

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**CAMPUS GOVERNADOR VALADARES**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

**João Victor Alves Assunção**

**DESMATAMENTO NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS: UM ESTUDO EMPÍRICO  
SOBRE AS MOTIVAÇÕES ECONÔMICAS DESTA PRÁTICA**

**GOVERNADOR VALADARES**

**2025**

**João Victor Alves Assunção**

**DESMATAMENTO NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS: UM ESTUDO EMPÍRICO  
SOBRE AS MOTIVAÇÕES ECONÔMICAS DESTA PRÁTICA**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências  
Econômicas da Universidade Federal de Juiz  
de Fora, Campus Governador Valadares,  
como requisito para obtenção de título de  
Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius de Azevedo Couto Firme

GOVERNADOR VALADARES

2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca  
Universitária da UFJF,

com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Assunção, João Victor Alves.

Desmatamento nos Municípios brasileiros: Um estudo empírico  
sobre as motivações econômicas desta prática / João Victor Alves  
Assunção. -- 2025.

40 p.: il.

Orientador: Vinícius de Azevedo Couto Firme

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade  
Federal de Juiz de Fora, Campus Avançado de Governador Valadares,  
Instituto de Ciências Sociais Aplicadas - ICSA, 2025.

1. Desmatamento no Brasil. 2. Incentivos econômicos locais. 3.  
Painel dinâmico municipal. I. Firme, Vinícius de Azevedo Couto,  
orient. II. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA****FORMULÁRIO DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO  
ECO013GV MONOGRAFIA II  
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Às 14 horas do dia 15 de agosto de 2025, (sexta-feira) na sala 402 do ICSA-UFJF/GV, foi instalada a banca do exame de Trabalho de Conclusão de Curso para julgamento do trabalho desenvolvido pelo(a) discente **João Victor Alves Assunção**, matriculado(a) no curso de bacharelado em Ciências Econômicas. O Prof. Dr. Vinícius de Azevedo Couto Firme, orientador e presidente da banca julgadora, abriu a sessão apresentando os demais examinadores, os professores: Dr. Thiago Costa Soares e Dr. Geraldo Moreira Bittencourt.

Após a arguição e avaliação do material apresentado, relativo ao trabalho intitulado DESMATAMENTO NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS: UM ESTUDO EMPÍRICO SOBRE AS MOTIVAÇÕES ECONÔMICAS DESTA PRÁTICA, a banca examinadora se reuniu em sessão fechada considerando o(a) discente:

- Aprovado (a)
- Aprovado (a) com correções
- Reprovado (a)

Nada mais havendo a tratar, foi encerrada a sessão e lavrada a presente ata que vai assinada pelos presentes.

Governador Valadares, 19 de agosto de 2025.

Prof. Dr. Vinícius de Azevedo Couto Firme (Orientador)

Prof. Dr. Thiago Costa Soares (Membro da Banca)

Prof. Dr. Geraldo Moreira Bittencourt (membro da Banca)

João Victor Alves Assunção (Aluno)



Documento assinado eletronicamente por **Vinicius de Azevedo Couto Firme, Professor(a)**, em 19/08/2025, às 19:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Victor Alves Assunção, Usuário Externo**, em 19/08/2025, às 19:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Costa Soares, Professor(a)**, em 20/08/2025, às 08:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Geraldo Moreira Bittencourt, Professor(a)**, em 20/08/2025, às 12:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Uffj ([www2.ufff.br/SEI](http://www2.ufff.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2564519** e o código CRC **BF3FFA21**.

## RESUMO

Com o objetivo de mensurar o retorno econômico decorrente do desmatamento, em diferentes localidades brasileiras, esta pesquisa avaliou dados de 5.197 municípios, entre 2008-2021. Para tanto, usou-se um painel-dinâmico, com *dummies* interativas e variáveis adicionais de controle, além dos estimadores de Efeitos-Aleatórios, Efeitos-Fixos e System-GMM. Os testes iniciais indicam uma relação bi-causal entre o desmatamento e o crescimento econômico, reforçando a necessidade do System-GMM. As estimativas revelam que o desmatamento, talvez por ampliar o uso da terra para fins produtivos, impulsionaria o crescimento econômico, já no ano em que é efetuado. Portanto, políticas ambientais, que visem reduzir tal prática em 25%, 50% e 75% teriam um custo anual, à economia brasileira, de R\$ 2.56 a 2.81, R\$ 6.13 a 6.72 e R\$ 12.13 a 13.28 bilhões, respectivamente. O desmatamento revelou-se, especialmente, vantajoso nas planícies gramíneas da região sul, em áreas de difícil fiscalização, como no Acre e Amazonas, e em locais mais populosos/povoados, como os Estados de São Paulo e Pernambuco.

**Palavras-chave:** Desmatamento no Brasil; Incentivos econômicos locais; Painel-dinâmico municipal.

## ABSTRACT

To measure the economic returns from deforestation in different Brazilian locations, this study evaluated data from 5,197 municipalities between 2008-2021. To this end, a dynamic panel-data was used, with interactive dummies and additional control variables, in addition to random-effects, fixed-effects, and system-GMM estimators. Initial tests indicate a bicausal relationship between deforestation and economic growth, reinforcing the need for system-GMM. Estimates reveal that deforestation, perhaps by expanding land use for productive purposes, would boost economic growth in the year in which it occurs. Therefore, environmental policies aimed at reducing this practice by 25%, 50% and 75% would have an annual cost to the Brazilian economy of R\$ 2.56 to 2.81, R\$ 6.13 to 6.72 and R\$ 12.13 to 13.28 billion, respectively. Deforestation has proven to be especially advantageous in the grassy plains of the southern region, in places that are difficult to monitor, such as Acre and Amazonas, and in more populated areas, such as the states of São Paulo and Pernambuco.

**Keywords:** Brasil deforestation; Local economic incentives; Municipal dynamic panel-data.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, que sempre foi uma base sólida e incentivadora . Em especial, à minha mãe, Cleunice, uma mulher guerreira, que sempre fez de tudo para garantir o melhor para os seus filhos, que me ensinou tudo o que sei e que me faz ser tudo que sou hoje. Ao meu pai, Ronaldo, que mesmo não estando mais presente entre nós ,foi uma das pessoas mais importantes da minha vida , minha fonte de inspiração.

A minha namorada, que esteve junto comigo desde o início desta caminhada , sempre me apoiando e me incentivando . Aos meus amigos, em especial Stallin, Pedro e Lauany que, tornaram essa experiência inesquecível .

Ao meu orientador, o Prof. Vinicius, por todo apoio, confiança e paciência ao longo dessa pesquisa. Sua orientação será um grande exemplo para minha carreira profissional.

Por fim, sou grato a todos os professores e professoras que, forneceram seus conhecimentos e proporcionaram essa caminhada cheia de experiências que irei carregar comigo a todo momento.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Desmatamento e Crescimento Econômico nos municípios e nas macrorregiões brasileiras (média 2008-2021).....	14
<b>Tabela 2.</b> Estatísticas descritivas da base de dados (2008-2021) .....	24
<b>Tabela 3.</b> Desmatamento e Crescimento Econômico: estacionariedade e causalidade .....	25
<b>Tabela 4.</b> Retorno econômico do desmatamento no Brasil .....	27
<b>Tabela 5.</b> Retorno econômico do desmatamento nas Macrorregiões brasileiras.....	30
<b>Tabela 6.</b> Retorno econômico do desmatamento nos Estados brasileiros.....	31

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	DESMATAMENTO, ATIVIDADE ECONÔMICA E FATORES ASSOCIADOS.....	14
3	METODOLOGIA E BASE DE DADOS.....	17
	3.1 Base de Dados .....	21
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	25
	CONCLUSÃO .....	33
	REFERÊNCIAS.....	35

# 1 INTRODUÇÃO

Contendo 6 biomas terrestres,<sup>1</sup> vasto litoral e a segunda maior área florestal do mundo, o Brasil é reconhecido por sua rica biodiversidade e abundância de recursos naturais. Porém, o país parece subestimar seu protagonismo ambiental, bem como os ganhos que tal agenda poderia gerar na saúde pública (via manutenção dos ecossistemas, o que tende a reduzir tanto a poluição quanto a proliferação de pragas/doenças) e na própria economia, principalmente na indústria farmacêutica/biotecnologia e no ecoturismo (Ellwanger, Nobre e Chies, 2023).<sup>2</sup> Nas palavras de Ewers (2006, p.166), “*the quality of a nation’s natural resource base, including forests, is an important factor determining economic growth*”.

A despeito dos potenciais benefícios de uma economia bio-sustentável, o país carrega consigo a desonrosa liderança mundial no que tange ao desmatamento, concentrando quase metade das florestas desmatadas no mundo em 2021 (Janone, 2022). Entre 2001-2023, o Brasil perdeu 68.9 milhões de hectares em cobertura arbórea (*tree cover loss*), sendo 71%, desta perda, permanente (ficando atrás apenas da Rússia, com perdas de 83.7 milhões de hectares, sendo 0% permanente). Ademais, desmatou 30.7 milhões de hectares de floresta tropical nativa (*Tropical Primary Forest*), valor bastante acima da Indonésia (2ª colocada), com 10.5 milhões de hectares perdidos (Weisse e Goldman, 2024).<sup>3</sup>

Segundo Pendrill *et al* (2019), boa parte do desmatamento brasileiro decorre do avanço da pecuária (72%) e do plantio de soja (10%). Apenas a pecuária nacional responde por quase 1/4 da perda de floresta tropical nativa no mundo (Ritchie, 2024).<sup>4</sup> Embora mais de 25% dos gases do efeito estufa sejam decorrentes do desmatamento (Houghton, 2005), seu combate não é trivial, visto que “*os ganhos econômicos privados do desmatamento (...) superam os ganhos de sua preservação*” (Rossoni e Morais, 2020, p.132). Ainda assim, Phan, Brouwer e Davidson (2014, p.1) afirmam que “*deforestation can be avoided at relatively modest cost compared with alternative carbon emission abatement measures in other economic sectors*”.

---

<sup>1</sup> Sendo eles: a) Amazônia (maior bioma nacional, com floresta tropical úmida); b) Caatinga (vegetação semiárida, predominante no Nordeste); c) Cerrado (segundo maior do país, contém vegetação savânica); d) Pantanal (maior planície de inundação do planeta); e) Mata Atlântica (sob influência do Oceano Atlântico, é o sistema mais ameaçado); f) Pampa (típico do Sul, constitui-se de campos gramíneos).

<sup>2</sup> Para Walker (1993, p.481), “*Deforestation also poses local and regional problems. Loss of tree cover can destabilize the hydrologic cycle, leading to drier climate, desiccated soils, and increased flood risks*”.

<sup>3</sup> A perda de *cobertura arbórea* deriva-se do corte mecânico, incêndios, pragas ou causas naturais. O desmatamento de *florestas tropicais* inclui áreas não desmatadas há anos, com alta biodiversidade e estoque de carbono (Weisse e Goldman, 2024). Para Hoang e Kanemoto (2021, p.849) “*the environmental impact of three Amazon rainforest trees (...) might be more severe than the impact of 14 cultivated trees lost (...) in temperate and boreal biomes*”.

<sup>4</sup> Ao mensurar o desmatamento entre 2001-2015, via perda de árvores *per capita*, Hoang e Kanemoto (2021) notaram que o Brasil ocuparia a 8ª posição mundial, ficando entre a Austrália (7º) e a Alemanha (9º).

Infelizmente, o crescimento de quase 50% da área destinada à agropecuária, no Brasil, entre 1985-2022 (*i.e.*: de 187,3 para 282,5 milhões de hectares), indica certa dificuldade no combate ao desmatamento. Neste período, a área de ocupação agropecuária aumentou de 22% para 33% do território nacional. (MapBiomas-Brasil, 2025a).<sup>5</sup> É possível que a relevância econômica do agronegócio brasileiro, responsável por 23.5% do PIB (*Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada* – CEPEA, 2025) e 49% das exportações nacionais, em 2023 (*Ministério da Agricultura e Pecuária* - MAP, 2025), somada ao forte *lobby* deste segmento junto aos governantes locais (Hopewell, 2014), bem como ao elevado custo-relativo associado ao controle do desmatamento na América Latina (Phan, Brouwer e Davidson, 2014), expliquem a dificuldade do país em conter o avanço deste segmento sobre áreas não desmatadas.

A fim de contornar este problema, o Estado poderia oferecer subsídios, aos que preservam áreas nativas, e/ou impor taxas, aos que desmatam (Brito e Marques, 2017). Em ambos os casos, seria interessante considerar o retorno econômico oriundo do desmatamento. Porém, quando se trata de quantificar tais valores, Balboni *et al* (2023, p.747-748) afirmam que: “*We are, however, in the infancy of quantifying these values precisely enough to serve as a useful guide for policy. Making progress here (...) requires improvements in the measurement of the social costs of deforestation at the local, national, and international levels*”.<sup>6</sup>

Deste modo, esta pesquisa preenche uma lacuna, ao mensurar os retornos econômicos do desmatamento<sup>7</sup>, em diferentes localidades brasileiras. Para tanto, estimou-se modelos (via *efeitos aleatórios*, *efeitos fixos* e *system-GMM*) com dados em painel (frequência anual: 2008-2021) e *dummies interativas* (referentes às 5 macrorregiões brasileiras e seus 26 estados),<sup>8</sup> usando 5197 municípios<sup>9</sup> do país, como unidade de análise, e admitindo-se que outras variáveis também afetariam o crescimento econômico local. Os resultados sugerem que políticas

---

<sup>5</sup> Estima-se que 64% desta expansão deveu-se à pecuária. Ademais, o cultivo agrícola passou de 19,1 para 61 milhões de hectares (sendo 96% deste crescimento devido às lavouras de grãos/cana). Apenas a área destinada à soja, saltou de 4.4 para 39.4 milhões de hectares entre 1985-2022.

<sup>6</sup> O *ICMS ecológico* (*i.e.*: Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), concedido por parte dos estados brasileiros, aos municípios com mananciais e/ou áreas de conservação, embora útil (Rocha *et al*, 2020; Vieira e Mendonça, 2021; Castro e Young, 2023), possui diferentes métricas locais de distribuição de recursos e nenhuma leva em conta o potencial ganho oriundo do desmatamento (Brito e Marques, 2017). Situação semelhante ocorre no âmbito da Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais (PNPSA), introduzida pela Lei nº 14.119/2021, que busca criar mecanismos de incentivo econômico à preservação e recuperação ambiental, porém enfrenta dificuldades para definir métricas de valoração (Shiki e Shiki, 2011).

<sup>7</sup> Os dados de desmatamento, segundo o INPE (via PRODES), são referentes a remoção completa da cobertura florestal primária por corte raso ou o estágio final de degradação progressiva, independentemente de como a área desmatada será utilizada. Sendo assim, o referido desmatamento não distingue entre desmatamento legal ou ilegal.

<sup>8</sup> Os “retornos econômicos locais” referem-se à média municipal das respectivas regiões e estados (captados pelas *dummies interativas*).

<sup>9</sup> A fim de manter um painel-balanceado, 373 dos 5.570 municípios brasileiros (com informações faltantes) foram excluídos da amostra. Quanto ao recorte temporal, ver seção 3.1 Base de Dados

ambientais, que visem reduzir o desmatamento em 25%, 50% e 75%, teriam um custo anual, à economia brasileira, de R\$ 2.56 a 2.81, R\$ 6.13 a 6.72 e R\$ 12.13 a 13.28 bilhões, respectivamente. Ademais, esta prática revelou-se, especialmente, vantajosa, no Sul do país (composto por vastas planícies gramíneas), no Acre e Amazonas (cuja vastidão/densidade florestal favorecem o desmatamento ilegal) e em locais mais populosos/povoados, como os Estados de São Paulo e Pernambuco.

