentemente, podem influenciar nos níveis de desmatamento.

### 2.3 Literatura Empírica Relacionada

O desmatamento é um tema recorrente na literatura, o que acontece principalmente devido à questão climática e à perda de biodiversidade. O debate sobre desmatamento é bastante heterogêneo. Em relação ao papel em fatores macroeconômicos de longo prazo (redução de pobreza, mudança tecnológica e de uso do solo, PIB, crescimento econômico, densidade demográfica) há bastante debate na literatura (Barbier e Burgess, 1996; Chomitz e Gray, 1996; Chomitz e Thomas, 2003; Cropper e Griffiths, 1994; Foster e Rosenzweig, 2002).

Segundo Angelsen e Kaimowitz (1999), o aumento do desmatamento parece estar ligado a maiores preços agrícolas, possível escassez de empregos não agrícolas, concessão de crédito rural, salários mais baixos e maior número de estradas, pontos corroborados por outros pesquisadores (Barbier e Burgess, 1996; Chomitz e Gray, 1996; Hargrave e Kis-Katos, 2013; Pfaff *et al.*, 2007; Pfaff, 1999). Além disso, reformas políticas podem desempenhar papel positivo na contenção das devastações, o que também é apontado por Pfaff e Robalino (2012). Assim, o grande desafio consiste em propor políticas eficazes que tenham baixos custos de transação associados à negociação, monitoramento e implementação.

Estudos recentes mostram que a interação entre as políticas, e dessas com outros determinantes (como o monitoramento), é vantajosa (Assunção e Rocha, 2019; Pfaff *et al.*, 2007, 2015; Robalino, Pfaff e Villalobos, 2015). No âmbito da Amazônia Legal, o enfoque da maioria dos estudos recentes recai sobre os dois pontos de inflexão observados no desmatamento da região em 2004 e 2008, e sua relação com a implementação de significativas mudanças políticas ocorridas nesses mesmos anos. Assunção, Gandour e Rocha (2015) concluíram, após controlar os efeitos dos preços, que as políticas implementadas tanto em 2004 quanto em 2008 contribuíram para uma contenção significativa do desmatamento. Segundo os autores, o desmatamento teria sido 56% maior entre 2005 e 2009 na ausência dessas políticas.

Em outra pesquisa de Assunção, Gandour e Rocha (2012), o impacto, especificamente da combinação do aumento do monitoramento proposto pelo PPCDAm em 2004 com o número total de multas aplicadas (advindas do enrijecimento proposto no conjunto de políticas em 2008), é avaliado por meio de estimativas em dois estágios (2SLS) para municípios do bioma Amazônia no período entre 2007 e 2011. Os resultados dos autores mostram que o aumento do número de multas aplicadas no ano anterior reduzira significativamente o desmatamento no ano seguinte para o mesmo município, e, ainda, que o desmatamento observado de 2007 a 2011 foi 75% menor do que teria sido na ausência de multas. Assunção *et al.* (2020) concluíram que a implementação da Resolução nº 3.545/2008 do CMN ocasionou uma redução na concessão de crédito rural no Bioma Amazônia entre 2002 e 2012, e essa redução, por sua vez, ajuda a explicar a diminuição no desmatamento da região.

Concentrando-se nos direcionadores econômicos e políticos que influenciam a lucratividade esperada de diferentes métodos de uso da terra, Hargrave e Kis-Katos (2013) abordam as variações nos preços de carne, soja e madeira, e também consideram as mudanças das políticas governamentais, principalmente em relação às áreas de proteção ambiental e ao fluxo do crédito rural. Além do aumento nos preços das *commodities* estar associado a maiores taxas de desmatamento, as políticas e a mudança na disponibilidade de crédito agrícola também impactaram a variável de resultado. Como resultado mais robusto, os autores encontraram que o aumento percentual na intensidade de multas resultou em uma redução de cerca de 0,2% no desmatamento.

A fiscalização ambiental também foi abordada por Arima *et al.* (2014) a partir do método de DD. Segundo os autores, o aumento da fiscalização na Amazônia brasileira contribuiu para a redução do desmatamento na referida região em até 10.653km<sup>2</sup> entre 2009 e 2011. Já Assunção e Rocha (2019) olham apenas para os municípios em situação crítica em relação ao desmatamento (conforme lista da Portaria MMA nº 28/2008) e verificam que, após 2008, esses municípios reduziram significativamente o desmatamento na comparação com os municípios que não estavam na lista. O aumento do monitoramento foi o principal mecanismo segundo os autores, este proporcionando uma aplicação mais eficaz da lei. Para esse grupo de municípios, não foi encontrado efeito nas concessões de crédito para a produção agrícola.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Estratégia de identificação

Diversos autores estudaram os mecanismos que fizeram com que essas políticas reduzissem o desmatamento na Amazônia Legal (Arima *et al.*, 2014; Assunção *et al.*, 2013; Assunção, Gandour e Rocha, 2015; Hargrave e Kis-Katos, 2013; Weinhold e Reis, 2008). As políticas ambientais possuem aspectos relacionados ao aumento do monitoramento dos territórios da Amazônia Legal brasileira através de satélites. No Brasil, o INPE é o responsável pelas informações e monitoramento das informações coletadas pelos satélites, e, também, pelo repasse destas para o IBAMA. As autuações são de responsabilidade dos Estados e do IBAMA. A implementação do DETER, em 2004, teve como fundamento a ordenação fundiária, principalmente no sentido de identificação de unidades de conservação e de demarcação dos territórios indígenas. Além disso, a partir da implementação do PPCDAm, as esferas públicas estabeleceram maior prioridade e coordenação com relação à preservação ambiental. Em 2008, as mudanças institucionais deram sequência ao aperfeiçoamento de instrumentos de monitoramento e controle, aplicação de sanções e regulação favorecendo o *compliance* ambiental.

Considerando essa estrutura, propomos como estratégia de identificação a utilização dos municípios não metropolitanos como grupo dos tratados, e os municípios metropolitanos como grupo de controle. A ideia

da seleção desses dois grupos se justifica devido aos municípios metropolitanos manterem as suas tendências de incremento do desmatamento devido às suas características de localização geográfica e de infraestrutura. Entretanto, os municípios situados fora da região metropolitana são mais suscetíveis à produção agrícola e devem ser mais afetados pela mudança de política ambiental.

Dessa maneira, queremos analisar o efeito das mudanças institucionais decorrentes da implementação da primeira fase do PPCDAm, em 2004, e o efeito da introdução do conjunto de políticas, em 2008, compreendendo: o Decreto Presidencial nº 6.321/2007, o Decreto Presidencial nº 6.514/2008, e a Resolução 3.545/2008 do CMN. Assim, formulamos a primeira hipótese nula a ser testada:

$H_1$ : A política de combate ao desmatamento de 2004 não diminuiu o incremento do desmatamento em municípios não metropolitanos em relação a municípios metropolitanos.

De maneira análoga à primeira hipótese, testamos a segunda hipótese nula para o conjunto de políticas ambientais de 2008:

$H_2$ : O conjunto de políticas de combate ao desmatamento de 2008 não diminuiu o incremento do desmatamento em municípios não metropolitanos em relação a municípios metropolitanos.

Para testar essas hipóteses e identificar um possível causal das políticas ambientais, utilizamos o método de DD. Nas próximas subseções, apresentamos os dados utilizados e a metodologia empregada.

### 3.2 Dados

Este estudo utilizou seis bases de dados longitudinais em nível municipal para o período de 2002 a 2010. A primeira base utilizada é oriunda do PRODES do INPE. Essa base fornece informações a respeito do incremento anual da área do desmatamento e da área do município. A variável de resultado utilizada é o incremento da área do desmatamento (*Incremento Desmatamento*), o qual indica a área em quilômetros quadrados de floresta desmatada no decorrer dos doze meses anteriores. Excluímos da amostra os municípios que não possuem observações da variável de resultado em todos os anos da amostra.

Para a identificação do tratamento da política de combate ao desmatamento de 2004, consideramos a amostra que compreende os anos entre 2002 a 2007. Assim, construímos uma variável binária para identificar o tratamento que assume valor um para os anos de 2004 a 2007, e zero para os anos anteriores. Também construímos uma variável binária para identificação do grupo dos tratados, ela assume valor um quando o município situa-se em região não metropolitana, e zero caso o município situe-se em região metropolitana. O critério para a definição das regiões baseou-se no Cadastro de Regiões Metropolitanas, Aglomerações Urbanas e Regiões Integradas de Desenvolvimento para o ano de 2010 do IBGE. Similarmente, para a identificação do tratamento do conjunto de políticas de combate ao desmatamento de 2008, consideramos apenas os anos entre 2005 a 2010. Dessa forma, construímos uma outra variável binária para identificar esse tratamento que assume valor um para os anos de 2008 a 2010, e zero para os anos de 2005 a 2007. Dos 723 municípios da amostra, 682 são municípios não metropolitanos (*MunicípioNMetrop*) e 41 são municípios metropolitanos (*MunicípioMetrop*).

A definição das covariáveis considera aspectos geográficos, populacionais e do mercado agropecuário referentes aos municípios da amostra. Tais dados nos permitem controlar características demográficas e geográficas heterogêneas entre os municípios da amostra. Construímos a covariável área em km<sup>2</sup> (*ÁreaKm2*) a partir dos dados da PRODES. A covariável população (*População*) representa o tamanho da população do município no ano e foi construída através da base de dados Estimativas de População (EstimaPop) do IBGE. Utilizamos as covariáveis agropecuárias aplicadas por Assunção *et al.* (2013), as quais são índices de preços de produtos agropecuários deflacionados para o ano 2000. Para tal, utilizamos os dados da Secretaria de Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná (SEAB-PR). Assim, construímos as seguintes covariáveis: o índice de preço real para o arroz (*ÍndiceArroz2000*); o índice de preço real para a cana-de-açúcar (*ÍndiceCana2000*); o índice de preço real para o boi gordo (*ÍndiceGado2000*); o índice de preço real para a mandioca (*ÍndiceMandioca2000*); o índice de preço real para o milho (*ÍndiceMilho2000*); e o índice de preço real para a soja (*ÍndiceSoja2000*). Também foi utilizada a covariável de área de lavouras temporárias dos municípios (*ÁreaLavTemporária*), esta obtida por meio da base de dados Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE.

As estatísticas descritivas das variáveis utilizadas neste estudo estão dispostas na Tabela 1, contendo as estatísticas de média, desvio padrão, mínimo e máximo delas. A Tabela 1 também apresenta as estatísticas descritivas do incremento do desmatamento para os períodos 2002-2007 e 2005-2010.

**Tabela 1 – Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas**

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
<b>Variável de Resultado</b>				
IncrementoDesmatamento	24,628	73,539	0	1.405
IncrDesmatPré2008	30,821	85,278	0	1.405
IncrDesmatPós2004	17,175	54,629	0	1.405
<b>Tratados e controle</b>				
MunicípioNMetrop	0,943	0,231	0	1
MunicípioNComTI	0,285	0,451	0	1
MunicípioNMSemTI	0,658	0,474	0	1
MunicípioMetrop	0,057	0,231	0	1
<b>Covariáveis</b>				
População	22.133,54	32.298,47	981	428.527
ÁreaKm <sup>2</sup>	5.922.875	1,18e+07	151.000	1,6e+08
ÁreaLavTemporária	8,685	23,490	0	305
ÍndiceArroz2000	240,404	55,328	0	308
ÍndiceCana2000	179,472	30,673	0	220
ÍndiceGado2000	158,091	35,857	0	213
ÍndiceMandioca2000	188,557	73,985	0	307
ÍndiceMilho2000	143,578	18,633	0	176
ÍndiceSoja2000	200,078	36,783	0	256

**Notas:** Estatísticas descritivas para o incremento do desmatamento (*IncrementoDesmatamento*), incremento do desmatamento pré ano de 2008 (*IncrDesmatPré2008*) e incremento do desmatamento pós ano de 2004 (*IncrDesmatPós2004*) foram calculadas usando dados do PRODES. A variável *IncrDesmatPré2008* representa a média de incremento do desmatamento para o período de análise da política de 2004. A variável *IncrDesmatPós2004* representa a média de incremento do desmatamento para o período de análise do conjunto de políticas de 2008.