O restante do trabalho está subdividido da seguinte forma. A segunda seção aborda a intrincada relação entre a atividade econômica e o desmatamento, destacando alguns potenciais *fatores de confusão*, que poderiam enviesar as estimativas (Santos e Ferreira, 2023). A terceira seção contém a metodologia e a base de dados. Em sequência, encontram-se os resultados, considerações finais e referências.

## 2 DESMATAMENTO, ATIVIDADE ECONÔMICA E FATORES ASSOCIADOS

Segundo dados do *Projeto de Monitoramento do Desmatamento*, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - PRODES/INPE (2025), o Brasil desmatou, anualmente, pouco mais de 21 mil Km<sup>2</sup>, entre 2008 e 2021 (*i.e.*: 0.27% do território nacional ou 0.14 Km<sup>2</sup> para cada mil habitantes). Tal prática tem sido mais intensa nas regiões Norte e Nordeste, responsáveis por mais de 66% do desmatamento total. Todavia, ao considerar o percentual da área regional desmatada anualmente, nota-se uma maior concentração nas regiões Nordeste (0.46%) e Sul (0.30%). Alternativamente, o Norte (0.51) e o Centro-Oeste (0.34) se destacam no que tange ao desmatamento para cada mil habitantes (Tabela 1).

**Tabela 1.** Desmatamento e Crescimento Econômico nos municípios e nas macrorregiões brasileiras (média 2008-2021)

	Desmatamento			Crescimento Econômico Municipal			
	Bruto	Por área territorial	Por mil habitantes	Total	Nunca Desmataram	Já Desmataram	
Média municipal	4.1 Km <sup>2</sup>	0.25%	0.30 Km <sup>2</sup>	3.20%	2.80%	3.40%	
REGIÕES	Sul	1620.8 Km <sup>2</sup>	0.30%	0.06 Km <sup>2</sup>	3.70%	3.90%	3.40%
	Sudeste	1652.7 Km <sup>2</sup>	0.18%	0.03 Km <sup>2</sup>	2.60%	2.20%	3.30%
	Centro Oeste	3811.1 Km <sup>2</sup>	0.26%	0.34 Km <sup>2</sup>	4.40%	2.80%	4.80%
	Nordeste	6767.6 Km <sup>2</sup>	0.46%	0.13 Km <sup>2</sup>	2.90%	2.70%	3.00%
	Norte	7325.5 Km <sup>2</sup>	0.20%	0.51 Km <sup>2</sup>	3.80%	3.30%	4.00%
Total - Brasil	21177.7 Km <sup>2</sup>	0.27%	0.14 Km <sup>2</sup>	NR	NR	NR	

**Notas:** a) valores referentes aos 5197 municípios considerados nesta pesquisa (ver seção 3.1); b) populações e áreas municipais baseadas nas estimativas anuais do IBGE (IPEADATA, 2025); c) desmatamento obtido junto ao PRODES/INPE (2025); d) crescimento econômico disponível nas contas regionais do IBGE (IPEADATA, 2025); e) NR = não reportado.

**Fonte:** Elaboração própria.

Independente da métrica utilizada, Rossoni e Morais (2020) sugerem que o desmatamento teria motivações econômicas. Tal hipótese encontra respaldo nos dados da Tabela 1, visto que o crescimento econômico municipal, entre 2008-2021, daqueles que desmataram revelou-se superior (aos que não o fizeram) em quase todas as regiões brasileiras (exceto no Sul do país).

Portanto, o controle desta “prática lucrativa” demandaria algum tipo de taxa/multa, aos que desmatam, e/ou recompensa/subsídio, aos que preservam o meio ambiente (Phan, Brouwer e Davidson, 2014; Brito e Marques, 2017; Balboni *et al*, 2023). Porém, para que este sistema seja eficiente, é importante atrelar os valores pagos/recebidos ao retorno econômico oriundo do desmatamento. Do contrário, o valor da taxa/subsídio poderia ser insuficiente, para conter o avanço sobre florestas nativas, ou alto demais, para ser custeado pela sociedade.

Uma forma prática de mensurar esta compensação financeira consiste em regredir o crescimento econômico ( $\Delta y$ ) contra o próprio desmatamento local ( $DMT$ ). Deste modo, seria

possível medir os valores necessários para que tal atividade deixasse de ser localmente vantajosa. Todavia, para minimizar potenciais vieses nas estimativas, os *fatores de confusão*, que incluem os demais condicionantes do crescimento econômico e do próprio desmatamento, também devem ser considerados (Santos e Ferreira, 2023).

Em geral, acredita-se que melhorias na educação (*educ*) aumentariam a conscientização ambiental, auxiliando o combate ao desmatamento (Arraes, Mariano e Simonassi, 2012; Silva, Marcelino e Parré, 2020). Já a pressão sobre os recursos naturais, exercida pelo crescimento e densidade populacionais ( $\Delta pop$  e  $Dpop$ ) (Jha e Bawa, 2006; Oliveira *et al*, 2011; Ferreira e Coelho, 2015; Andréa *et al*, 2019; Silva, Marcelino e Parré, 2020), pela expansão das fronteiras agropecuárias ( $\Delta agr$  e  $\Delta pec$ ) (Rivero *et al*, 2009; Santos, 2010; Oliveira *et al*, 2011; Ferreira e Coelho, 2015; Pendrill *et al*, 2019; Silva, Marcelino e Parré, 2020; Rossoni e Morais, 2020)<sup>10</sup> e por incentivos governamentais, como o crédito rural (*cr*)<sup>11</sup> (Oliveira *et al*, 2011; Arraes, Mariano e Simonassi, 2012; Ferreira e Coelho, 2015), costumam dificultar a preservação local.

Além disso, deve-se ter em mente que o crescimento econômico *per capita* ( $\Delta y$ ) tende a ser impulsionado por melhorias nos estoques de capital físico ( $\Delta k$ ) e humano ( $\Delta h$ ),<sup>12</sup> mas sofreria restrições oriundas do crescimento populacional ( $\Delta pop$ ) e dependeria da riqueza inicial local ( $y_0$ ) (Mankiw, Romer e Weil - MRW, 1992), cujo sinal negativo indicaria haver convergência de renda.<sup>13</sup> A influência das políticas fiscais/monetárias ( $\Delta G_{it}^{Cor}$  e  $\Delta M_{it}$ ) também pode ser relevante (Velo, Villela e Giambiagi, 2008), tal como sugerem Divino e Silva Junior (2012) e Degenhart, Vogt e Zonatto (2016), no caso dos gastos públicos, e Galeano e Feijó (2012), Monte, Aguiar e Souza (2021) e Nascimento e Bittencourt (2023), no que tange ao crédito local. Por fim, fatores geográficos/ambientais, como a proximidade de grandes centros urbanos -  $Loc_i$  (Perroux, 1950; Hirschman, 1958; Firme, 2022) e o clima -  $Temp_i$  e  $Prec_i$  (Masters e Mcmillan, 2001; Leão *et al*, 2021) também poderiam influenciar o crescimento econômico.<sup>14</sup>

---

<sup>10</sup> Para Oliveira *et al* (2011, p.713), “*Em maior ou menor grau, todos os estudos consideram algum tipo de relação das atividades agropecuárias com o desmatamento.*”. Em geral, usa-se a *área destinada à lavoura*, para medir o avanço agrícola (Oliveira *et al*, 2011), e o *rebanho bovino*, para a pecuária (Rivero *et al*, 2009; Santos, 2010).

<sup>11</sup> Segundo Antunes (2021, p.53), “*O desenvolvimento e a rápida expansão da agropecuária nestas áreas rurais podem ser atribuídos (...) a disponibilidade do crédito rural.*”

<sup>12</sup> O capital humano pode incluir tanto melhorias na educação quanto na saúde do trabalhador (Sachs, 2002; Noronha *et al*, 2010; Firme e Simão Filho, 2014; Almeida e Firme, 2023).

<sup>13</sup> Neste caso, locais mais “*pobres apresentariam maiores retornos dos capitais físico e humano*” (Firme e Simão Filho, 2014, p.685), devido aos rendimentos decrescentes dos fatores de produção.

<sup>14</sup> Para Acemoglu *et al* (2002), a questão geográfica seria essencial ao crescimento econômico de longo-prazo.

De modo geral, esta seção sugere que, além do desmatamento (variável de interesse), efetuado em cada local  $i$  no período  $t$  ( $DMT_{it}$ ), o crescimento econômico ( $\Delta y_{it}$ ) também poderia ser afetado pelas seguintes variáveis de controle (Equação 1)<sup>15</sup>:

$$\Delta y_{it} = f \left( \overbrace{y_{i,0}, \Delta k_{it}, \Delta h_{it}^{Educ}, \Delta h_{it}^{Sau}, \Delta pop_{it}}^{MRW (1992)}, \overbrace{\Delta M_{it}, \Delta G_{it}^{Cor}}^{Pol. Mon./fiscal}, \overbrace{Temp_i, Prec_i, Loc_i}^{Clima/geografia}, \overbrace{\Delta cr_{it}, \Delta agr_{it}, \Delta pec_{it}, Dpop_{it}}^{Fatores associados ao DMT}, DMT_{it} \right) (1)$$

---

<sup>15</sup> Maiores detalhes sobre as variáveis da Equação 1 encontram-se na seção 3.1 – Base de Dados.

### 3 METODOLOGIA E BASE DE DADOS

Para fins didáticos, as variáveis da equação 1 podem ser reagrupadas da seguinte forma:

$$\Delta y_{it} = Cte + \beta_{y0}y_{i,0} + X_{it}\beta_k + X_i\beta_f + \beta_{DMT}DMT_{it} + v_{it}, \quad \text{sendo} \quad v_{it} = c_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Onde:  $X_{it}$  é uma matriz contendo  $k = 10$  variáveis explicativas, cujos valores variam tanto entre os  $i$  locais quanto nos  $t$  períodos (*i.e.*:  $\Delta k_{it}$ ,  $\Delta h_{it}^{Educ}$ ,  $\Delta h_{it}^{Sau}$ ,  $\Delta pop_{it}$ ,  $\Delta M_{it}^{cr}$ ,  $\Delta G_{it}^{Cor}$ ,  $cr_{it}$ ,  $\Delta agr_{it}$ ,  $\Delta pec_{it}$ ,  $Dpop_{it}$ );  $X_i$  engloba as  $f = 3$  variáveis que oscilam apenas em  $i$ , sendo fixas em  $t$  (*i.e.*:  $Temp_i$ ,  $Prec_i$ ,  $Loc_i$ );  $\beta_{y0}$  e  $\beta_{DMT}$  são coeficientes, que medem o efeito da renda inicial ( $y_{i,0}$ ) e do desmatamento ( $DMT_{it}$ ) sobre o crescimento econômico ( $\Delta y_{it}$ );  $\beta_k$  e  $\beta_f$  são vetores com os coeficientes de impacto das variáveis contidas em  $X_{it}$  e  $X_i$ , respectivamente;  $v_{it}$  é um termo de erro composto, que possui uma parcela aleatória ( $\varepsilon_{it}$ ) e outra que pode conter *efeitos fixos não-observáveis* ( $c_i$ ).<sup>16</sup>

Na Equação 2,  $\beta_{DMT} = (\partial \Delta y / \partial DMT)$  mede o retorno econômico do desmatamento municipal (baseado na média amostral). A fim de mensurar este efeito, em cidades pertencentes à diferentes localidades, pode-se incluir *termos interativos* (Greene, 2002), que consistem na multiplicação de  $DMT$  por *dummies* regionais -  $D^R$  (*i.e.*: variáveis binárias, cujo valor é 1 para as cidades da região analisada e 0 para as demais). Logo, no caso das 5 macrorregiões do Brasil, bastaria incluir as respectivas *dummies* (*i.e.*:  $D^S$ ,  $D^{SE}$ ,  $D^{CO}$ ,  $D^{NE}$  e  $D^N$ ) para diferenciar o retorno econômico do desmatamento nas regiões sul ( $\beta^S$ ), sudeste ( $\beta^{SE}$ ), centro-oeste ( $\beta^{CO}$ ), nordeste ( $\beta^{NE}$ ) e norte ( $\beta^N$ ).<sup>17</sup> Formalmente:

$$\Delta y_{it} = Cte + \beta_{y0}y_{i,0} + X_{it}\beta_k + X_i\beta_f + [\beta_{DMT}^S(D_{i=S}^S * DMT_{it}) + \beta_{DMT}^{SE}(D_{i=SE}^{SE} * DMT_{it}) + \beta_{DMT}^{CO}(D_{i=CO}^{CO} * DMT_{it}) + \beta_{DMT}^{NE}(D_{i=NE}^{NE} * DMT_{it}) + \beta_{DMT}^N(D_{i=N}^N * DMT_{it})] + v_{it}, \quad \text{sendo} \quad v_{it} = c_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

A rigor, as Equações 2 e 3 poderiam ser estimadas via *Mínimos Quadrados Ordinários* (MQO), caso fosse possível garantir a *exogeneidade estrita* das variáveis explicativas.<sup>18</sup> Ainda que  $c_i \neq 0$ , seria possível usar o estimador de *Efeitos Aleatórios* – EA (para melhorar a

<sup>16</sup> O termo  $c_i$  refere-se à *heterogeneidade local não observada* (*i.e.*: não captada pela base de dados), cujos valores são invariantes no tempo (*e.g.*: diferenças culturais e/ou nas preferências dos  $i$  locais analisados).

<sup>17</sup> Procedimento análogo foi aplicado aos 26 Estados brasileiros.

<sup>18</sup> Neste caso, nenhuma variável explicativa  $x_{it}$  deve estar correlacionada com o termo erro atual [ $E(v_{it}|x_{it}) = 0$ ] e/ou defasado [ $E(v_{i,t-l}|x_{it}) = 0$ ]. Se [ $E(v_{i,t-l}|x_{it}) \neq 0$ ],  $x_{it}$  será *fracamente exógena* (Roodman, 2009).

eficiência do MQO) ou o procedimento de *Efeitos fixos* – EF (para corrigir o potencial viés decorrente de  $c_i$ ).<sup>19</sup> Feito isto, bastaria usar o teste de Hausman (1978) para definir se  $c_i$  causa viés nos  $\hat{\beta}$  parâmetros. Aceitando-se  $H_0: E(c_i|x_{it}) = 0$ , EF e EA serão consistentes, porém EA será mais eficiente. Do contrário, apenas EF será consistente (Wooldridge, 2010).<sup>20</sup>

Porém, acredita-se que o crescimento econômico ( $\Delta y$ ), ao impulsionar a demanda interna, também estimularia o desmatamento ( $DMT$ ), principalmente em locais pouco desenvolvidos (Oliveira *et al*, 2011; Zambrano-Monserrate *et al*, 2018; Andrée *et al*, 2019; Silva, Marcelino e Parré, 2020),<sup>21</sup> gerando uma relação bi-causal (*i.e.*: *simultaneidade*) entre  $\Delta y$  e  $DMT$  (Ewers, 2006). Ademais, a renda inicial ( $y_{i,0} = y_{i,t-1}$ ) é *fracamente exógena* nas Equações 2 e 3, pois depende de  $\Delta y_{i,t-1}$ ,<sup>22</sup> causando problemas de *endogeneidade dinâmica* entre  $y_{i,0}$  e  $\Delta y_{i,t-1}$  (Hoeffler, 2002; Ding e Knight, 2009; Iqbal e Daly, 2014). Por fim, até mesmo as variáveis sugeridas por MRW (1992) poderiam conter certa endogeneidade (Bond, Hoeffler e Temple, 2001; Hoeffler, 2002; Ding e Knight, 2009).<sup>23</sup> Logo, de forma parcimoniosa, apenas as variáveis associadas ao clima ( $Temp_i$  e  $Prec_i$ ) e à localização ( $Loc_i$ ), contidas em  $X_i$  (Equação 2), seriam *estritamente exógenas*.