### 3.3 Modelos

#### 3.3.1 análise principal: DD

Foram estimados três modelos distintos para cada subamostra (2002-2007 e 2005-2010). O primeiro modelo considera os efeitos fixos municipais e os efeitos fixos de tempo. O segundo modelo considera os efeitos fixos municipais e os efeitos de tendências temporais. Por fim, o terceiro modelo considera todos os efeitos fixos e todas as variáveis de controle. Todos os modelos utilizaram erros padrão robustos.

Em termos de especificação econométrica, modelamos a relação de acordo com o proposto por Abadie (2005) da seguinte forma:

$$Y_{it} = \alpha + \gamma T_i + \theta d_t + \beta(T_i * d_t) + \delta X_{it} + \mu_i + \pi_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

onde  $Y_i$  representa a variável de resultado “incremento da área de desmatamento” para o município “ $i$ ” da Amazônia legal. A variável  $T_i$  representa o tratamento, ou seja, assume valor um se o município encontra-se em região não metropolitana, e zero caso contrário. A variável  $d_t$  identifica o período posterior à implementação da política ambiental. Para o caso da política de 2004, a variável  $d_t$  assume valor um para os anos de 2004 a 2007, e zero para os anos anteriores. Para a avaliação do conjunto de políticas de 2008, a variável  $d_t$  assume valor um para os anos de 2008 a 2010, e zero para os anos de 2005 a 2007. Cabe destacar que, para identificar o efeito de cada uma das políticas ambientais, utilizamos amostras diferentes. A interação entre as variáveis de tratamento de política ambiental captura o efeito causal da mudança de política ambiental sobre a variável de resultado. A magnitude do efeito é capturado pelo parâmetro  $\beta$ . O vetor  $X_i$  representa as covariáveis populacionais, econômicas e de mercado agropecuário para o município. Os parâmetros  $\mu_i$  e  $\pi_t$  representam os efeitos fixos municipais e de tempo, respectivamente. E o parâmetro  $\varepsilon_{it}$  representa o termo de erro.

O método de DD assume a hipótese de seleção em não observáveis por meio da utilização de dados em painel, permitindo o controle de características preexistentes não observáveis fixas no tempo entre os grupos de tratados e de controles. No entanto, a adição de covariáveis ao modelo de regressão com o método de DD pode ser realizada. Através do controle em características observáveis, é possível tornar a estimação do efeito causal mais precisa. Assim, podemos apresentar o estimador do método de DD com a adição de covariáveis como:

$$ATT_{DD}: \beta = \{E[Y_i|T_i = 1, X_i, d_t = 1] - E[Y_i|T_i = 1, X_i, d_t = 0]\} - \{E[Y_i|T_i = 0, X_i, d_t = 1] - E[Y_i|T_i = 0, X_i, d_t = 0]\} \quad (2)$$

onde temos as primeiras diferenças: (i)  $E[Y_i|T_i = 1, X_i, d_t = 1] - E[Y_i|T_i = 1, X_i, d_t = 0]$ , a diferença das médias

da variável de resultado entre os períodos pós e pré implementação do tratamento para o grupo dos tratados, e (ii)  $E[Y_i|T_i = 0, X_i, d_t = 1] - E[Y_i|T_i = 0, X_i, d_t = 0]$  é a diferença das médias da variável de resultado entre os períodos pós e pré implementação do tratamento para o grupo dos controles. O estimador  $\beta$  é a diferença entre (i) e (ii) e representa o efeito médio do tratamento sobre os tratados (*Average Treatment Effect on Treated* – ATT). As primeiras diferenças (i) e (ii) possibilitam controlar potenciais fontes de viés de seleção oriundas de efeitos fixos não observáveis dos municípios e efeitos fixos temporais. Por esse motivo, a não alteração da composição dos grupos antes e depois da intervenção é fundamental para garantir a ausência de viés de seleção em não observáveis. Além disso, a principal hipótese do método de DD é a presença de tendências paralelas nas variáveis de resultado entre os grupos tratado e controle antes do tratamento. Apesar de não ser testável de maneira definitiva, a indicação de sua validade pode ser checada através de análise gráfica da trajetória da variável de resultado dos grupos tratado e controle no período anterior à intervenção. Essa hipótese é fundamental para estabelecer que a variável de resultado é influenciada pelos mesmos fatores da mesma forma para ambos os grupos. Dessa maneira, é plausível supor que, na ausência do tratamento, a variável de resultado do grupo dos tratados seguiria a mesma tendência observada pelo grupo dos controles. Tal mecanismo proporciona o estabelecimento de um contrafactual adequado em caso de não aleatorização.

### 3.3.2 Análise com grupos de tratamento distintos

Entre os anos de 2004 a 2009, houve um aumento de mais de 520 mil km<sup>2</sup> na área de Unidades de Conservação na Amazônia Legal após o início das políticas de combate ao desmatamento (Assunção, Gandour e Rocha, 2015). A delimitação de territórios indígenas também foi afetada por essa expansão, sendo acelerada pelo sistema de satélites DETER. Adicionalmente, a Portaria MMA nº 28 (Brasil, M. M. A., 2008) definiu uma lista de 36 municípios prioritários para o combate ao desmatamento, dos quais todos os municípios listados apresentavam algum território indígena (TI) em seu espaço geográfico.