Ainda que o estimador EF possa eliminar o viés oriundo da *heterogeneidade não observada* [*i.e.*: quando  $E(c_i|x_{it}) \neq 0$ ], ele não acomodaria a *simultaneidade* e/ou a *endogeneidade dinâmica* supracitados.<sup>24</sup> Para tanto, o sistema de 2 equações via *Método Generalizado dos Momentos* (*System-GMM*), de Arellano e Bover (1995) e Blundell e Bond (1998), é mais adequado, pois ele “*provides consistent results in the presence of different sources of endogeneity, namely ‘unobserved heterogeneity, simultaneity and dynamic endogeneity’*” (Ullah, Akhtar e Zaefarian, 2018, p.71). Ademais, este método tem sido comum em estudos sobre o crescimento econômico (Bond, Hoeffler e Temple, 2001; Ding e Knight, 2009; Bayraktar-Sağlam e Yetkiner, 2014; Zortuk e Karacan, 2019), tornando-se “*highly recommended for empirical growth models*” (Bayraktar-Sağlam e Yetkiner, 2014, p.266).

<sup>19</sup> Sendo  $y_{it} = X_{it}\beta_k + c_i + \varepsilon_{it}$ , o EF elimina  $c_i$  ao usar os desvios em relação à média (*e.g.*:  $\dot{y}_{it} = y_{it} - \bar{y}_i$ ), ou seja,  $\dot{y}_{it} = \dot{X}_{it}\beta_k + \dot{\varepsilon}_{it}$ . Já o EA inclui  $c_i$  no termo de erro (*i.e.*:  $y_{it} = X_{it}\beta_k + v_{it}$ , onde:  $v_{it} = c_i + \varepsilon_{it}$ ) e usa a correlação de  $c_i$  em  $v_{it}$  para tornar as estimativas mais eficientes (Wooldridge, 2010).

<sup>20</sup> Em ambos os casos, usou-se a matriz robusta de White (1980), para minimizar problemas de heterocedasticidade.

<sup>21</sup> Boa parte destes autores buscou provar a validade de *Curva de Kuznets Ambiental*, que estabelece uma relação positiva entre  $\Delta y$  e  $DMT$ , em locais pouco desenvolvidos, e negativa, após certo estágio de desenvolvimento (Oliveira *et al*, 2011; Zambrano-Monserrate *et al*, 2018; Andrée *et al*, 2019).

<sup>22</sup> Apesar disso,  $y_{i,t-1}$  seria independente de  $\Delta y_{it}$ , ou seja, trata-se de uma variável *predeterminada*.

<sup>23</sup> “*Mankiw, Romer and Weil (1992) demonstrated that estimation could potentially cast light on a number of issues. Unfortunately, there are well known problems with estimating growth regressions. The right-hand-side variables are typically endogenous...*” (Bond, Hoeffler e Temple, 2001, p.1).

<sup>24</sup> “*the presence amongst the regressors of lagged endogenous variables,  $y_{i,t-1}$  and  $\Delta y_{i,t-1}$ , renders the traditional “fixed effects” and “random effects” panel estimators inconsistent.*” (Iqbal e Daly, 2014, p.19).

Arellano e Bond (1991) mostram que é possível trabalhar com as *variáveis em diferenças* (e.g.:  $\dot{x}_{it} = x_{it} - x_{it-1}$ ) para eliminar a *heterogeneidade não observada* (proveniente de  $c_i$ ),<sup>25</sup> e usar a natureza dinâmica dos dados (onde os acontecimentos passados explicam o presente), para criar *variáveis instrumentais*<sup>26</sup> que permitam contornar os problemas de *simultaneidade* e de *endogeneidade dinâmica*.<sup>27</sup> Assim, para cada  $\dot{x}_{it}$ , que não é *estritamente exógena*, usa-se os instrumentos  $x_{i,t-2}, \dots, x_{i,t-l}$  (onde  $l$  é a defasagem máxima permitida pela amostra)<sup>28</sup> (Bond, Hoeffler e Temple, 2001; Roodman, 2009).<sup>29</sup> Esta abordagem, nomeada *difference-GMM*, foi usada por Islam (1995) e Caselli, Esquivel and Lefort (1996) para avaliar o crescimento econômico.

Contudo, quando as variáveis endógenas são não-estacionárias, a forte influência de  $x_{i,t-1}$  sobre  $x_{it}$  pode tornar a correlação entre  $\dot{x}_{it}$  e  $x_{i,t-2}$  fraca demais para que  $x_{i,t-2}$  seja um bom instrumento para  $\dot{x}_{it}$ .<sup>30</sup> Este problema é agravado em pequenas amostras e tornaria o *difference-GMM* inadequado (Blundell e Bond, 1998; Iqbal e Daly, 2014; Hoeffler, 2002; Ding e Knight, 2009; Bayraktar-Sağlam e Yetkiner, 2014).<sup>31</sup> Para este fim, Arellano e Bover (1995) e Blundell e Bond (1998) assumiram “*that first differences of instrument variables are uncorrelated with the fixed effects. This allows the introduction of more instruments and can dramatically improve efficiency. It builds a system of two equations - the original equation and the transformed one - and is known as system GMM.*” (Roodman 2009, p.86-87). Na prática, o *system-GMM* contém uma equação em nível (e.g.:  $y_{it}$  e  $x_{it}$ ), cujas defasagens, em diferença, são usadas como

<sup>25</sup> Note que, ao tomar as variáveis em diferenças e estimar  $\dot{y}_{it} = \dot{X}_{it}\beta_k + \dot{\varepsilon}_{it}$ , o termo  $c_i$  desaparece (i.e.:  $\dot{c}_{it} = 0$ ).

<sup>26</sup> Em geral, um bom instrumento ( $z_{it}$ ), para uma variável endógena qualquer ( $x_{it}$ ), deve ter forte correlação com a variável instrumentalizada [ $Cov(z_{it}, x_{it}) \neq 0$ : *princípio da relevância*] e nenhuma correlação com os resíduos da regressão [ $Cov(z_{it}, v_{it}) = 0$ : *princípio da exogeneidade*] (Wooldridge, 2010).

<sup>27</sup> Neste caso, não haveria necessidade de buscar instrumentos externos à própria base de dados, pois as variáveis originais, em nível e defasadas no tempo, são usadas para este fim (Roodman, 2009).

<sup>28</sup> Como  $\dot{x}_{it} = (x_{it} - x_{it-1})$ , deve-se desconsiderar  $x_{it}$  e  $x_{it-1}$  como instrumentos (pois ambos estariam correlacionados com  $\dot{x}_{it}$ ). Logo, recomenda-se “*instrument the right-hand-side variables in the first-differenced equations using levels of lagged two periods or more*” (Bond, Hoeffler e Temple, 2001, p.2-3).

<sup>29</sup> “*Additional instruments are available (...) if the  $x_{it}$  (...) are predetermined with respect to  $v_{it}$  (which rules out contemporaneous correlation but not feedbacks from past shocks) or strictly exogenous with respect to  $v_{it}$  (which rules out correlation between  $x_{it}$  and  $v_{it}$  at any dates).*” (Bond, Hoeffler e Temple, 2001, p.13).

<sup>30</sup> Na realidade, os instrumentos sugeridos por Arellano e Bond – AB (1991) podem ser fracos mesmo na presença de estacionariedade. Iqbal e Daly (2014, p.19) afirmam “*that weak instrumentation for the AB estimator can also arise when the persistent unobserved cross-sectional heterogeneity ( $u_i$ ) has significantly higher variance than the transient disturbances ( $\varepsilon_{it}$ ).*”

<sup>31</sup> Para Roodman (2009, p.114), se a variável “*is close to a random walk, then difference GMM performs poorly because past levels convey little information about future changes, so untransformed lags are weak instruments for transformed variables.*”

instrumentos (*i.e.*:  $\dot{x}_{i,t-l}$ ), e outra em diferença (*e.g.*:  $\dot{y}_{it}$  e  $\dot{x}_{it}$ ), cujos instrumentos são as variáveis, em nível, defasadas (*i.e.*:  $x_{i,t-l}$ ) (Bond, Hoeffler e Temple, 2001).<sup>32</sup>

A validade das estimativas via System-GMM requer a aceitação da hipótese nula dos testes de Sargan (1958) ou Hansen (1982),<sup>33</sup> de que os instrumentos são exógenos/adequados (Zortuk e Karacan, 2019), bem como do teste de Arellano e Bond (1991), de que não há autocorrelação serial a partir da defasagem de 2ª ordem (Louzano *et al*, 2019).<sup>34</sup> Por fim, sugere-se incluir *dummies* para cada período  $t$ . Segundo Roodman (2009, p.128), “*The autocorrelation test and the robust estimates of the coefficient standard errors assume no correlation across individuals in the idiosyncratic disturbances. Time dummies make this assumption more likely to hold.*”.

Como a adequação dos modelos desta pesquisa depende da relação de causalidade entre o desmatamento ( $DMT_{it}$ ) e o crescimento econômico ( $\Delta y_{it}$ ), empregou-se o teste de causalidade-Granger, para dados em painel, de Dumitrescu e Hurlin (2012), que consiste em estimar a Equação 4 e verificar a hipótese nula de que  $x_{it}$  não causa  $y_{it}$  ( $H_0: \beta_1 = \dots = \beta_K = 0$ ).<sup>35</sup>

$$y_{it} = Cte + \sum_{k=1}^K \gamma_k (y_{i,t-k}) + \sum_{k=1}^K \beta_k (x_{i,t-k}) + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Assim como Lopez e Weber (2017), a defasagem máxima ( $K$ ) da Equação 4 foi definida com base no *critério de informação de Akaike* (AIC).<sup>36</sup> Contudo, como este teste requer que  $x_{it}$  e  $y_{it}$  sejam estacionárias, os testes de raiz unitária, para dados em painel, sugeridos por Harris e Tzavalis (1999), Im, Pesaran e Shin (2003) e do Tipo-Fisher (Choi 2001) foram aplicados a ambas as variáveis.<sup>37</sup> Os 3 testes adotam a hipótese nula ( $H_0$ ) de que os dados possuem raiz unitária (*i.e.*: são não-estacionários).<sup>38</sup> Conforme sugerido por Levin, Lin e Chu (2002), a

<sup>32</sup> Para minimizar os problemas decorrentes da heterocedasticidade e da dependência residual (*cross correlation*), garantindo a robustez das inferências, recomenda-se a correção *two-step*, de Windmeijer (2005).

<sup>33</sup> O primeiro, é válido apenas para erros homocedásticos. O segundo, quando há heterocedasticidade.

<sup>34</sup> Visando evitar a proliferação de instrumentos, limitamos suas respectivas defasagens, aos períodos “a” e “b” (opção “*laglimits*”), e “colapsamos” as opções restantes. Roodman (2009, p.108) “*demonstrates the superiority of collapsed instruments in some common situations with simulations.*”. Os instrumentos remanescentes foram condensados em  $k$  componentes principais (Mehrhoff, 2009; Bai e Ng, 2010; Kapetanios e Marcellino, 2010).

<sup>35</sup> Os resultados deste teste podem se basear nas estatísticas  $\bar{Z}$  ou  $\tilde{Z}$ . Segundo Lopez e Weber, (2017, p.974), “*For large N and T panel datasets,  $\bar{Z}$  can be reasonably considered. For large N but relatively small T datasets,  $\tilde{Z}$  should be favored.*”. No caso desta pesquisa, adotou-se  $\tilde{Z}$ .

<sup>36</sup> “*The lag order (K) selection is an empirical issue for which Dumitrescu and Hurlin (2012) provide no guidance. One way to tackle this issue is to select the number of lags based on an information criterion*” (Lopez e Weber, 2017, p.974).

<sup>37</sup> Dentre os demais testes, usuais para dados em painel, nota-se que tanto o de Levin, Lin e Chu (2002) quanto o de Breitung (2000) são indicados para painéis de tamanho moderado (onde:  $20 < i < 250$ ). Já o de Hadri (2000) requer que  $t$  seja grande e  $i$  seja moderado.

<sup>38</sup> Em geral, estes testes envolvem estimar  $y_{it} = \rho_i (y_{it-1}) + Z_{it} \gamma_i + \varepsilon_{it}$  ou  $\Delta y_{it} = \phi_i (y_{it-1}) + Z_{it} \gamma_i + \varepsilon_{it}$  e verificar se  $H_0: (\rho_i = 1)$  ou  $(\phi_i = 0)$  para todo  $i$ .  $Z_{it}$  é uma matriz (opcional) que pode incluir “constante” e/ou “tendência” (StataCorp, 2019, p.558-559).

média da variável analisada, em cada *cross-section*, foi subtraída dos valores originais (comando “*demean*”) para minimizar problemas de *cross-sectional dependence*.

Operacionalmente, testou-se a estacionariedade de  $\Delta y_{it}$  e  $DMT_{it}$ , antes de avaliar a relação causal entre ambas. Feito isto, estimou-se o retorno econômico do desmatamento ( $\beta_{DMT}$ ) no Brasil (Equação 2), suas 5 macrorregiões e 26 Estados (Equação 3), usando modelos restritos (contendo apenas  $\Delta y_{it}$ ,  $DMT_{it}$  e *dummies* de ano) e irrestritos (com todas as variáveis explicativas das equações supracitadas). Como o crescimento econômico ( $\Delta y_{it}$ ) pode apresentar uma inércia auto-regressiva (Callejas, 2002), suas defasagens de 1ª e 2ª ordem (*i.e.*:  $\Delta y_{i,t-1}$  e  $\Delta y_{i,t-2}$ ) também foram incluídas nas estimativas (sob a condição de serem *fracamente exógenas*). Admitindo-se que certos impactos possam levar algum tempo para ocorrer, testou-se não apenas o efeito contemporâneo das variáveis explicativas ( $x_{i,t-0}$ ), mas, também, suas defasagens de 1ª ordem ( $x_{i,t-1}$ ).<sup>39</sup> Em todos os casos, empregou-se os estimadores de efeitos aleatórios (EA), fixos (EF) e System-GMM, usando o teste de Hausman (1978), para definir o mais adequado, e os testes de Hansen (1982) e de Arellano e Bond (1991), para garantir a validade do System-GMM.<sup>40</sup> Assim como Thiese *et al* (2016), Soares *et al* (2021) e Lages e Firme (2023), destacamos os p-valores, das estimativas, menores que 0.01 (\*\*\*), 0.05 (\*\*), 0.10 (\*) e 0.15 (#).

### 3.1 Base de Dados

Visando mensurar os efeitos do desmatamento sobre o crescimento econômico, esta pesquisa usou um *painel balanceado*, contendo dados de  $i = 5197$  municípios brasileiros, durante o período de 2008 a 2021 ( $t = 14$  anos).<sup>41</sup> Devido às defasagens empregadas, as estimativas contaram com  $n = 51970$  observações e valeram-se das seguintes variáveis (rever Equação 1):

a) Variáveis de interesse:

- *Crescimento econômico* (variável dependente): trata-se da variação anual do PIB *per capita* municipal ( $\Delta y_{it}$ ). Os valores originais (em nível) estão avaliados em R\$ milhar,

---

<sup>39</sup> Exceto a densidade populacional ( $Dpop_{it}$ ), cuja pequena variação intertemporal não justificaria defasagens.

<sup>40</sup> De modo genérico, sendo “y” a variável dependente e “x” (exógena), “p” (pré-determinada) e “z” (endógena) as explicativas, os comandos/STATA usados foram: a) AE: xtreg y x p z, re rob; b) EF: xtreg y x p z, fe rob; c) System-GMM: xtabond2 y x p z, gmm(p L.z, laglimits(a b) collapse) iv(x) robust twostep pca comp(k).

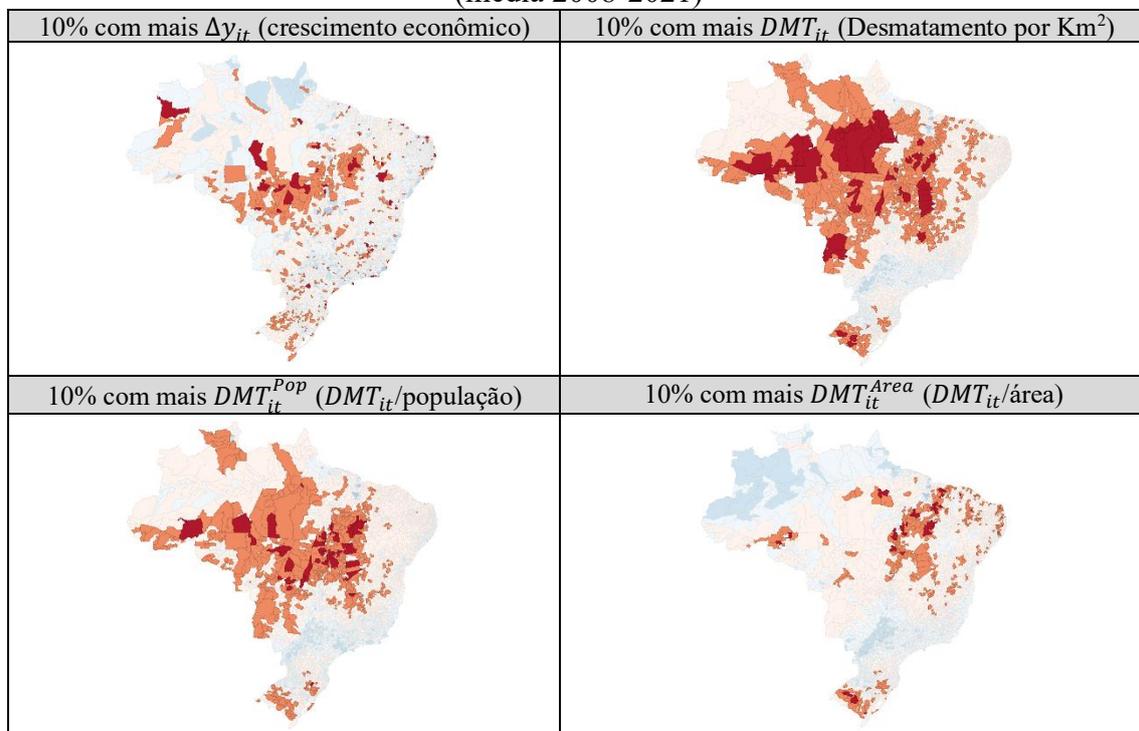
<sup>41</sup> Na elaboração desta pesquisa, os dados do IBGE, sobre o PIB municipal, limitavam-se ao ano de 2021. Já o desmatamento anual, é disponibilizado pelo PRODES/INPE a partir de 2008 (<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/faq/>).

a preços de 2010 (contas regionais do IBGE, IPEADATA, 2024). Formalmente:  $\Delta y_{it} = \ln(y_{it}/y_{i,t-1})$ .<sup>42</sup>

- *Desmatamento*: usou-se o incremento anual de área de floresta/vegetação nativa desmatada ( $DMT_{it}$ ) (PRODES/INPE, 2025). Os valores originais (em km<sup>2</sup>) também foram divididos pela população local, e multiplicados por mil ( $DMT_{it}^{Pop}$ ), e pela área total de cada município, e multiplicados por cem ( $DMT_{it}^{Area}$ ).

O Quadro 1 revela a distribuição espacial do crescimento econômico municipal ( $\Delta y_{it}$ ) e do desmatamento ( $DMT_{it}$ ,  $DMT_{it}^{Pop}$  e  $DMT_{it}^{Area}$ ), entre os anos de 2008-2021.

**Quadro 1.** Mapeamento do desmatamento e do crescimento econômico municipal (média 2008-2021)



Fonte: Elaboração própria com base no software GEODA.

#### b) Variáveis de controle

- *Renda Inicial*: é o PIB *per capita*, em R\$ milhar/2010, do ano inicial ao crescimento econômico ( $y_{i,t-1}$ ) (IBGE, IPEADATA, 2024).

<sup>42</sup> Para que os  $\beta$  representem as elasticidades das variáveis explicativas, em relação à dependente, todas as variáveis (exceto *dummies*) foram tomadas em *logaritmo natural* (Wooldridge, 2010b, p. 44).

- *Capital físico*: usou-se os gastos públicos municipais alocados em capital ( $\Delta k_{it}$ ) (Ministério da Fazenda, IPEADATA, 2025) - valores *per capita*, convertidos em R\$ milhar/2010 com base na inflação acumulada no INPC.
- *Capital humano*: para medir os efeitos da educação ( $\Delta h_{it}^{Educ.}$ ), usou-se a variação anual na proporção de empregados que sequer possuíam o ensino fundamental completo, em relação ao total registrado na *Relação Anual de Informações Sociais* (RAIS, 2025).<sup>43</sup> A mortalidade por causas evitáveis (a cada 100 mil habitantes), em indivíduos com 15-64 anos, foi usada para avaliar as condições de saúde ( $\Delta h_{it}^{Saúde}$ ) (DATASUS, 2024).<sup>44</sup> Visando manter o sinal esperado, adotou-se:  $\Delta h_{it}^{Educ.} = (\Delta x_{it})^{-1}$  e  $\Delta h_{it}^{Saúde} = (\Delta x_{it})^{-1}$ . Assim, efeitos positivos indicariam que reduções na proporção de empregados “pouco qualificados” e/ou na “mortalidade evitável” estimulariam o crescimento econômico.
- *Demografia*: tanto o crescimento ( $\Delta pop_{it}$ ) quanto a densidade populacionais ( $Dpop_{it} = pop_{it}/\text{área}_{it}$ ) foram calculados via estimativas anuais IBGE (IPEADATA, 2025).
- *Incentivos fiscais e monetários locais*: na esfera fiscal, empregou-se o gasto corrente municipal *per capita* ( $G_{it}^{Cor}$ ) (Ministério da Fazenda, IPEADATA, 2025). Quanto à política monetária, usou-se as *operações de crédito* ( $M_{it}$ ), também em valores *per capita* (Banco Central do Brasil, IPEADATA, 2025). Ambas avaliadas em R\$ milhar/2010.
- *Aspectos geográficos/ambientais* (fixos no tempo): testou-se a temperatura ( $Temp_i$ ) e precipitação ( $Prec_i$ ) municipais (médias anuais), avaliadas em graus centígrados (°C) e milímetros por mês (mm/mês), respectivamente, calculadas pelo *Climate Research Unit - University of East Anglia*, CRU-UEA.<sup>45</sup> O efeito-localização ( $Loc_i$ ) levou em conta a distância de cada município à sua respectiva capital estadual (IPEADATA, 2025).
- *Avanço agropecuário e incentivos governamentais*: considerou-se a variação anual da área colhida de lavoura permanente e temporária, por hectare ( $\Delta agr_{it}$ ), e do total de cabeças de gado, por Km<sup>2</sup> ( $\Delta pec_{it}$ ) (IBGE, IPEADATA, 2024). Ademais, testou-se os efeitos do crédito rural ( $\Delta cr_{it}$ ), avaliado em R\$/2010 (milhar) per capita (Banco Central do Brasil, IPEADATA, 2024).

A Tabela 2 contém as principais estatísticas descritivas dos dados utilizados nesta pesquisa.

<sup>43</sup> As estimativas de Firme (2021) indicam os benefícios econômicos oriundos de melhorias na educação básica.

<sup>44</sup> O Ministério da Saúde (MS, 2025) afirma que as “mortes evitáveis” seriam decorrentes de agravo ou situação passível de prevenção e seriam um reflexo de um sistema de saúde incapaz de atender às necessidades locais.

<sup>45</sup> Os *missing values* de TEMP e PREC foram preenchidos com base nos valores de seus vizinhos mais próximos, usando as matrizes de k vizinhos mais próximos do *software* GEODA (Almeida, 2012).

**Tabela 2.** Estatísticas descritivas da base de dados (2008-2021)

Eixo	Variável	SIGLA	Média	Desv. Pad.	Mínimo	Máximo
Crescimento Econômico	$\Delta$ PIB total ( $PIB_{it}/PIB_{i,t-1}$ )	$\Delta y_{it}$	1.03	0.18	0.09	11.25
Desmatamento	Desmatamento bruto (km <sup>2</sup> )	$DMT_{it}$	4.07	16.88	0.00	797.69
	Desmatamento/População (vezes 1000)	$DMT_{it}^{Pop}$	0.30	1.10	0.00	45.27
	Desmatamento/Área municipal (vezes 100)	$DMT_{it}^{Area}$	0.25	0.42	0.00	11.18
MRW (1992)	Renda Inicial total (R\$ milhar/2010)	$y_{i,t-1}$	12.97	13.76	1.97	664.63
	$\Delta$ Cap. Físico: Investimento Público (R\$ milhar/2010)	$\Delta k_{it}$	0.20	0.23	0.00	16.67
	$\Delta$ Cap. humano - Educ.: ( $\Delta$ Trab. c/Ens. Fund. Inc.) <sup>-1</sup>	$\Delta h_{it}^{Educ}$	1.18	2.74	0.00	339.53
	$\Delta$ Cap. humano – Saúde: (óbitos evit./100mil Hab.) <sup>-1</sup>	$\Delta h_{it}^{Sau}$	0.32	0.16	0.05	5.57
	$\Delta$ Populacional ( $pop_{it}/pop_{i,t-1}$ )	$\Delta pop_{it}$	1.01	0.03	0.51	1.60
Política Fiscal e Monetária	Pol. Fiscal: gasto corrente (R\$ milhar/2010)	$G_{it}^{Cor}$	1.01	0.58	0.00	85.54
	Pol. Monetária: operações de crédito (R\$ milhar/2010)	$M_{it}$	1.85	2.84	0.00	45.18
Clima e Geografia	Temperatura (graus centígrados)	$Temp_i$	22.78	3.01	14.00	28.04
	Precipitação (milímetros/mês)	$Prec_i$	115.25	36.02	28.87	272.32
	Distância à capital estadual (Km)	$Loc_i$	255.84	162.06	0.00	1476.28
Outros fatores associados ao desmatamento	Crédito rural (R\$ milhar/2010)	$cr_{it}$	1.17	2.19	0.00	150.73
	Avanço da agricultura ( $\Delta$ área colhida p/hectare)	$\Delta agr_{it}$	1.19	8.78	0.00	1564.00
	Avanço da pecuária ( $\Delta$ cabeça gado p/Km <sup>2</sup> )	$\Delta pec_{it}$	1.03	4.62	0.00	1282.60
	Densidade Populacional ( $pop_{it}/\acute{a}rea_{it}$ , em Km <sup>2</sup> )	$Dpop_{it}$	70.07	253.00	0.13	8619.24

**Nota:** Estatísticas baseadas nas médias anuais de  $i = 5197$  municípios ao longo de  $t = 14$  anos.

**Fonte:** Elaboração própria com base nas variáveis descritas nesta seção.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os 3 testes de estacionariedade empregados indicam que o crescimento econômico ( $\Delta y_{it}$ ) e o desmatamento municipal ( $DMT_{it}$ ,  $DMT_{it}^{Area}$  e  $DMT_{it}^{Pop}$ ) não possuem raiz unitária, o que traz maior robustez aos testes de Causalidade-Granger, que indicam haver bi-causalidade entre  $\Delta y_{it}$  e as variáveis associadas ao desmatamento (Tabela 3). Ewers (2006, p.161), ao avaliar a relação entre a atividade econômica e o desmatamento, já havia notado que “*the relationship is more complex than previously described, because the effect of one variable is dependent upon the value of the other*”. Logo, é possível que a simultaneidade entre as variáveis supracitadas gere viés nos estimadores de efeitos aleatórios (EA) e fixos (EF), demandando o uso do System-GMM. Ainda assim, os 3 estimadores foram mantidos, nas análises subsequentes, e o teste de Hausman (1978) foi usado para reforçar (ou não) os potenciais vieses decorrentes de EA e EF.

**Tabela 3.** Desmatamento e Crescimento Econômico: estacionariedade e causalidade

A) Testes de Estacionariedade - H0: Painéis possuem raiz unitária			
Autores	Variável Testada	Estatística Z	Conclusão
Harris e Tzavalis (1999)	$\Delta y_{it}$	-0.21 (p-valor: 0.000)	Painéis são estacionários
	$DMT_{it}$	0.49 (p-valor: 0.000)	
	$DMT_{it}^{Area}$	0.17 (p-valor: 0.000)	
	$DMT_{it}^{Pop}$	0.23 (p-valor: 0.000)	
Im, Pesaran, e Shin (2003)	$\Delta y_{it}$	-96.79 (p-valor: 0.000)	Alguns painéis são estacionários
	$DMT_{it}$	-85.79 (p-valor: 0.000)	
	$DMT_{it}^{Area}$	-75.40 (p-valor: 0.000)	
	$DMT_{it}^{Pop}$	-85.55 (p-valor: 0.000)	
Tipo Fisher: Choi (2001)	$\Delta y_{it}$	-42.18 (p-valor: 0.000)	Pelo menos um painel é estacionário
	$DMT_{it}$	-11.21 (p-valor: 0.000)	
	$DMT_{it}^{Area}$	-27.49 (p-valor: 0.000)	
	$DMT_{it}^{Pop}$	-26.72 (p-valor: 0.000)	
B) Teste de Causalidade-Granger - H0: (a) não causa (b)			
Autores	Variáveis testadas	Estatística $\tilde{Z}$	Conclusão
Dumitrescu e Hurlin (2012)	(a) $\Delta DMT_{it}$ ; (b) $\Delta y_{it}$	2.27 (p-valor: 0.023)	Bi-causalidade: $DMT_{it} \leftrightarrow \Delta y_{it}$
	(a) $\Delta y_{it}$ ; (b) $\Delta DMT_{it}$	2.21 (p-valor: 0.027)	
	(a) $\Delta DMT_{it}^{Area}$ ; (b) $\Delta y_{it}$	2.27 (p-valor: 0.023)	Bi-causalidade: $DMT_{it}^{Area} \leftrightarrow \Delta y_{it}$
	(a) $\Delta y_{it}$ ; (b) $\Delta DMT_{it}^{Area}$	2.21 (p-valor: 0.027)	
	(a) $\Delta DMT_{it}^{Pop}$ ; (b) $\Delta y_{it}$	2.37 (p-valor: 0.017)	Bi-causalidade: $DMT_{it}^{Pop} \leftrightarrow \Delta y_{it}$
	(a) $\Delta y_{it}$ ; (b) $\Delta DMT_{it}^{Pop}$	2.63 (p-valor: 0.009)	

**Nota:** conclusões baseadas em um nível de significância de 5%.

**Fonte:** Elaboração própria com base no *software* STATA.

Os *modelos restritos* (que consideram somente o desmatamento, o crescimento econômico defasado e as *dummies* de ano), sem termos interativos (Equação 2) e obtidos via EA, indicam que o desmatamento ( $DMT_{it}$ ,  $DMT_{it}^{Area}$  e  $DMT_{it}^{Pop}$ ) impulsionaria o crescimento municipal ( $\Delta y_{it}$ ) nos anos corrente e subsequente. Mas, ao excluir os *efeitos fixos não observados*, via EF, este efeito revelou-se positivo/significativo apenas no ano seguinte à tal prática. Ao controlar a (potencial) endogeneidade decorrente da renda inicial ( $y_{i,t-1}$ ), do crescimento defasado (*i.e.*:

$\Delta y_{i,t-1}$  e  $\Delta y_{i,t-2}$ ) e do próprio desmatamento, via System-GMM, nota-se que o desmatamento estimularia  $\Delta y_{it}$  no ano em que é efetuado, mas traria prejuízos no período seguinte (ainda assim, a soma destes efeitos seria positiva). Como os *p-valores* dos testes de Hausman (1978), para “EF versus EA” e “System-GMM versus EF”, ficaram próximos de zero (todos com \*\*\*), pode-se inferir que o método EF é superior ao EA, mas inferior ao System-GMM. Ademais, este último possui resultados validados pelos testes de Hansen (1982) e de Arellano e Bond (1991), cujas hipóteses nulas foram aceitas. Logo, conclui-se que tanto EA quanto EF estariam subestimando o impacto do desmatamento sobre  $\Delta y_{it}$ , em relação ao System-GMM (Tabela 4).