Assim, propõe-se a estimação de efeitos heterogêneos para os conjuntos de políticas de combate ao desmatamento de 2004 e de 2008 para dois novos grupos de tratamento: (i) municípios em região não metropolitana com TI, e (ii) municípios em região não metropolitana sem TI. O grupo controle continua composto pelos municípios situados na região metropolitana. Para tal, utilizaram-se dados coletados através da seção Terras Indígenas no portal eletrônico da Fundação Nacional do Índio (FUNAI)<sup>1</sup>. Consideramos como municípios com TI os municípios que possuem territórios indígenas com área de superfície delimitada, ou seja, maior que 0 km<sup>2</sup>; caso contrário, o município é considerado como um município sem TI. Devido ao caráter das políticas, espera-se que municípios com a presença de territórios indígenas se beneficiem adicionalmente de tais políticas devido à delimitação e fiscalização mais eficiente e rápida dos territórios indígenas, dado que esses municípios são potencialmente mais vulneráveis à prática de grilagem.

### 3.3.3 Estudo de evento

O estudo de evento é um método econométrico que avalia os efeitos heterogêneos do tratamento sobre uma variável de interesse. Queremos verificar os efeitos heterogêneos da política em cada ano após a sua entrada em vigor. Assim, realizamos a análise de estudo de evento para a política aplicada em 2004.<sup>2</sup> A principal hipótese da regressão de DD é que a trajetória temporal do incremento do desmatamento antes da implementação das políticas para os municípios localizados nas regiões metropolitanas represente o que ocorreria com os municípios localizados nas regiões não metropolitanas caso a política não tivesse sido aplicada. Embora o estudo de evento não seja um teste direto da suposição de tendências paralelas<sup>3</sup>, ele evidencia a tendência temporal entre os grupos se os grupos tratado e controle. As estimações consideram erros robustos, e todos os valores estimados estão dentro do intervalo de confiança de 95%.

### 3.3.4 Testes de placebo

Com o intuito de verificar a robustez dos resultados encontrados, aplicamos o teste de placebo. A ideia do teste de placebo é testar se o efeito estimado do tratamento ocorreu ao acaso. Assim, espera-se que os resultados desses testes não sejam estatisticamente significativos. Especificamente para estudos de DD, esse teste permite verificar se as estimações estão relacionadas ao efeito do tratamento ou à trajetória temporal da variável de interesse. Foram empregados três abordagens. A primeira abordagem considera-se o ano de 2003 como a variável identificadora do período de tratamento para as políticas de 2004<sup>4</sup>. Dado que a intervenção se deu em 2004, não deve existir efeito para o período anterior. A segunda abordagem observa

<sup>1</sup> Os dados foram coletados por meio do sítio <http://www.funai.gov.br/index.php/indios-no-brasil/terras-indigenas>

<sup>2</sup> Devido a possíveis efeitos decorrentes da política de 2004 no período anterior à implementação do conjunto de políticas de 2008, optou-se por não realizar a análise de estudo de evento para a política de 2008.

<sup>3</sup> As condições de tendências paralelas nas análises de DD foram verificadas e atendidas.

<sup>4</sup> Devido a possíveis efeitos decorrentes da política de 2004 no período anterior à implementação do conjunto de políticas de 2008, não foi realizado o teste de placebo para a variável indicadora de tratamento para o conjunto de políticas de 2008.

o efeito das políticas de 2004 e 2008 em uma variável de resultado placebo. Para tal, escolheu-se a variável “área de lavoura permanente”. O objetivo é testar se a implementação das políticas de combate ao desmatamento impactou outras variáveis de resultado não relacionadas ao tratamento. Considerando que essa variável não possui relação com o objetivo da política, espera-se a inexistência de efeitos. A terceira abordagem estabelece um placebo para a variável do grupo de tratamento para avaliar o impacto das políticas de 2004 e 2008. Com esse intuito, criou-se uma variável aleatória<sup>5</sup> com média e desvio padrão semelhantes aos da variável indicadora do grupo de tratamento original (*MunicípioNMetrop*). A ideia desse teste é verificar se o efeito encontrado não foi um erro de tipo I.

#### 4 RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os efeitos das políticas estruturadas no PPCDam para os anos 2000 no incremento no desmatamento de municípios situados em região não metropolitana da Amazônia Legal brasileira. As análises foram separadas para as políticas de combate ao desmatamento implementadas nos anos de 2004 e 2008. As colunas de (1) a (3) apresentam os efeitos da política de 2004, e as colunas de (4) a (6) apresentam os efeitos do conjunto de políticas de 2008. Foram estimados três modelos diferentes, e as colunas representam esses modelos da seguinte forma: (1) e (4) representam as regressões de DD apenas os efeitos temporais fixos e efeitos municipais fixos; (2) e (5) representam as regressões de diferença em DD as tendências temporais; e (3) e (6) representam as regressões de DD considerando as covariáveis.

Ao analisar-se os efeitos da política de 2004, na Tabela 2, verifica-se que todos os resultados rejeitam a hipótese 1 com  $p < 1\%$ . Os resultados apresentados nas colunas (2) e (3) indicam uma redução no incremento do desmatamento de 7,318 km<sup>2</sup> por município em média no período pós-política, enquanto que, na coluna (3), essa redução é de 11,289 km<sup>2</sup>. Considerando os 682 municípios não metropolitanos da amostra, isso representa um total de 4.990 km<sup>2</sup> a 8.161 km<sup>2</sup>.

**Tabela 2 – Efeitos das políticas de combate ao desmatamento no incremento desmatamento**

	Política de 2004			Conjunto de políticas de 2008		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<b>Efeito DD</b>	-7,318*** (2,443)	-7,318*** (2,333)	-11,289*** (2,983)	-9,442*** (1,305)	-9,442*** (1,247)	-13,464*** (2,500)
Tend. Temp.	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO
Covariáveis	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM
EF Ind.	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Tempo	SIM	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM
N	4.338	4.338	4.338	4.338	4.338	4.338

**Notas:** Os símbolos \*, \*\* e \*\*\* representam significância estatística de 10%, 5% e 1%, respectivamente. Para a política de combate ao desmatamento de 2004 (colunas 1 a 3), consideramos o período de 2002 a 2007. Para o conjunto de políticas de 2008 (colunas 4 a 6), consideramos o período de 2005 a 2010. As covariáveis foram omitidas por considerações de espaço.

Em relação aos efeitos do conjunto de políticas de 2008, na Tabela 2, pode-se observar que todos os resultados também rejeitam a hipótese 2 com  $p < 1\%$ . As colunas (4) e (5) apresentam uma redução no incremento do desmatamento de 9,442 km<sup>2</sup> por município em média no período após a implementação desse conjunto de políticas, ao passo que, na coluna (6), essa redução é de 13,464 km<sup>2</sup>. Observando o desmatamento agregado do grupo de tratamento, isso representa uma redução de 6.439 km<sup>2</sup> a 9.182 km<sup>2</sup>.

Referente aos resultados encontrados para a política de 2004 (colunas 1 a 3), os achados estão de acordo com o apresentado por outros autores. As evidências identificadas por Assunção, Gandour e Rocha (2015) indicam que houve uma redução de 56% no desmatamento na Amazônia entre 2005 e 2009. Soares-Filho *et al.* (2010) também identificaram que a expansão das áreas de proteção promoveram a queda do desmatamento entre os anos de 1997 a 2008. Em termos de magnitude, os efeitos identificados para o conjunto de políticas de 2008 (colunas 4 a 6) também são respaldados pela literatura. Os resultados do estudo de Arima *et al.* (2014) indicam que o aumento da fiscalização nos municípios prioritários listados na Portaria MMA nº 28/2008 incorreu em uma redução anual média do desmatamento entre 2.304 e 10.653 km<sup>2</sup> no período de 2009 a 2011. Em outro estudo, Assunção e Rocha (2019) identificam que a Portaria do MMA nº28/2008 evitou o desmatamento de 11.396 km<sup>2</sup> nos municípios prioritários entre os anos 2008 e 2011.

Os resultados da análise com grupos de tratamento distintos em relação à presença de TIs nos municípios estão dispostos nas tabelas 3 e 4. A Tabela 3 apresenta os resultados da análise para os efeitos da política de 2004, enquanto, na Tabela 4, estão dispostos os resultados para a análise sobre o efeito do

<sup>5</sup> Para a criação desta variável aleatória, foi utilizada a semente aleatória 100 pelo programa Stata.

conjunto de políticas de 2008. Para ambas as Tabelas 3 e 4, as colunas de (1) a (3) referem-se aos municípios não metropolitanos com territórios indígenas (*MunicípioNMComTI*); e as colunas de (4) a (6) referem-se aos municípios não metropolitanos sem territórios indígenas (*MunicípioNMSemTI*). As colunas das Tabelas 3 e 4 apresentam os modelos na seguinte ordem: (1) e (4) representam as regressões de DD apenas os efeitos temporais fixos e efeitos municipais fixos; (2) e (5) representam as regressões de DD considerando as tendências temporais; e (3) e (6) representam as regressões de DD considerando as covariáveis. Conforme pode ser visto na Tabela 3, os efeitos mantêm-se estatisticamente significativos para a política de 2004 na redução do incremento do desmatamento na região da Amazônia Legal brasileira. Os municípios não metropolitanos com TI apresentaram, nas colunas (1) e (2), uma redução no incremento do desmatamento de 21,427 km<sup>2</sup> ( $p < 1\%$ ) após o tratamento, e de -20,260 km<sup>2</sup> ( $p < 1\%$ ) na coluna (3). Em relação ao efeito da implementação do DETER 2004 no incremento do desmatamento para municípios não metropolitanos sem TI, verificou-se efeito significativo apenas para o modelo com covariáveis (coluna 6), indicando uma redução média por município no incremento do desmatamento de 4,876 km<sup>2</sup> ( $p < 5\%$ ) após o tratamento.

**Tabela 3 – Efeito da política de 2004 – Efeitos heterogêneos em relação a TIs**

	<i>Mun. não metrop. com TI</i>			<i>Mun. não metrop. sem TI</i>		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<b>Efeito DD</b>	-21,427*** (5,028)	-21,427*** (4,863)	-20,260*** (5,483)	-1,211 (2,016)	-1,211 (1,997)	-4,876** (2,229)
Tend. Temp.	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO
Covariáveis	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM
EF Ind.	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Tempo	SIM	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM
N	1.482	1.482	1.482	3.102	3.102	3.102

**Notas:** Os símbolos \*, \*\* e \*\*\* representam significância estatística de 10%, 5% e 1%, respectivamente. Para a política de combate ao desmatamento de 2004, consideramos o período de 2002 a 2007. As covariáveis foram omitidas por considerações de espaço.

Avaliando os resultados apresentados na Tabela 4, observa-se que o estabelecimento de mudanças institucionais, em 2008, ocasionou uma redução do desmatamento para os dois novos grupos de tratamento. Todos os resultados apresentaram significância estatística de 1%. Para os municípios não metropolitanos com TI, identificou-se uma redução no incremento do desmatamento de 20,522 km<sup>2</sup> nas colunas (1) e (2), e uma redução de 23,627 km<sup>2</sup> na coluna (3). Referente aos municípios não metropolitanos sem TI, verificou-se uma redução no incremento do desmatamento de 4,647 km<sup>2</sup> nas colunas (4) e (5), e uma redução de 5,610 km<sup>2</sup> na coluna (6).