A elevação dos  $R^2$  ajustados, nos *modelos irrestritos* obtidos via EA e EF, indica que a inclusão das demais variáveis da Equação 1 foi benéfica. Tais estimativas sugerem que a renda estaria convergindo e que a inércia impediria alterações acentuadas em  $\Delta y_{it}$  (sinais negativos de  $y_{i,t-1}$ ,  $\Delta y_{i,t-1}$  e  $\Delta y_{i,t-2}$ ). A convergência condiz com as hipóteses de MRW (1992) e o efeito inercial encontra respaldo em Callejas (2002, p.137), cujas estimativas também indicam haver “*a negative relation between today's output and the output lagged*”. Como esperado, melhorias no capital físico ( $\Delta k_{it}$ ) e humano ( $\Delta h_{it}^{Educ}$  e  $\Delta h_{it}^{Sau}$ ) parecem impulsionar  $\Delta y_{it}$ , especialmente após o 1º ano (nas estimativas via EF).<sup>46</sup> O mesmo se aplica ao crescimento populacional, cujo efeito líquido negativo (*i.e.*: soma dos impactos de  $\Delta pop_{i,t-0}$  e  $\Delta pop_{i,t-1}$ ) faz parte do modelo MRW (1992). Os sinais positivos das políticas fiscal ( $\Delta G_{it}^{Cor}$ ) e monetária ( $\Delta M_{it}$ ) também estão coerentes com a literatura da seção 2. Ademais, verificou-se que tanto o crédito rural ( $cr_{it}$ ) quanto o avanço da agropecuária ( $\Delta agr_{it}$  e  $\Delta pec_{it}$ ) estimulariam  $\Delta y_{it}$ , o que faz sentido em um país cujo referido setor estaria “*feeding the world*” (Klein e Luna, 2019). Por fim, a densidade populacional ( $Dpop_{it}$ ) revelou-se um entrave ao crescimento econômico (Tabela 4).

Como os testes de Hausman (1978), Hansen (1982) e Arellano e Bond (1991), dos *modelos irrestritos*, permanecem indicando a superioridade/adequação do System-GMM, recomenda-se dar maior atenção a este último. Embora boa parte dos efeitos assemelhe-se aos de EA e EF, a convergência ( $y_{i,t-1}$ ) e a política monetária ( $\Delta M_{it}$ ) tornaram-se não-significantes no System-GMM, enquanto os sinais do capital físico ( $\Delta k_{it}$ ) e do(a) crescimento/densidade populacionais ( $\Delta pop_{it}$  e  $dpop_{it}$ ) se inverteram (Tabela 4).

---

<sup>46</sup> A escassez de *proxies* municipais, para o capital físico e humano, está bem documentada em Firme e Simão Filho (2014, p.687-689). Na atual pesquisa, diferentes alternativas foram testadas para a saúde (*e.g.*: internações, mortalidade infantil e geral) e a educação (*e.g.*: % de analfabetos e de trabalhadores com nível superior). Porém apenas a média trienal da mortalidade evitável ( $\Delta h_{it}^{Saúde}$ ) e na variação da proporção de empregados sem ensino fundamental ( $\Delta h_{it}^{Educ}$ ) se mostrou coerente/significativa. Ademais, os coeficientes de  $\Delta k_{it}$  e  $\Delta h_{it}^{Educ}$  só ganharam significância a partir da 1ª defasagem, sugerindo que seus efeitos, sobre  $\Delta y_{it}$ , levariam mais tempo para ocorrer.

**Tabela 4. Retorno econômico do desmatamento no Brasil**

Método Tipo de desmatamento	Efeitos Aleatórios (EA)						Efeitos Fixos (EF)						System-GMM					
	$DMT_{it}$		$DMT_{it}^{Pop}$		$DMT_{it}^{Area}$		$DMT_{it}$		$DMT_{it}^{Pop}$		$DMT_{it}^{Area}$		$DMT_{it}$		$DMT_{it}^{Pop}$		$DMT_{it}^{Area}$	
<b>MODELOS RESTRITOS</b>																		
Constante	0.027***		0.024***		0.028***		0.040***		0.040***		0.040***		-0.208***		-0.284***		-0.196***	
$\Delta y_{i,t-1}$   $\Delta y_{i,t-2}$	-0.196***	-0.096***	-0.197***	-0.096***	-0.196***	-0.096***	-0.268***	-0.164***	-0.268***	-0.164***	-0.268***	-0.164***	-0.158***	-0.053***	-0.163***	-0.052***	-0.151***	-0.052***
$DMT_{i,t-0}$   $DMT_{i,t-1}$	1.7e-4*	5.2e-4***	3.0e-4***	6.9e-4***	1.4e-4	5.1e-4***	-1.6e-4	2.6e-4***	-1.8e-4	2.9e-4***	-1.7e-4	2.8e-4***	0.018**	-0.003**	0.028***	-0.005**	0.019**	-0.004**
R <sup>2</sup> ajustado	0.061		0.062		0.061		0.098		0.098		0.098		-		-		-	
Hausman	-		-		-		4522.9***		4486.2***		4540.7***		643.3***		668.9***		648.3***	
A-B   Hansen	-		-		-		-		-		-		0.81 <sup>NS</sup>   0.01 <sup>NS</sup>		1.34 <sup>NS</sup>   0.02 <sup>NS</sup>		1.39 <sup>NS</sup>   0.02 <sup>NS</sup>	
<b>MODELOS IRRESTRITOS</b>																		
Constante	0.024		0.023		0.028		1.835***		1.834***		1.835***		-10.264***		-10.548***		-10.360***	
$y_{i,t-1}$	-0.027**		-0.026**		-0.026**		-0.404**		-0.404**		-0.404**		-0.023		-0.004		-0.051	
$\Delta y_{i,t-1}$   $\Delta y_{i,t-2}$	-0.189***	-0.084***	-0.189***	-0.084***	-0.189***	-0.084***	-0.044***	-0.008***	-0.044***	-0.008***	-0.044***	-0.008***	-0.148***	-0.033	-0.157***	-0.036	-0.146***	-0.030
$\Delta k_{i,t-1}$   $\Delta k_{i,t-2}$	0.003***	0.001	0.003***	0.001	0.003***	0.001	0.000	0.002***	0.000	0.002***	0.000	0.002***	-0.197***	-0.013***	-0.194***	-0.013***	-0.205***	-0.014***
$\Delta h_{i,t-1}^{Educ}$   $\Delta h_{i,t-2}^{Educ}$	0.001	0.009#	0.001	0.009#	0.001	0.009#	0.001	0.012*	0.001	0.012*	0.001	0.012*	1.753**	0.428***	1.669*	0.411***	1.757*	0.444**
$\Delta h_{i,t-0}^{Sau}$   $\Delta h_{i,t-1}^{Sau}$	-0.005***	0.005***	-0.005***	0.005***	-0.005***	0.005***	-0.007***	0.004**	-0.007***	0.004**	-0.007***	0.004**	-0.150***	0.162**	-0.152***	0.162**	-0.161***	0.172**
$\Delta pop_{i,t-0}$   $\Delta pop_{i,t-1}$	-0.640***	-0.074***	-0.640***	-0.073***	-0.639***	-0.073***	-0.400***	0.067*	-0.401***	0.067*	-0.400***	0.067*	-2.383	2.682***	-2.030	2.527***	-2.387	2.879***
$\Delta G_{i,t-0}^{Cor}$   $\Delta G_{i,t-1}^{Cor}$	0.051***	-0.029***	0.050***	-0.030***	0.050***	-0.030***	0.061***	0.014*	0.061***	0.014*	0.061***	0.014*	-0.345*	1.93***	-0.330*	1.934***	-0.345*	2.037***
$\Delta M_{i,t-0}$   $\Delta M_{i,t-1}$	0.002***	-0.001	0.002***	-0.001	0.002***	-0.001	0.001*	0.001	0.001*	0.001	0.001*	0.001	-0.006	0.003	-0.004	0.003	-0.004	0.003
$cr_{i,t-0}$   $cr_{i,t-1}$	0.006***	0.000	0.006***	0.000	0.006***	0.000	0.008***	0.006***	0.008***	0.006***	0.008***	0.006***	0.120***	0.063***	0.120***	0.063***	0.129***	0.068***
$\Delta agr_{i,t-0}$   $\Delta agr_{i,t-1}$	0.028***	0.009***	0.028***	0.009***	0.028***	0.009***	0.021***	0.006***	0.021***	0.006***	0.021***	0.006***	0.020**	-0.003	0.020**	-0.003	0.019**	-0.003
$\Delta pec_{i,t-0}$   $\Delta pec_{i,t-1}$	0.014***	0.010***	0.014***	0.011***	0.014***	0.011***	0.014***	0.016***	0.014***	0.016***	0.014***	0.016***	0.082**	0.024	0.083**	0.024	0.085**	0.024
$Dpop_{it}$	-0.003***		-0.003***		-0.003***		-0.310***		-0.310***		-0.310***		0.372***		0.383***		0.353***	
$Temp_i$	-0.011*		-0.010*		-0.010*		Omitida		omitida		omitida		1.383***		1.476***		1.428***	
$Prec_i$	0.013**		0.013**		0.013**		Omitida		omitida		omitida		0.229**		0.227**		0.239**	
$Loc_i$	-0.005***		-0.005***		-0.005***		Omitida		omitida		omitida		0.139**		0.139**		0.124*	
$DMT_{i,t-0}$   $DMT_{i,t-1}$	2.1e-5	4.6e-4***	-1.5e-5	4.6e-4***	-0.9e-5	5.1e-4***	1.0e-5	3.4e-4***	-0.3e-5	3.9e-4***	0.7e-5	3.7e-4***	0.031***	-0.005***	0.033***	-0.006***	0.034***	-0.006***
R <sup>2</sup> ajustado	0.081		0.081		0.081		0.220		0.220		0.220		-		-		-	
Hausman	-		-		-		98806.7***		98810.3***		98812.0***		686.7***		686.2***		683.1***	
A-B   Hansen	-		-		-		-		-		-		0.10 <sup>NS</sup>   6.40 <sup>NS</sup>		0.12 <sup>NS</sup>   7.78 <sup>NS</sup>		0.13 <sup>NS</sup>   5.63 <sup>NS</sup>	

**Notas:** **a)** p-valor. #<0.15; \*<0.10; \*\*<0.05; \*\*\*<0.01; **b)** *Dummies* de ano (não reportadas) incluídas em todas as estimativas; **c)** A-B = teste de Arellano e Bond (1991); **d)** NS = não significativo.

**Fonte:** Elaboração própria com base no *software* STATA.

No caso de  $\Delta k_{it}$ , é possível que o investimento público municipal leve mais tempo para surtir efeito do que o considerado nesta pesquisa.<sup>47</sup> Quanto à convergência condicional, Amorim, Scalco e Braga (2008) e Guimarães e Almeida (2017) mostram que ela pode ser não-significativa, no caso brasileiro. Apesar disso, o acelerado crescimento das cidades mais quentes ( $Temp_i$ ) e chuvosas ( $Prec_i$ ) parece indicar uma redução das desigualdades regionais. Afinal, o clima quente/úmido é mais comum nas proximidades do equador (Henry, 2005), o que excluiria as regiões Sul e Sudeste, consideradas as mais ricas do Brasil. Os sinais positivos de  $dpop_{it}$  e  $Loc_i$  sugerem que os “grandes centros” possuem vantagens produtivas, que favorecem o crescimento. Todavia, isto não beneficiaria as cidades próximas, o que já havia sido notado por Pinheiro e Firme (2022). Quanto ao efeito positivo de  $\Delta pop_{it}$ , Firme (2022, p.92) sustenta que, em se tratando de municípios, “a decisão de migrar é menos onerosa e o próprio crescimento econômico municipal poderia atrair pessoas de regiões vizinhas”, gerando uma relação virtuosa de retro-alimentação entre  $\Delta pop_{it}$  e  $\Delta y_{it}$ .

O fato das estimativas encontrarem respaldo na literatura confere maior credibilidade aos resultados e permite inferir que os *modelos restritos*, obtidos via System-GMM, subestimam o efeito do desmatamento sobre  $\Delta y_{it}$ , em relação aos *irrestritos*. Na prática, o efeito líquido de  $DMT_{it}$  (*i.e.*: no ano corrente e subsequente) seria  $(0.018 - 0.003) = 0.015$ , no modelo restrito, e  $(0.031 - 0.005) = 0.026$ , no irrestrito. Nos casos de  $DMT_{it}^{Area}$  e  $DMT_{it}^{Pop}$ , estes valores saltariam de 0.023 e 0.015, nas estimações restritas, para 0.027 e 0.028, nas irrestritas, respectivamente (Tabela 4).

Assumindo que o desmatamento é motivado por seu retorno imediato (*i.e.*: no mesmo ano em que é efetuado), pode-se inferir que uma redução de 50% em  $DMT_{it}$  desaceleraria o crescimento econômico ( $\Delta y_{it}$ ) em  $\{1 - \exp^{[0.031 * \ln(1-0.5)]}\} = 2.13\%$  (Benoit, 2011). Como a  $\Delta y_{it}$ , nos municípios brasileiros, foi de 3.20% ao ano entre 2008-2021 (Tabela 1), tal política ambiental diminuiria  $\Delta y_{it} = 3.20\%$  para  $\Delta y_{it}^* = [3.20\% * (1 - 0.0213)] = 3.13\%$  ao ano. Extrapolando este resultado para o Brasil, cujo PIB corrente foi de R\$ 9.012 trilhões, em 2021 (*Sistema de Contas Nacionais* do IBGE - IPEADATA, 2025), tem-se que tal medida custaria, cerca de,  $[9.012 * (3.20\% - 3.13\%)] = R\$ 6.13$  bilhões ao ano (ou R\$ 6.72 bilhões, caso se considere o coeficiente de  $DMT_{it}^{Pop} = 0.034$ ). Analogamente, políticas que visem reduzir o desmatamento em 25% e 75% teriam custos anuais de R\$ 2.56 e R\$ 12.13 bilhões (podendo chegar a \$ 2.81 e R\$ 13.28 bilhões, no caso de  $DMT_{it}^{Pop}$ ), respectivamente.