**Tabela 4 – Efeito do conjunto de políticas de 2008 – Efeitos heterogêneos em relação a TIs**

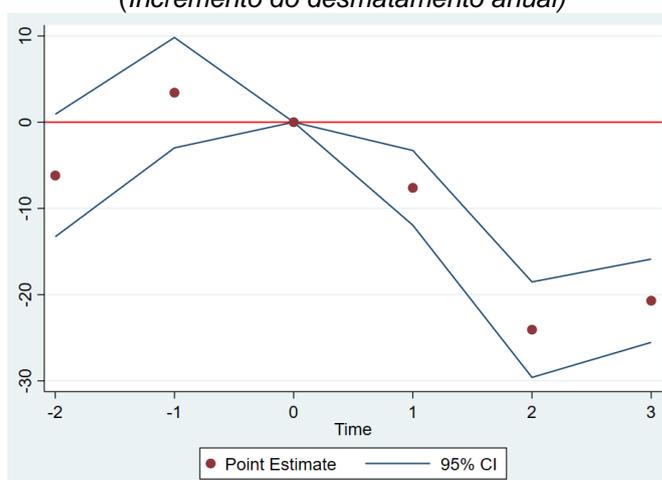
	<i>Mun. não metrop. com TI</i>			<i>Mun. não metrop. sem TI</i>		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<b>Efeito DD</b>	-20,522*** (3,128)	-20,522*** (3,048)	-23,627*** (4,185)	-4,647*** (0,884)	-4,647*** (0,874)	-5,610*** (1,147)
Tend. Temp.	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO
Covariáveis	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM
EF Ind.	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Tempo	SIM	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM
N	1.482	1.482	1.482	3.102	3.102	3.102

**Notas:** Os símbolos \*, \*\* e \*\*\* representam significância estatística de 10%, 5% e 1%, respectivamente. Para o conjunto de políticas de 2008, consideramos o período de 2005 a 2010. As covariáveis foram omitidas por considerações de espaço.

Ao observar os resultados encontrados, verifica-se que as políticas de combate ao desmatamento dos anos 2000 impactaram principalmente os municípios em região não metropolitana com TI em comparação aos municípios não metropolitanos sem TI. Esses resultados são corroborados por Soares-Filho *et al.* (2010) em uma análise para as três principais categorias de Área de Proteção (terra indígena, estritamente protegida e uso sustentável) entre 1997 e 2008. Tal comportamento pode ser explicado pelo objetivo dessas políticas, no intuito de aprimorar e intensificar o ordenamento e monitoramento fundiário e o *compliance* ambiental. Adicionalmente, na medida em que não identificamos resultados significativos para municípios sem TI em todas as especificações para o período de 2002 a 2007 (Tabela 3, colunas 4 a 6), a presença robusta de significância para o período de 2005 a 2010 nesse tipo de município (Tabela 4, colunas 4 a 6) sugere que a implementação do PPCDAm incorreu em avanços institucionais em prol da proteção de TIs.

O Gráfico 2 apresenta o resultado do estudo de evento. É possível verificar, no Gráfico 2, que os pontos estimados apresentam resultados próximos a zero no período pré-tratamento, indicando ausência de efeito antes da política. O contrário é observado para o período após o evento (à direita do valor 0 no eixo horizontal do gráfico), ou seja, nota-se que, entre 2005 e 2007, os pontos estimados e seus intervalos de confiança estão abaixo da linha (horizontal) do nível no ano do evento, indicando a existência de efeitos negativos. Como a política de combate ao desmatamento de 2004 tem caráter fiscalizatório, há uma demora para que haja efeito da política. Assim, a queda no incremento do desmatamento é maior de 2005 a 2006 em comparação ao período de 2004 a 2005. Também é possível verificar que, em 2007, há uma tendência de aumento no incremento do desmatamento. Essa tendência pode ser explicada pelo aumento dos preços internos da soja<sup>6</sup>. Diversos autores argumentam que o aumento do desmatamento tem relação direta com a elevação dos preços agrícolas (Barbier e Burgess, 1996; Chomitz e Gray, 1996; Hargrave e Kis-Katos, 2013; Pfaff et al., 2007; Pfaff, 1999). Logo, pode-se afirmar que a tendência de aumento apresentada em 2007 é oriunda da elevação dos preços agrícolas no período corrente.

**Gráfico 2** – Gráfico do Event Study para a política de combate ao desmatamento, 2002-2007. (Incremento do desmatamento anual)



**Notas:** A elaboração do gráfico foi realizada pelos autores através do aplicativo *eventdd* pelo programa Stata.

Os resultados dos testes de placebo estão dispostos na Tabela 5. Na coluna 1, é apresentado o resultado para o teste de placebo na variável identificadora do período de tratamento para a política de 2004, utilizando o ano de 2003 como placebo<sup>7</sup>. Nas colunas 2 e 3, são apresentados os resultados dos testes de placebo para a variável de resultado referente à política de 2004 e ao conjunto de políticas de 2008, respectivamente. Para tal, escolheu-se a variável área de lavoura permanente. Nas colunas 4 e 5, são apresentados os resultados dos testes de placebo para a variável do grupo de tratamento referente à política de 2004 e ao conjunto de políticas de 2008, respectivamente. Os resultados da Tabela 5 não apresentam coeficientes significativos em nenhum dos testes realizados, indicando que os efeitos identificados na análise principal não ocorreram ao acaso.

**Tabela 5** – Testes de placebo

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Plac. Var. Trat. 04	Plac. Var. Result. 04	Plac. Var. Result. 08	Plac. Var. G. Trat. 04	Plac. Var. G. Trat. 08
<b>Efeito DD</b>	0,659 (3,303)	0,307 (0,474)	-0,845 (0,532)	-5,691 (6,991)	-0,329 (4,359)
EF Tempo	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
N	4.338	4.338	4.338	4.338	4.338

**Notas:** Os símbolos \*, \*\* e \*\*\* representam significância estatística de 10%, 5% e 1%, respectivamente. As colunas 1, 2 e 4 consideram o período de 2002 a 2007, e as colunas 3 e 5 consideram o período de 2005 a 2010.

<sup>6</sup> De acordo com o boletim Agromensal – Esalq/BM&F, de setembro de 2007, os preços da soja aumentaram 11,89% em relação a agosto. O interesse pela importação do produto levou os preços em dólares a atingirem os seus maiores patamares históricos.

<sup>7</sup> Devido a possíveis efeitos decorrentes da política de 2004 no período anterior à implementação do conjunto de políticas de 2008, não foi realizado o teste de placebo para a variável indicadora de tratamento para o conjunto de políticas de 2008.

## 6. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O recente avanço nos níveis de desmatamento na Amazônia Legal brasileira reacendeu o debate em torno da aplicação de políticas públicas em prol da preservação da biodiversidade e da integridade dos povos indígenas. Assim, compreender as políticas públicas associadas à trajetória do desmatamento observada na Amazônia Legal brasileira entre os anos de 2004 a 2012 é fundamental. Nesse sentido, este estudo teve como objetivo analisar os efeitos do PPCDAm sobre o desmatamento na Amazônia Legal brasileira, separando a análise em dois períodos referentes ao impacto da implementação do plano em 2004 e à aplicação do conjunto de políticas introduzidas em 2008. Exploramos a heterogeneidade regional entre os municípios da região ao conduzir o método de DD, comparando a trajetória do desmatamento entre os municípios não metropolitanos e os municípios metropolitanos.

Identificamos que as mudanças institucionais promovidas pelo PPCDAm em prol da fiscalização de crimes ambientais na Amazônia foram significativas para a redução do desmatamento em municípios isolados de grandes centros urbanos. Dentre as ferramentas notáveis introduzidas ao longo do período analisado, destacam-se o aprimoramento do monitoramento remoto, a introdução de diversos dispositivos legais em prol do *compliance* ambiental, e o estabelecimento de novas estratégias de comando e controle. A existência de efeitos significativos nos municípios não metropolitanos indicam que os municípios isolados, de fato, encontravam-se em situação de maior vulnerabilidade em período prévio ao estabelecimento do PPCDAm, apresentando uma trajetória de queda mais acentuada no incremento do desmatamento no período analisado. Esse comportamento aparenta estar relacionado ao aprimoramento de estratégias de comando e controle e à aplicação de ferramentas mais eficientes para a contenção do desmatamento em municípios não metropolitanos adotados (Assunção, Gandour e Rocha, 2012; Hargrave e Kis-Katos, 2013), localizados em regiões isoladas de difícil acesso e menor escrutínio da opinião pública nacional (Aldrich et al., 2020). Os resultados de efeito heterogêneo ao longo dos anos sugerem que o caráter remoto da principal política adotada no período de 2004 a 2007, o DETER, implicou um período de adaptação por parte dos agentes fiscalizadores e desmatadores. A análise de efeitos heterogêneos em relação à presença de TIs nos municípios para o período de 2002 a 2007 também sugerem que parcela considerável do efeito da implementação do PPCDAm ocorreu devido ao fortalecimento institucional dos direitos de TIs.

Os resultados deste estudo fornecem novas evidências relacionadas à efetividade do PPCDAm ao analisar os efeitos relativos no incremento do desmatamento para municípios isolados na região, verificando, de forma adequada, a efetividade dos conjuntos de políticas adotadas em 2004 e 2008. Adicionalmente, a análise de estudo de evento indica que o PPCDAm passou a ter efetividade a partir do ano de 2005. As evidências da análise, considerando municípios com terras indígenas, reforçam a interpretação de que municípios isolados foram mais afetados, além de levantarem perguntas importantes referentes a esse tipo de município. Com relação às limitações deste estudo, os dados utilizados não permitem classificar os tipos de crimes ambientais causadores dos níveis de desmatamento observados nos municípios. Sugerimos a aplicação de metodologias adequadas para o isolamento do efeito causal de políticas análogas ao PPCDAm em caso de disponibilidade de dados categorizados pelo tipo de crime. Análises mais aprofundadas que expliquem as dinâmicas inerentes ao desmatamento e às terras indígenas também se fazem relevantes.

## REFERÊNCIAS

- ABADIE, A. Semiparametric Difference-in-Differences Estimators. **The Review of Economic Studies**, v. 72, n. 1, p. 1–19, jan. 2005.
- ALDRICH, S. P.; SIMMONS, C. S.; ARIMA, E.; WALKER, R. T.; MICHELOTTI, F.; CASTRO, E. Agronomic or contentious land change? A longitudinal analysis from the Eastern Brazilian Amazon. **PLOS ONE**, v. 15, n. 1, 27 jan. 2020. DOI 10.1371/journal.pone.0227378. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0227378>. Acesso em: 6 dez. 2021.
- ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D. Rethinking the Causes of Deforestation: Lessons from Economic Models. **The World Bank Research Observer**, v. 14, n. 1, p. 73–98, 1 fev. 1999.
- ARIMA, E. Y. *et al.* Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. **Land Use Policy**, v. 41, p. 465–473, nov. 2014.
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. **DETERring Deforestation in the Brazilian Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement**. Rio de Janeiro, Brasil: Climate Policy Initiative, 2012.
- 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, dez. 2015.
- ASSUNÇÃO, J.; ROCHA, R. Getting greener by going black: the effect of blacklisting municipalities on Amazon deforestation. **Environment and Development Economics**, v. 24, n. 2, p. 115–137, abr. 2019.