---

<sup>47</sup> Com o foco de estimar valores que possam subsidiar políticas de “prevenção” ao desmatamento, não nos pareceu adequado incluir muitas defasagens nas regressões.

Corroborando Rossoni e Morais (2020), todas as estimativas da Tabela 4 indicam que o desmatamento traz ganhos econômicos aos municípios. Como tal atividade envolve algum tipo “uso da terra”, tais resultados reforçam a relevância deste “fator de produção” que, juntamente com o capital e o trabalho, é essencial à economia. Não à toa, Carvalho, Domingues e Horridge (2017) afirmam que a redução do desmatamento só seria economicamente sustentável caso fosse acompanhada de um aumento da produtividade das áreas já utilizadas. Ainda assim, é improvável que todas as regiões brasileiras sejam, igualmente, beneficiadas por tal prática. Além disso, a despeito dos ganhos individuais, o desmatamento pode trazer sérios transtornos às áreas subjacentes. Segundo Walker (1993, p.481), “*When poor farmers clear forest land for subsistence, they often impose substantial costs on their neighbours in the short run.*”<sup>48</sup>.

Embora os *modelos restritos* da Tabela 5, obtidos via EA, indiquem que o desmatamento traria ganhos econômicos à todas as macrorregiões brasileiras (seja no período corrente ou no ano seguinte), os *modelos irrestritos* mostram que este não seria o caso do Nordeste ( $DMT_{it}^{NE}$ ), cujos efeitos foram não-significativos, nem do Sudeste ( $DMT_{it}^{SE}$ ), onde o impacto líquido foi negativo. O procedimento EF, para *modelos restritos*, também indica que tal prática não traria benefícios significativos aos municípios do Nordeste e seria prejudicial ao Sudeste. Contudo, a inclusão das demais variáveis de controle (nos *modelos irrestritos*) revelou que o desmatamento poderia impulsionar as economias das regiões Sul ( $DMT_{it}^S$ ), Sudeste ( $DMT_{it}^{SE}$ ) e Centro-Oeste ( $DMT_{it}^{CO}$ ), sendo não-significativo nos demais casos.

Novamente, os testes de Hausman (1978), Hansen (1982) e Arellano e Bond (1991) reforçaram a adequação/superioridade do System-GMM. Assim, os *modelos restritos* indicam que o desmatamento teria efeitos líquidos positivos no Sudeste e Nordeste, porém negativos no Sul. A Tabela 1 já indicava que, apenas no Sul, os municípios que não desmataram tiveram crescimento inferior aos que desmataram. Quanto ao Sudeste e Nordeste, o fato destas serem as duas regiões mais populosas do país pode ter influenciado o resultado. Afinal, quanto mais pessoas, maior será a necessidade de terra (seja para moradia ou produção) e, também, o valor atribuído ao desmatamento. Após incluir as demais variáveis explicativas (*modelos irrestritos*), boa parte do efeito associado ao desmatamento perdeu significância, mantendo-se relevante apenas no Sul e Sudeste, sendo benéfico ao primeiro e prejudicial ao segundo (Tabela 5).

---

<sup>48</sup> Como as *dummies* interativas (Equação 3) causam apenas alterações marginais nos demais parâmetros e modelos do tipo *log-log* tornam irrisórias as diferenças de impacto entre  $DMT_{it}$ ,  $DMT_{it}^{Area}$  e  $DMT_{it}^{Pop}$ , somente os efeitos associados à  $DMT_{it}$  foram reportados nas análises subsequentes.

**Tabela 5.** Retorno econômico do desmatamento nas Macrorregiões brasileiras

	Modelos Restritos	Modelos Irrestritos
Efeito Aleatórios	$DMT_{it}$	$DMT_{it}$
$DMT_{i,t-0}^S$   $DMT_{i,t-1}^S$	6.4e <sup>-5</sup>   1.0e <sup>-3***</sup>	-1.8e <sup>-4</sup>   7.8e <sup>-4***</sup>
$DMT_{i,t-0}^{SE}$   $DMT_{i,t-1}^{SE}$	-1.1e <sup>-4</sup>   3.6e <sup>-4***</sup>	-4.6e <sup>-4***</sup>   4.0e <sup>-4***</sup>
$DMT_{i,t-0}^{CO}$   $DMT_{i,t-1}^{CO}$	1.8e <sup>-3***</sup>   -5.8e <sup>-4</sup>	1.9e <sup>-3***</sup>   -1.0e <sup>-3*</sup>
$DMT_{i,t-0}^{NE}$   $DMT_{i,t-1}^{NE}$	7.9e <sup>-5</sup>   3.7e <sup>-4***</sup>	2.0e <sup>-4</sup>   2.8e <sup>-4</sup>
$DMT_{i,t-0}^N$   $DMT_{i,t-1}^N$	8.3e <sup>-4***</sup>   -1.6e <sup>-5</sup>	7.9e <sup>-4**</sup>   -9.5e <sup>-5</sup>
R <sup>2</sup> ajustado	0.064	0.083
Hausman	-	-
Efeito Fixos	$DMT_{it}$	$DMT_{it}$
$DMT_{i,t-0}^S$   $DMT_{i,t-1}^S$	-1.0e <sup>-4</sup>   8.0e <sup>-4***</sup>	-3.1e <sup>-4</sup>   6.6e <sup>-4***</sup>
$DMT_{i,t-0}^{SE}$   $DMT_{i,t-1}^{SE}$	-4.1e <sup>-4***</sup>   1.6e <sup>-4</sup>	-2.3e <sup>-4</sup>   3.7e <sup>-4**</sup>
$DMT_{i,t-0}^{CO}$   $DMT_{i,t-1}^{CO}$	1.7e <sup>-3***</sup>   -4.0e <sup>-4</sup>	2.2e <sup>-3**</sup>   -1.6e <sup>-4</sup>
$DMT_{i,t-0}^{NE}$   $DMT_{i,t-1}^{NE}$	-3.2e <sup>-4</sup>   6.7e <sup>-5</sup>	2.2e <sup>-4</sup>   2.3e <sup>-4</sup>
$DMT_{i,t-0}^N$   $DMT_{i,t-1}^N$	7.9e <sup>-4#</sup>   5.8e <sup>-5</sup>	5.9e <sup>-4</sup>   -3.3e <sup>-4</sup>
R <sup>2</sup> ajustado	0.098	0.220
Hausman	4493.7***	9758.6***
System-GMM	$DMT_{it}$	$DMT_{it}$
$DMT_{i,t-0}^S$   $DMT_{i,t-1}^S$	-0.149*   0.054*	0.054*   -0.010
$DMT_{i,t-0}^{SE}$   $DMT_{i,t-1}^{SE}$	0.110**   -0.033**	0.012   -0.006#
$DMT_{i,t-0}^{CO}$   $DMT_{i,t-1}^{CO}$	0.034   -0.004	0.004   -0.000
$DMT_{i,t-0}^{NE}$   $DMT_{i,t-1}^{NE}$	0.213***   -0.022**	0.018   0.001
$DMT_{i,t-0}^N$   $DMT_{i,t-1}^N$	-0.687#   0.012	0.051   -0.006
A-B   Hansen	1.16 <sup>NS</sup>   2.41 <sup>NS</sup>	-0.80 <sup>NS</sup>   3.14 <sup>NS</sup>
Hausman	990.6***	1085.1***

**Notas:** **a)** p-valor. #<0.15; \*<0.10; \*\*<0.05; \*\*\*<0.01; **b)** *Dummies* de ano (não reportadas) incluídas em todas as estimativas; **c)** A-B = teste de Arellano e Bond (1991); **d)** NS = não significativo.

**Fonte:** Elaboração própria com base no *software* STATA.

Cabe destacar que as análises *irrestritas* não refutam as *restritas*, e sim as complementam. Se o *DMT* é vantajoso no Sudeste e Nordeste, devido à elevada densidade populacional (por exemplo), é razoável que deixe de sê-lo ao incluímos esta variável. Na realidade, após incluir todas as variáveis da Equação 1, é provável que os *modelos irrestritos* passem a captar o “valor da terra”. Deste modo, pode-se inferir que o desmatamento das vastas planícies do Sul (pampas) seria mais simples/vantajoso do que se aventurar nos terrenos montanhosos do Sudeste.

As *estimativas restritas*, via EA (Tabela 6), indicam que o efeito líquido do desmatamento seria positivo/significativo em 13 dos 26 Estados brasileiros, revelando-se não-significativo em 10 casos e prejudicial às economias do Rio de Janeiro ( $DMT_{it}^{RJ}$ ), São Paulo ( $DMT_{it}^{SP}$ ) e Sergipe ( $DMT_{it}^{SER}$ ). Nos *modelos irrestritos*, os efeitos permaneceram positivos/significativos em 14 Estados, sendo não-significativos em 7 deles e potencialmente nocivos ao Amapá ( $DMT_{it}^{AP}$ ), Sergipe ( $DMT_{it}^{SER}$ ), Espírito Santo ( $DMT_{it}^{ES}$ ), São Paulo ( $DMT_{it}^{SP}$ ) e Santa Catarina ( $DMT_{it}^{SC}$ ).

No procedimento EF *restrito* (Tabela 6), foram registrados 10 efeitos positivos, 8 não-significativos e 8 negativos, sendo estes últimos referentes a Alagoas ( $DMT_{it}^{AL}$ ), Maranhão

( $DMT_{it}^{MA}$ ), Roraima ( $DMT_{it}^{RR}$ ), Rio Grande do Norte ( $DMT_{it}^{RN}$ ), Sergipe ( $DMT_{it}^{SER}$ ), São Paulo ( $DMT_{it}^{SP}$ ), Minas Gerais ( $DMT_{it}^{MG}$ ) e Santa Catarina ( $DMT_{it}^{SC}$ ). Já sua versão *irrestrita* possui 9 efeitos positivos, 9 não-significativos e 8 negativos, estes últimos em Alagoas ( $DMT_{it}^{AL}$ ), Amazonas ( $DMT_{it}^{AM}$ ), Ceará ( $DMT_{it}^{CE}$ ), Mato Grosso do Sul ( $DMT_{it}^{MS}$ ), Minas Gerais ( $DMT_{it}^{MG}$ ), Rio Grande do Norte ( $DMT_{it}^{RN}$ ), Roraima ( $DMT_{it}^{RR}$ ) e Santa Catarina ( $DMT_{it}^{SC}$ ).

**Tabela 6.** Retorno econômico do desmatamento nos Estados brasileiros

		Modelos Restritos						Modelos Irrestritos					
		EA		EF		System-GMM		EA		EF		System-GMM	
Sul													
$DMT_{i,t-0}^{PR}$	$DMT_{i,t-1}^{PR}$	3.1e-4	9.5e-4***	2.5e-4	9.8e-4***	-0.098	0.048	1.1e-4	7.6e-4***	-1.1e-4	6.8e-4***	0.028**	0.017***
$DMT_{i,t-0}^{RS}$	$DMT_{i,t-1}^{RS}$	8.0e-5	1.1e-3***	1.4e-4	9.1e-4**	0.151**	-0.043**	-2.3e-4	8.1e-4***	-1.9e-5	1.2e-3**	0.069*	-0.040*
$DMT_{i,t-0}^{SC}$	$DMT_{i,t-1}^{SC}$	-6.1e-4	7.7e-4	-1.6e-3*	-1.7e-4	0.039	-0.004	-8.7e-4*	7.3e-4	-1.4e-3**	-5.5e-4	0.042#	0.008
Sudeste													
$DMT_{i,t-0}^{ES}$	$DMT_{i,t-1}^{ES}$	-6.1e-4	1.4e-4	1.4e-3	2.5e-3	-0.845	0.263	-2.4e-4	-1.1e-3**	9.4e-4	-5.3e-5	0.001	-0.011
$DMT_{i,t-0}^{MG}$	$DMT_{i,t-1}^{MG}$	-3.2e-5	6.4e-4***	-4.6e-4#	1.3e-4	0.097**	-0.018	-4.2e-4**	3.7e-4*	-4.8e-4*	1.1e-5	0.028	-0.009
$DMT_{i,t-0}^{RJ}$	$DMT_{i,t-1}^{RJ}$	-1.3e-3**	2.3e-4	1.3e-3*	1.3e-4	0.053	-0.014	-1.0e-3*	1.2e-3*	3.2e-5	1.8e-3**	0.036	-0.012
$DMT_{i,t-0}^{SP}$	$DMT_{i,t-1}^{SP}$	-5.8e-4***	2.9e-4	-3.8e-4*	2.8e-5	0.041	-0.017	-4.7e-4**	3.7e-4*	-1.4e-4	5.3e-4**	0.018**	-0.006
Centro-Oeste													
$DMT_{i,t-0}^{GO}$	$DMT_{i,t-1}^{GO}$	1.6e-3**	-1.1e-3	1.8e-3*	-7.2e-4	0.023	-0.005	1.7e-3**	-1.3e-3*	2.7e-3**	1.9e-4	0.074	-0.027
$DMT_{i,t-0}^{MT}$	$DMT_{i,t-1}^{MT}$	4.2e-4	1.6e-3**	9.1e-4	2.3e-3*	-0.131	-0.012	9.4e-4#	1.2e-3**	-3.6e-4	4.2e-4	-0.018	-0.016
$DMT_{i,t-0}^{MS}$	$DMT_{i,t-1}^{MS}$	2.5e-3**	-1.6e-3#	2.3e-3**	-2.0e-3	0.266	-0.019	2.7e-3**	-1.9e-3**	1.9e-3	-2.3e-3**	0.172	-0.145
Nordeste													
$DMT_{i,t-0}^{AL}$	$DMT_{i,t-1}^{AL}$	1.6e-3***	-3.6e-4	3.0e-6	-1.8e-3**	0.005	-0.005	1.8e-3*	8.7e-5#	-3.7e-4	-2.0e-3*	0.028	-0.028
$DMT_{i,t-0}^{BA}$	$DMT_{i,t-1}^{BA}$	-2.3e-4	5.9e-4*	-2.4e-4	7.1e-4*	0.138	0.002	-2.0e-4	4.9e-4	6.4e-4	9.6e-4**	0.020	0.006
$DMT_{i,t-0}^{CE}$	$DMT_{i,t-1}^{CE}$	-2.9e-4	8.7e-4	9.0e-4	1.7e-4	0.742	-0.350	-2.2e-4	8.5e-4	-2.3e-3*	5.4e-4	-0.001	0.018
$DMT_{i,t-0}^{MA}$	$DMT_{i,t-1}^{MA}$	6.3e-4	-3.1e-4	-1.0e-3	-1.9e-3**	0.117	-0.049	9.0e-4	-1.5e-4	2.6e-5	-1.2e-3	-0.014	-0.002
$DMT_{i,t-0}^{PB}$	$DMT_{i,t-1}^{PB}$	-6.1e-5	-2.9e-4	2.6e-4	7.8e-5	0.150	-0.050	3.5e-4	-3.8e-4	6.0e-4	-3.0e-4	0.002	0.034
$DMT_{i,t-0}^{PE}$	$DMT_{i,t-1}^{PE}$	-4.0e-4	2.5e-4	1.3e-4	7.5e-4	0.143	-0.066	-4.4e-4	4.3e-4	5.5e-4	5.2e-4	0.037**	-0.026
$DMT_{i,t-0}^{PI}$	$DMT_{i,t-1}^{PI}$	5.8e-4***	8.2e-4***	3.4e-4	6.6e-4**	-0.054**	-0.004	5.2e-4***	9.1e-4***	1.3e-4	4.6e-4**	0.012	-0.009#
$DMT_{i,t-0}^{RN}$	$DMT_{i,t-1}^{RN}$	-1.0e-3**	1.3e-3***	-2.8e-3**	-5.1e-4	-0.725	0.191	9.5e-4	-1.0e-5	-1.5e-3**	-1.0e-3	-0.076	0.067
$DMT_{i,t-0}^{SER}$	$DMT_{i,t-1}^{SER}$	-1.6e-3**	4.3e-4	-6.9e-4	1.9e-3*	0.024	-0.009	-1.5e-3*	7.0e-4	2.1e-3**	4.6e-3***	-0.001	0.062
Norte													
$DMT_{i,t-0}^{AC}$	$DMT_{i,t-1}^{AC}$	0.015*	-0.015*	0.027**	-0.006	0.149#	-0.008	0.018*	-0.017*	0.023*	-0.007	0.930#	-0.904#
$DMT_{i,t-0}^{AP}$	$DMT_{i,t-1}^{AP}$	-1.3e-3	1.0e-4	-7.7e-4	6.1e-4	0.093	0.018	-2.8e-4***	1.2e-3	-3.5e-4	2.7e-4	-0.045	0.016
$DMT_{i,t-0}^{AM}$	$DMT_{i,t-1}^{AM}$	-2.9e-4	6.5e-4	7.4e-4	1.9e-3	-0.444*	0.051	-4.8e-4	1.0e-3	-2.2e-3*	-1.4e-3	0.189#	-0.171
$DMT_{i,t-0}^{PA}$	$DMT_{i,t-1}^{PA}$	1.1e-3**	-3.7e-4	8.9e-4	-4.2e-4	-0.491	0.095	1.4e-3***	-3.0e-4	1.0e-3	-6.0e-4	-0.003	0.011
$DMT_{i,t-0}^{RO}$	$DMT_{i,t-1}^{RO}$	2.7e-4	5.9e-5	2.3e-3**	2.3e-3**	-0.013	-0.007	8.8e-4#	-5.9e-4	2.1e-3**	4.9e-5	0.117	-0.293
$DMT_{i,t-0}^{RR}$	$DMT_{i,t-1}^{RR}$	1.2e-3	-1.5e-3	9.1e-4	-1.8e-3#	-0.071	0.030	1.2e-3**	-4.5e-4	-5.3e-4	-2.4e-3***	-0.046	0.042
$DMT_{i,t-0}^{TO}$	$DMT_{i,t-1}^{TO}$	7.9e-4***	5.4e-4#	4.1e-4	1.6e-4	-0.010	-0.002	8.22e-4***	7.5e-4**	2.1e-4	4.5e-4	0.063	-0.078
R <sup>2</sup> ajustado		0.070		0.099		-		0.087		0.221		-	
Hausman		-		4217.0***		1400.9***		-		9671.9***		902.5***	
A-B   Hansen		-		-		0.67 <sup>NS</sup>	2.23 <sup>NS</sup>	-		-		1.47 <sup>NS</sup>	25.93 <sup>NS</sup>

**Notas:** **a)** p-valor. # <0.15; \* <0.10; \*\* <0.05; \*\*\* <0.01; **b)** *Dummies* de ano (não reportadas) incluídas em todas as estimativas; **c)** A-B = teste de Arellano e Bond (1991); **d)** NS = não significativo.

**Siglas:** AC (Acre), AL (Alagoas), AP (Amapá), AM (Amazonas), BA (Bahia), CE (Ceará), ES (E. Santo), GO (Goiás), MA (Maranhão), MT (Mato Grosso), MS (Mato G. Sul), MG (Minas Gerais), PA (Pará), PB (Paraíba), PR (Paraná), PE (Pernambuco), PI (Piauí), RJ (Rio de Janeiro), RN (Rio G. Norte), RS (Rio G. Sul), RO (Rondônia), RR (Roraima), SC (Santa Catarina), SP (São Paulo), SER (Sergipe) e TO (Tocantins).

**Fonte:** Elaboração própria com base no *software* STATA.

Ainda que tais resultados reforcem os benefícios econômicos do desmatamento, em boa parte dos Estados brasileiros, os testes de Hausman (1978), Hansen (1982) e Arellano e Bond (1991) indicam que o método System-GMM seria o mais adequado para este tipo de análise.

Neste caso (Tabela 6), os *modelos restritos* revelam que tal prática seria vantajosa no Acre ( $DMT_{it}^{AC}$ ), Minas Gerais ( $DMT_{it}^{MG}$ ) e Rio Grande do Sul ( $DMT_{it}^{RS}$ ), mas prejudicaria a economia do Amazonas ( $DMT_{it}^{AM}$ ) e do Piauí ( $DMT_{it}^{PI}$ ). Já na *versão irrestrita*, apenas o Piauí ( $DMT_{it}^{PI}$ ) obteve efeito negativo/significativo. Assim, o desmatamento beneficiaria o Acre ( $DMT_{it}^{AC}$ ), Amazonas ( $DMT_{it}^{AM}$ ), Pernambuco ( $DMT_{it}^{PE}$ ), São Paulo ( $DMT_{it}^{SP}$ ), Paraná ( $DMT_{it}^{PR}$ ), Santa Catarina ( $DMT_{it}^{SC}$ ) e Rio Grande do Sul ( $DMT_{it}^{RS}$ ). Com base nestes últimos resultados (e nos estudos destacados abaixo), pode-se inferir que o desmatamento é, especialmente, vantajoso nas planícies gramíneas da região sul,<sup>49</sup> em áreas de difícil fiscalização (Coelho-Junior *et al.*, 2022), como no Acre e Amazonas, e em locais mais populosos e/ou povoados (Duarte *et al.*, 2020), como os Estados de São Paulo e Pernambuco.

---

<sup>49</sup> Segundo o MapBiomass-Brasil (2025b), as áreas mais planas costumam ter maiores perdas de vegetação nativa, quando comparadas às de maior declividade.

## CONCLUSÃO

Esta pesquisa avaliou os retornos econômicos decorrentes do desmatamento, em diferentes localidades brasileiras. Para tanto, os estimadores de Efeitos-Aleatórios (EA), Efeitos-Fixos (EF) e System-GMM foram aplicados a um painel-dinâmico, contendo informações de 5.197 municípios, entre 2008-2021. Os modelos também contaram com variáveis adicionais de controle e *dummies* interativas, que permitiram diferenciar os impactos do desmatamento entre as 5 macrorregiões brasileiras e seus 26 Estados.

Inicialmente, os testes de causalidade-Granger, sugeridos por Dumitrescu e Hurlin (2012), revelaram uma relação bi-causal entre o crescimento econômico e o desmatamento. Como os estimadores EA e EF não lidam com este tipo de endogeneidade, é improvável que produzam resultados adequados, o que ficou comprovado pelos testes de Hausman (1978), que indicaram a superioridade do System-GMM em todos os casos. Assim, ao comparar as estimativas, nota-se que ambos, EA e EF, tenderiam a subestimar o efeito positivo do desmatamento, sobre o crescimento econômico, em relação ao System-GMM.

Após controlar alguns “fatores de confusão”, que poderiam distorcer as estimativas (*e.g.*: renda inicial do município, características geográficas/climáticas e potenciais alterações locais no capital físico/humano, no crescimento/densidade populacionais, na política fiscal/monetária e no avanço agropecuário), verificou-se que o efeito líquido do desmatamento (*i.e.*: soma dos impactos nos anos corrente e subsequente) seria quase o dobro (*i.e.*: 0.026) daquele estimado sem os respectivos controles (*i.e.*: 0.015). Desde modo, verifica-se que o desmatamento, talvez por ampliar o uso da terra para fins produtivos, impulsionaria o crescimento econômico local. Em termos práticos, calculou-se que políticas ambientais, que visem reduzir tal prática em 25%, 50% e 75% teriam um custo anual, à economia brasileira, de R\$ 2.56 a 2.81, R\$ 6.13 a 6.72 e R\$ 12.13 a 13.28 bilhões, respectivamente.

Para que tais “políticas ambientais” sejam temporalmente sustentáveis sugere-se a criação de um “fundo nacional de combate ao desmatamento” (FNCD), cujo o rendimento anual ( $i$ ), após descontar a inflação ( $\pi$ ), deve equivaler aos valores supracitados. Como a taxa básica de juros no Brasil está em  $i = 15\%$  ao ano (Banco Central do Brasil - BCB, 2025) e o IPCA/2024 foi de  $\pi = 4,83\%$  (IPEADATA, 2025), os valores necessários ao FNCD, para reduções de 25%, 50% e 75% no desmatamento, seriam de, aproximadamente, R\$ 26.39 a 28.93, R\$ 63.19 a 69.24 e R\$ 125.04 a 136.86 bilhões, respectivamente.<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup> Exemplo: se o objetivo for reduzir o desmatamento em 50%, o FNCD deverá conter  $k$  reais, de modo que:  $\{k[(1+i)/(1+\pi)] - k\} = 6.13$  bilhões. Se  $i = 15\%$  e  $\pi = 4,83\%$  a.a.,  $k = \{6.13/[(1.15/1.0483) - 1]\} = R\$ 63.19$  bilhões (podendo chegar a R\$ 69.24 bilhões, se o custo anual do desmatamento for R\$ 6.72 bilhões).

Ademais, os modelos com *dummies* interativas revelaram que: a) as planícies gramíneas, típicas da região Sul, podem facilitar tanto o desmatamento quanto o posterior uso da área desmatada. Isto explicaria os benefícios desta prática sobre as economias de todos os Estados da referida região; b) é possível que a vastidão territorial do bioma amazônico, somada à sua forte densidade florestal, dificultem a fiscalização e favoreçam o desmatamento ilegal no Acre e Amazonas. Deste modo, o ônus decorrente do desmatamento seria irrisório nestas áreas, o que justificaria os respectivos efeitos positivos encontrados neste estudo; c) como o Estado de São Paulo é o mais populoso do país e Pernambuco possui a segunda maior população do Nordeste (com densidade populacional mais de 3 vezes superior à da Bahia, cuja população é a maior da região), é provável que exista uma pressão interna, nestes locais, para que mais áreas nativas sejam usadas para produção/moradia, elevando os benefícios oriundos do desmatamento. Tal raciocínio também se aplica ao Piauí, cuja densidade populacional é a menor do Nordeste e a prática do desmatamento revelou-se prejudicial à economia local.

Acredita-se que os resultados deste estudo, ao indicar os potenciais custos econômicos, decorrentes do combate ao desmatamento no Brasil, e revelar os locais onde tal prática seria mais vantajosa, possam servir de subsídio à elaboração de políticas regionais, que visem a preservação do meio-ambiente em diferentes localidades do país. Ademais, pode-se incluir mais defasagens nas estimativas, a fim de verificar se o efeito do desmatamento permanece positivo ao longo do tempo, e/ou considerar *dummies* interativas com maiores desagregações territoriais (e.g.: mesorregiões/microrregiões ou regiões intermediárias/imediatas), para captar efeitos mais localizados. Todavia, cabe destacar que a escassez e falta de qualidade dos dados disponíveis na esfera municipal, previamente descritos por Firme e Simão Filho (2014), impõem uma séria limitação a este tipo de estudo.

## REFERÊNCIAS

- ACEMOGLU, D.; JOHNSON, S.; ROBINSON, J.A. Reversal of fortune: Geography and institutions in the making of the modern world income distribution. *The Quarterly journal of economics*, 117(4), 1231-1294, 2002.
- ALMEIDA, Eduardo. Econometria espacial. Campinas–SP. 1ª Ed. Alínea, 2012, 498p.
- ALMEIDA, L.A.; FIRME, V.A.C. Educação e crescimento econômico: um estudo econométrico-espacial para os municípios do sudeste brasileiro. *Revista PPE (IPEA)*, v.53, n.1, p.201-229, 2023.
- AMORIM, A.L.; SCALCO, P.R.; BRAGA, M.J. Crescimento econômico e convergência de renda nos estados brasileiros: uma análise a partir dos grandes setores da economia. *Revista Econômica do Nordeste*, 39(3), 359-370, 2008.
- ANDRÉE, B.P.; CHAMORRO, A.; SPENCER, P.; KOOMEN, E.; DOGO, H. Revisiting the relation between economic growth and the environment; a global assessment of deforestation, pollution and carbon emission. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, p.1-16, 2019.
- ANTUNES, L.A. Convergência da produtividade agropecuária: uma análise considerando regimes espaciais por biomas entre os anos de 1995 e 2017. Programa de Pós-Graduação em Economia/UEPG (Dissertação), 2021, 159p.
- ARELLANO, M.; BOVER, O. Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. *Journal of Econometrics* 68: 29–51, 1995.
- ARELLANO, M.; BOND, S. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *Review of economic studies*, v.58, n.2, p.277-297, 1991.
- ARRAES, R.D.A.; MARIANO, F.Z.; SIMONASSI, A.G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 50, 119-140, 2012.
- BAI, J.; NG, S. Instrumental variable estimation in a data rich environment. *Econometric Theory*, 26(6), 1577-1606, 2010.
- BALBONI, C.; BERMAN, A.; BURGESS, R.; OLKEN, B.A. The economics of tropical deforestation. *Annual Review of Economics*, 15(1), 723-754, 2023.
- BAYRAKTAR-SAGLAM, B.; YETKINER, H. A Romerian contribution to the empirics of economic growth. *Journal of Policy Modeling*, 36(2), 257-272, 2014.
- BCB – Banco Central do Brasil. Taxa SELIC. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em Agosto/2025.
- BENOIT, K. Linear Regression Models with Logarithmic Transformations. London School of Economics. p.1-8. 2011. Disp.: <https://kenbenoit.net/assets/courses/me104/logmodels2.pdf>
- BLUNDELL, R.; BOND, S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, 87, 115–143, 1998.
- BOND, S.R.; HOEFFLER, A.; TEMPLE, J.R. GMM estimation of empirical growth models. Centre for Economic Policy Research. Discussion Paper n.3048, p.1-33, 2001.
- BREITUNG, J. The local power of some unit root tests for panel data. *Advances in Econometrics, Volume 15: Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels*, ed. B. H. Baltagi, 161–178. Amsterdam: JAY Press, 2000.
- BRITO, R.O.; MARQUES, C.F. Pagamento por serviços ambientais: uma análise do ICMS ecológico nos estados brasileiros. *Planejamento e Políticas Públicas – PPP (IPEA)*, 49, p.357-383, 2017.
- CALLEJAS, D.G. Inertial growth: The British and American Cases. *Lecturas de Economía*, (57), 127-142, 2002.