- ASSUNÇÃO, J. *et al.* **Does Credit Affect Deforestation? Evidence from a Rural Credit Policy in the Brazilian Amazon.** Rio de Janeiro, Brasil: Climate Policy Initiative, 2013.
- AZEVEDO, T. R. DE *et al.* **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil.** São Paulo, Brasil: MapBiomas, 2020.
- BARBIER, E.; BURGESS, J. Economic analysis of deforestation in Mexico. **Environment and Development Economics**, v. 1, n. 2, p. 203–239, 1996.
- BERAZNEVA, J.; BYKER, T. S. Does Forest Loss Increase Human Disease? Evidence from Nigeria. **American Economic Review**, v. 107, n. 5, p. 516–521, 1 maio 2017.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. . 5 out. 1988, Sec. 1.
- BRASIL, C. C. 1806. Lei nº 1.806/1953. . 7 jan. 1953, Sec. 1, p. 13.
- \_\_\_\_\_. 6938. Lei nº 6.938/1981. . 31 ago. 1981.
- \_\_\_\_\_. 9922. Decreto nº 9.922/2003. . 3 jul. 2003, Sec. 1, p. 1.
- \_\_\_\_\_. **Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal**, mar. 2004.
- \_\_\_\_\_. 6321. Decreto nº 6.321/2007. . 21 dez. 2007, Sec. 1.
- \_\_\_\_\_. 6514. Decreto nº 6.514/2008. . 22 jul. 2008, Sec. 1.
- BRASIL, C. M. N. 3545. Resolução nº 3.545/2008. . 29 fev. 2008.
- BRASIL, M. M. A. 28. Portaria MMA nº 28/2008. . 24 jan. 2008, Sec. 1, p. 70.
- CHOMITZ, K. M.; GRAY, D. A. Roads, Land Use, and Deforestation: A Spatial Model Applied to Belize. **The World Bank Economic Review**, v. 10, n. 3, p. 487–512, 1 set. 1996.
- CHOMITZ, K. M.; THOMAS, T. S. Determinants of Land Use in Amazônia: A Fine-Scale Spatial Analysis. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 85, n. 4, p. 1016–1028, nov. 2003.
- CROPPER, M.; GRIFFITHS, C. The Interaction of Population Growth and Environmental Quality. **The American Economic Review**, v. 84, n. 2, p. 250–254, 1994.
- CURRIE, J.; WALKER, R. What Do Economists Have to Say about the Clean Air Act 50 Years after the Establishment of the Environmental Protection Agency? **Journal of Economic Perspectives**, v. 33, n. 4, p. 3–26, nov. 2019.
- FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, W. F. Tropical Deforestation and GreenHouse-Gas Emissions. **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, p. 982–986, ago. 2004.
- FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 680–688, jun. 2005.
- FILHO, J. E. R. V. **Expansão da Fronteira Agrícola no Brasil: Desafios e Perspectivas.** [s.l.] IPEA, 2016. Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6909/1/td\\_2223.PDF](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6909/1/td_2223.PDF)>.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra.** Roma, Itália: [s.n.].
- \_\_\_\_\_. **Global emergence of infectious diseases: links with wild meat consumption, ecosystem disruption, habitat degradation and biodiversity loss.** Roma, Itália: FAO, 2020.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM. **The State of the World's forests in 2020. In brief.: Forests, biodiversity and people.** Roma, Itália: FAO, 2020.
- FOSTER, A. D.; ROSENZWEIG, M. R. Economic Growth and The Rise of Forests. **SSRN Electronic Journal**, 2002.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO. **FUNAI: Demarcação de Terras Indígenas.** Disponível em: <<https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/demarcacao-de-terras-indigenas>>. Acesso em: 11 jun. 2021.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **SOS Mata Atlântica: Relatório Anual 2019.** São Paulo, Brasil: Fundação SOS Mata Atlântica, 2019.
- GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. **BioScience**, v. 52, n. 2, p. 143, 2002.
- HARGRAVE, J.; KIS-KATOS, K. Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon: A Panel Data Analysis for the 2000s. **Environmental and Resource Economics**, v. 54, n. 4, p. 471–494, abr. 2013.

- HELIANDRO MAIA *et al.* **Avaliação do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal, 2007–2010.** [s.l.] GIZ, Cepal e IPEA, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE | Brasil em síntese | território.** Disponível em: <<https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>>. Acesso em: 9 jun. 2021.
- \_\_\_\_\_. **Mapas: Amazônia Legal.** Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#206097>>. Acesso em: 9 jun. 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **PRODES — Coordenação-Geral de Observação da Terra.** Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 9 jun. 2021.
- LAM, S. K.; CHUA, K. B. Nipah Virus Encephalitis Outbreak in Malaysia. **Clinical Infectious Diseases**, v. 34, n. Supplement\_2, p. S48–S51, 1 maio 2002.
- MARGULIS, S. **Causes of Deforestation of the Brazilian Amazon.** Washington, D.C.: The World Bank, 29 dez. 2003. Disponível em: <<http://elibrary.worldbank.org/doi/book/10.1596/0-8213-5691-7>>. Acesso em: 11 jun. 2021.
- NITIN BHATIA; GRAEME S. CUMMING. Deforestation and economic growth trends on oceanic islands highlight the need for meso-scale analysis and improved mid-range theory in conservation. v. 25, n. 3, p. 10, 2020.
- PFAFF, A. *et al.* Road Investments, Spatial Spillovers, and Deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Regional Science**, v. 47, n. 1, p. 109–123, fev. 2007.
- \_\_\_\_\_. Protected Areas' Impacts on Brazilian Amazon Deforestation: Examining Conservation – Development Interactions to Inform Planning. **PLOS ONE**, v. 10, n. 7, p. e0129460, 30 jul. 2015.
- PFAFF, A.; ROBALINO, J. Protecting forests, biodiversity, and the climate: predicting policy impact to improve policy choice. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 28, n. 1, p. 164–179, 1 mar. 2012.
- PFAFF, A. S. P. What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon? **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 37, n. 1, p. 26–43, jan. 1999.
- RAY, D. K. *et al.* Impact of land use on Costa Rican tropical montane cloud forests: Sensitivity of orographic cloud formation to deforestation in the plains. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, n. D2, p. D02108, 2006.
- ROBALINO, J.; PFAFF, A.; VILLALOBOS, L. **Deforestation Spillovers from Costa Rican Protected Areas.** Costa Rica: Latin American and Caribbean Environmental Economics Program (LACEEP), 2015.
- SENADO FEDERAL BRASILEIRO. Evolução da lei ambiental brasileira. **Em discussão: Revista de Audiências Públicas do Senado Federal**, v. 2, n. 9, p. 84, dez. 2011.
- \_\_\_\_\_. Em discussão: Rio+20 Em busca de um mundo sustentável. **Em discussão: Revista de Audiências Públicas do Senado Federal**, v. 3, n. 11, p. 33, jun. 2012.
- SOARES-FILHO, B. *et al.* Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 24, p. 10821–10826, 15 jun. 2010.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Becoming #GenerationRestoration: Ecosystem restoration for people, nature and climate.** Nairobi, Kênia.: United Nations Environment Programme, 2021.
- WEINHOLD, D.; REIS, E. Transportation costs and the spatial distribution of land use in the Brazilian Amazon. **Global Environmental Change**, v. 18, n. 1, p. 54–68, fev. 2008.