- CARVALHO, T.S.; DOMINGUES, E.P.; HORRIDGE, J.M. Controlling deforestation in the Brazilian Amazon: Regional economic impacts and land-use change. *Land use policy*, 64, 327-341, 2017
- CASELLI, F.; ESQUIVEL, G.; LEFORT, F. Reopening the Convergence Debate: A New Look at Cross-Country Growth Empirics, *Journal of Economic Growth*, Vol. 1, pp. 363–89, 1996.
- CASTRO, B.S.; YOUNG, C.E.F. Ecological fiscal transfer (ICMS Ecológico) in the Brazilian Amazon: experiences and lessons. *6<sup>th</sup> International Conference on Public Policy - International Public Policy Association*. Toronto, 2023.
- CEPEA/USP - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. PIB do Agronegócio Brasileiro. Disponível em: <https://www.cepea.org.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em Abril/2025.
- CHOI, I. Unit root tests for panel data. *Journal of International Money and Finance* 20: 249–272, 2001.
- COELHO-JUNIOR, M.G.; VALDIONES, A.P.; SHIMBO, J.Z.; SILGUEIRO, V.; ROSA, M.; MARQUES, C.D.L.; OLIVEIRA, M.; ARAUJO, S.; AZEVEDO, T. Unmasking the impunity of illegal deforestation in the Brazilian Amazon: a call for enforcement and accountability. *Environmental Research Letters*, 17(4), p.041001, 2022.
- DEGENHART, L.; VOGT, M.; ZONATTO, V.C. Influência dos gastos públicos no crescimento econômico dos municípios da Região Sudeste do Brasil. *Revista de Gestão*, 23(3), 233-245, 2016.
- DING, S.; KNIGHT, J. Can the augmented Solow model explain China's remarkable economic growth? A cross-country panel data analysis. *Journal of Comparative Economics*, 37(3), pp.432-452, 2009.
- DIVINO, J.A.; SILVA JUNIOR, R.L.S. Composição dos gastos públicos e crescimento econômico dos municípios brasileiros. *Revista Economia*, v.13, n.3, p.507-528, 2012.
- DUARTE, M.L.; BRITO, W.B.M.; SILVA, T.A.; CASTRO, A.L. Padrões e causas do desmatamento no Baixo Acre, região oeste da Amazônia brasileira. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(1), 117-127, 2020.
- DUMITRESCU, E.-I.; HURLIN, C. Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling* 29, p.1450–1460, 2012.
- ELLWANGER, J.H.; NOBRE, C.A.; CHIES, J.A.B. Brazilian biodiversity as a source of power and sustainable development: a neglected opportunity. *Sustainability*, 15(1), 482, 2023.
- EWERS, R.M. Interaction effects between economic development and forest cover determine deforestation rates. *Global Environmental Change*, 16(2), 161-169, 2006.
- FERREIRA, M.D.P.; COELHO, A.B. Desmatamento Recente nos Estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 53, 91-108, 2015.
- FIRME, V.A.C. Crescimento econômico, desigualdade de renda e a influência dos fenômenos espaciais. *Geosul (UFSC)*, v.37, n.80, p.80-105, 2022.
- FIRME, V.A.C. Evidências empíricas do impacto da alfabetização sobre o crescimento econômico. *Estudos em Avaliação Educacional*, v.31, n.78, p.577-625, 2021.
- FIRME, V.A.C.; SIMÃO FILHO, J. Análise do crescimento econômico dos municípios de Minas Gerais via modelo MRW (1992) com capital humano, condições de saúde e fatores espaciais, 1991-2000. *Economia Aplicada*, v.18, n.4, p.679-716, 2014.
- GALEANO, E.V.; FEIJÓ, C. Crédito e crescimento econômico: evidências a partir de um painel de dados regionais para a economia brasileira nos anos 2000. *Revista econômica do Nordeste*, 43(2), 201-220, 2012.
- GREENE, W. *Econometric analysis* 5th ed. Prentice Hall. Upper Saddle River: NJ, 2002. 802p.
- GUIMARÃES, P.M.; ALMEIDA, E. A análise de convergência de renda no Brasil e o problema de escala espacial. *Ensaio FEE*, 37(4), 899-924, 2017.

- HADRI, K. Testing for stationarity in heterogeneous panel data. *Econometrics Journal* 3: 148–161, 2000.
- HANSEN, L.P. Large sample properties of generalized method of moments estimators. *Econometrica*, 50, p.1029-1054, 1982.
- HARRIS, R.D.F.; TZAVALIS, E. Inference for unit roots in dynamic panels where the time dimension is fixed. *Journal of Econometrics* 91: 201–226, 1999.
- HAUSMAN, J.A. Specification Tests in Econometrics. *Econometrica* 46, p.1251–1271, 1978.
- HENRY, J. Tropical And Equatorial Climates. In: Oliver, J.E. (eds) *Encyclopedia of World Climatology*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht, 2005, p.761p.
- HIRSCHMAN, A.O. *The Strategy of Economic Development*, New Haven, CT: Yale University Press. 1958.
- HOANG, N.T.; KANEMOTO, K. Mapping the deforestation footprint of nations reveals growing threat to tropical forests. *Nature Ecology & Evolution*, 5(6), p.845-853, 2021.
- HOEFFLER, A.E. The augmented Solow model and the African growth debate. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 64(2), pp.135-158, 2002.
- HOPEWELL, K. The transformation of state-business relations in an emerging economy: The case of Brazilian agribusiness. *Critical perspectives on international business*, 10(4), 291–309, 2014.
- HOUGHTON, R.A. Tropical deforestation as a source of greenhouse gas emissions. In: Mountinho, P., Schwartzman, S. (Eds.), *Tropical Deforestation and Climate Change*. IPAM - Belém/Brazil and Environmental Defense – Washington/DC, p.13–21. 2005.
- IM, K.S.; PESARAN, M.H.; SHIN, Y. Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics* 115: 53–74, 2003.
- IPEADATA, Dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível on line em: <http://ipeadata.gov.br>. Acesso em Janeiro/2025.
- IQBAL, N.; DALY, V. Rent seeking opportunities and economic growth in transitional economies. *Economic Modelling*, 37, pp.16-22, 2014.
- ISLAM, N. Growth Empirics: A Panel Data Approach. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 110, pp. 1127–70, 1995.
- JANONE, L. Brasil lidera ranking mundial de desmatamento florestal em 2021. CNN/Brasil, 28/04/2022. <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/brasil-lidera-ranking-mundial-de-desmatamento-florestal-em-2021-diz-organizacao/>. Acesso em Abril/2025.
- JHA, S.; BAWA, K.S. Population growth, human development, and deforestation in biodiversity hotspots. *Conservation Biology*, 20(3), 906-912, 2006.
- KAPETANIOS, G.; MARCELLINO, M. Factor-GMM estimation with large sets of possibly weak instruments. *Computational Statistics & Data Analysis*, 54(11), 2655-2675, 2010.
- KLEIN, H.S.; LUNA, F.V. *Feeding the world: Brazil's transformation into a modern agricultural economy*. Cambridge University Press, 2019, 468p.
- LEÃO, L.; RIBEIRO, H.M.D.; BASTOS, S.Q.A.; HERMETO, A.M. Indicador de desenvolvimento institucional municipal: impactos sobre a economia dos municípios brasileiros. *Estudos Econômicos (São Paulo)*, 50, 733-766, 2021.
- LAGES, Lorena Marques Arêdes; FIRME, Vinícius de Azevedo Couto. O efeito de políticas monetárias antagônicas sobre a atividade econômica: uma análise baseada nos casos brasileiro e japonês. *Economia Aplicada*, São Paulo, Brasil, v. 27, n. 1, p. 5–34, 2023. DOI: [10.11606/1980-5330/ea184189](https://doi.org/10.11606/1980-5330/ea184189). Disponível em: <https://revistas.usp.br/ecoa/article/view/184189>.. Acesso em: 19 ago. 2025.
- LEVIN, A.; LIN, C.F.; CHU, C.S.J. Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics* 108: 1–24, 2002.
- LOPEZ, L.; WEBER, S. Testing for Granger causality in panel data. *The Stata Journal*, 17(4), pp.972-984, 2017.

- LOUZANO, J.P.D.O.; ABRANTES, L.A.; FERREIRA, M.A.M.; ZUCCOLOTTO, R. Causalidade de Granger do índice de desenvolvimento socioeconômico na gestão fiscal dos municípios brasileiros. *Revista de Administração Pública*, 53(3), pp.610-627, 2019.
- MANKIW, N.G.; ROMER, D.; WEIL, D.N. A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, v.107, n.2, p.407-437, 1992.
- MAP - Ministério da Agricultura e Pecuária. Balança comercial. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/exportacoes-do-agronegocio-fecham-2023-com-us-166-55-bilhoes-em-vendas>. Acesso em Abril/2025.
- MAPBIOMAS-BRASIL. Área de agropecuária no Brasil cresceu 50% nos últimos 38 anos. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2023/10/06/area-de-agropecuaria-no-brasil-cresceu-50-nos-ultimos-38-anos/>. Acesso em Abril/2025a.
- MAPBIOMAS-BRASIL. Em 2023, a perda de áreas naturais no Brasil atinge a marca de 33% do território. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/08/21/em-2023-a-perda-de-areas-naturais-no-brasil-atinge-a-marca-historica-de-33-do-territorio/>. Acesso: Abril/2025b.
- MASTERS, W.A.; MCMILLAN, M.S. Climate and Scale in Economic Growth. *Journal of Economic Growth*. v.6, p.167-186, 2001.
- MEHRHOFF, J. A solution to the problem of too many instruments in dynamic panel data GMM. *Deutsche Bundesbank, Discussion Paper* n.31, p.1-16, 2009
- MONTE, E.; AGUIAR, B.; SOUZA, R.C. Impactos do crédito sobre crescimento econômico dos municípios do Espírito Santo: Análises para o período de 2005 a 2015. *Economia Ensaios*, 36(1), 103-127, 2021.
- MS – Ministério da Saúde. Nota técnica sobre óbitos por causas evitáveis. Disponível em: [http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sim/Obitos\\_Evitaveis\\_5\\_a\\_74\\_anos.pdf](http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sim/Obitos_Evitaveis_5_a_74_anos.pdf). Acesso: Jan/2025.
- NASCIMENTO, A.D.S.; BITTENCOURT, M.V.L. Mercado de Crédito Como Determinante do Crescimento Econômico: evidências para os municípios brasileiros (2002-2018). *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, 17(1), 63-89, 2023.
- NORONHA, K.; FIGUEIREDO, L.; ANDRADE, M.V. Health and economic growth among the states of Brazil from 1991 to 2000. *Revista Brasileira de Estudos de População* 27(2), 269-283. 2010.
- OLIVEIRA, R.C.; ALMEIDA, E.; FREGUGLIA, R.D.; BARRETO, R.C. Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: uma análise da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia legal. *Revista de economia e sociologia rural*, 49, 709-739, 2011.
- PENDRILL, F.; PERSSON, U.M.; GODAR, J.; KASTNER, T. Deforestation displaced: trade in forest-risk commodities and the prospects for a global forest transition. *Environmental Research Letters*, 14(5), p.1-14, 2019.
- PERROUX, F. Economic space: theory and applications. *Quarterly Journal of Economics*, 64, p.89-104, 1950.
- PHAN, T.H.D.; BROUWER, R.; DAVIDSON, M. The economic costs of avoided deforestation in the developing world: A meta-analysis. *Journal of forest economics*, 20(1), 1-16, 2014.
- PINHEIRO, C.B.; FIRME, V.A.C. O efeito de políticas públicas e de características locais sobre o desenvolvimento econômico: uma análise empírica baseada nos municípios de Minas Gerais. *Nova Economia*, 32(03), 803-831, 2022.
- PRODES/INPE, *Projeto de Monitoramento do Desmatamento - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*. Disp.: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/>. Acesso em Janeiro/2025.
- RAIS, *Relação Anual de Informações Sociais*. Disp.: <https://bi.mte.gov.br/bgcaged/rais.php>. Acesso em Janeiro/2025.
- RITCHIE, H. Drivers of Deforestation. Our World in Data Organization (atualizada em maio/2024). Disponível em: <https://ourworldindata.org/drivers-of-deforestation>. Acesso em abril/2025.

- RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova economia*, 19, 41-66, 2009.
- ROCHA, S.J.S., *et al.* Ecological ICMS enables forest restoration in Brazil. *Land Use Policy*, 91, p.1-6, 2020.
- ROODMAN, D. How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata. *The stata journal*, 9(1), pp.86-136, 2009.
- ROSSONI, R.A.; MORAES, M.L. Agropecuária e desmatamento na Amazônia Legal Brasileira: uma análise espacial entre 2007 e 2017. *Geografia em Questão*, 13(3), p.130-148, 2020.
- SACHS, J.D. Macroeconomics and health: investing in health for economic development. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 12(2), 143-144, 2002.
- SANTOS, C.; FERREIRA, J. Dealing with confounding in observational studies. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 49(4), e20230281, 2023.
- SANTOS, R.P. Os principais fatores do desmatamento na Amazônia (2002-2007): uma análise econométrica e espacial. Centro de Desenvolvimento Sustentável/UnB (Dissertação), 2010.
- SHIKI, S.; SHIKI, S.F.N. Os Desafios de uma Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais: lições a partir do caso do Proambiente. *Sustentabilidade em debate*, 2(1), 99-118, 2011.
- SILVA, I.A.C.; MARCELINO, G.C.; PARRÉ, J.L. Determinantes do desmatamento nos municípios da Amazônia legal brasileira: uma análise econométrica espacial. Encontro ANPEC-Sul, 2020.
- SOARES, L. W. V.; FIRME, V. de A. C.; LIMA JÚNIOR, L. A. de. The impact of the monetary policy on the Brazilian equity market. *Brazilian Review of Finance*, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 70–96, 2021. DOI: 10.12660/rbfin.v19n1.2021.82149. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rbfin/article/view/82149>. Acesso em: 19 aug. 2025.
- STATA CORP. Stata: Longitudinal-Data/Panel-Data - Reference Manual. Release 16. Statistical Software. College Station, TX: StataCorp LLC, 2019, 588p.
- THIESE, M.S.; RONNA, B.; OTT, U. P value interpretations and considerations. *Journal of thoracic disease*, 8(9), p.928-931, 2016.
- ULLAH, S.; AKHTAR, P.; ZAEFARIAN, G. Dealing with endogeneity bias: The generalized method of moments (GMM) for panel data. *Industrial Marketing Management*, 71, p.69-78, 2018.
- VELOSO, F.A.; VILLELA, A.; GIAMBIAGI, F. Determinantes do "milagre" econômico brasileiro (1968-1973): uma análise empírica. *Revista Brasileira de Economia*, 62, 221-246, 2008.
- VIEIRA, M.; MENDONÇA, Y.C.M. Desmatamento da Mata Atlântica paranaense: análise espacial para o período 2014 e 2019. *Revista Catarinense de Economia*, 5(1), 46-57, 2021.
- WALKER, R. Deforestation and economic development. *Canadian Journal of Regional Science*, 16(3), 481-497, 1993.
- WEISSE, M.; GOLDMAN, E. Top 10 countries by total tree cover loss and tropical forest loss from 2001 to 2023. *Global Forest Review/World Resources Institute* (atualizada em abril/2024). Disponível em: <https://gfr.wri.org/top-ten-lists>. Acesso em abril/2025.
- WINDMEIJER, F. A finite sample correction for the variance of linear efficient two-step GMM estimators. *Journal of Econometrics* 126: 25–51, 2005.
- WOOLDRIDGE, J. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. 2<sup>nd</sup> Ed. The MIT Press, 1096p. 2010.
- WOOLDRIDGE, J. *Introdução à econometria: uma abordagem moderna*. 4<sup>a</sup> ed. Norte-Americana. São Paulo: Cengage Learning, 2010b, 701p.

ZAMBRANO-MONSERRATE, M.A.; CARVAJAL-LARA, C.; URGILÉS-SANCHEZ, R.; RUANO, M.A. Deforestation as an indicator of environmental degradation: Analysis of five European countries. *Ecological Indicators*, 90, p.1-8, 2018.

ZORTUK, M.; KARACAN, S. A comparison between ML-SEM and GMM: Military expenditures and economic growth nexus revisited. *Selected Topics in Applied Econometrics*, p.47-66, 2019.