



Universidade de Brasília – UnB

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas –

FACE

Departamento de Economia – ECO

Programa de Pós-Graduação em Economia – PPGE

Doutorado em Economia

**CRIMES AMBIENTAIS NO BRASIL:**

**Uma análise sob a ótica da economia do crime de Gary Becker**

**João Paulo Moreira de Carvalho Souza**

Brasília

2021

Professora Doutora Márcia Abrahão Moura  
**Reitora da Universidade de Brasília**

Professor Doutor Enrique Huelva  
**Vice-Reitora da Universidade de Brasília**

Professor Doutor Lúcio Remuzat Rennó Junior  
**Decano de Pesquisa e Pós-Graduação**

Professor Doutor Eduardo Tadeu Vieira  
**Diretor da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas  
Públicas**

Professor Doutor Roberto de Góes Ellery Júnior  
**Chefe do Departamento de Economia**

Professora Doutora Marina Delmondes de Carvalho Rossi  
**Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia**

JOÃO PAULO MOREIRA DE CARVALHO SOUZA

**CRIMES AMBIENTAIS NO BRASIL:**

**Uma análise sob a ótica da economia do crime de Gary Becker (1968)**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Economia do Programa de Pós-Graduação em Economia do Departamento de Economia da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas da Universidade de Brasília.

**Orientador:** Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Torres.

Brasília

2021

Universidade de Brasília – UnB  
Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas –  
FACE

Departamento de Ciências Econômicas – ECO  
Programa de Pós-Graduação em Economia – PPGE

JOÃO PAULO MOREIRA DE CARVALHO SOUZA

**CRIMES AMBIENTAIS NO BRASIL:**

**Uma análise sob a ótica da economia do crime de Gary Becker (1968)**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Economia do Programa de Pós-Graduação em Economia do Departamento de Economia da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas da Universidade de Brasília.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Torres.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Torres – Orientador  
PPGE/ECO/FACE/UnB

---

Profª. Dra. Claudeci da Silva – Membro  
UEM

---

Profª. Dra. Telma Cristina Silva Teixeira – Membro  
UEFS

---

Prof. Dr. Jorge Madeira Nogueira – Membro  
UnB

Brasília, \_\_\_\_\_ de fevereiro de 2021.

Aos meus pais, Rita de Cássia Carvalho e João Souza; à minha avó, Abigail Moreira de Carvalho (*in memoriam*); à Profa. Dra. Kil Hyang Park; e, à minha amiga Dra. Daniela Lima Ramos (*in memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus e aos meus pais.

Em segundo lugar, ao apoio da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS); à Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas da Universidade de Brasília (FACE-UnB); ao Departamento de Ciências Sociais Aplicadas (DCIS) e Colegiado de Economia da UEFS; e, à Pro-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PPPG) da UEFS.

Agradeço a orientação, a paciência e o apoio constante do meu orientador, Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Torres – o aprendizado foi imenso.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE) da UnB. Meu obrigado especial aos Profs. Drs. Jorge Madeira Nogueira e Marcelo de Oliveira Torres.

Meu obrigado à secretaria do PPGE-UnB, particularmente, às senhoras Joana e Carina.

Agradeço aos amigos da Pós: Valquíria, Claudiano, Arnóbio e Nadi.

Meu agradecimento especial à Waneska, pela paciência e pelo apoio.

Aqui faço um agradecimento muito especial à pessoa responsável por me apresentar o mundo acadêmico, que me fez ter paixão pela profissão de professor e que me incentiva constantemente a ser um ser humano, professor e pesquisador melhor, não importa quão difícil seja a conjuntura. Meu muito obrigado à Profa. Dra. Kil Hyang Park, a qual tenho imenso respeito, gratidão e carinho.

Não poderia deixar de agradecer a minha amiga/irmã Claudeci da Silva, cuja amizade data do mestrado e foi um presente de Deus na minha vida. Companheirismo, carinho, lealdade e respeito são palavras que definem nossa relação fraternal.

Agradeço aos amigos especiais: Edilane Pinho, Bruno Ribeiron e Érica Imbirussú.

Aqui não pode faltar meu muito obrigado aos membros da minha família: meu companheiro Luigi Persijn, meu amigo/irmão Pedro Ivo de Sá Guimarães, ao Sheldon e ao Bilbo (estes dois últimos, meus filhos caninos). Vocês foram fundamentais nesse processo. Muito obrigado!

## RESUMO

Crimes ambientais e seus impactos nos ecossistemas, assim como os custos de reparação ou mitigação associados, constituem assunto relevante e corriqueiro nas definições de políticas públicas, na discussão sobre desenvolvimento econômico e na determinação das possíveis legislações e aparatos institucionais, de gestão pública e de punição, que podem reduzir sua ocorrência. Seguindo tais pressupostos, o presente trabalho teve por objetivo principal fazer uma análise quantitativa dos fatores determinantes para a ocorrência de crimes ambientais no Brasil, para delitos selecionados, a exemplo daqueles contra à flora, fauna, desmatamento e queimadas. Buscou também identificar as características dos agentes que contribuem para ocorrência de desmatamento e/ou queimadas e sua relação com a estrutura institucional de combate a estes delitos. Além da contribuição metodológica com a construção de modelos econométricos para a análise desses determinantes e características, outras contribuições da tese podem ser destacadas: 1) montagem de extensa base de dados inédita com o tratamento do banco de dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e sua compatibilização e fusão com a Pesquisa de Informações Básicas Municipais 2017 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2) análise do número de ocorrências de crime ambiental e de subnotificações como variável latente com a aplicação de um modelo Tobit controlando para efeitos fixos; 3) tratamento criterioso da endogeneidade de variável-chave multas (punição); e, 4) Tratamento e construção da variável renda proveniente do cometimento de delitos ambientais. Os principais resultados corroboram em geral a hipótese de que agentes criminosos atuam racionalmente ao pesar os custos e benefícios de suas decisões. As estimações trazem evidências de que os principais determinantes da ampliação do número de crimes ambientais são a renda do crime, nível educacional e alguns tipos de atividade agropecuária. Os crimes ambientais em conjunto costumam ocorrer devido à falta de legislação ou instrumentos de gestão ambiental e com maior frequência em locais mais populosos, com gestores ambientais pouco qualificados e menos pluralidade em seus conselhos decisórios sobre desenvolvimento rural. Para os crimes ambientais em geral, estes locais estão localizados nas Regiões Norte e Nordeste e nos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Mais especificamente com relação ao desmatamento, verificou-se que este tende a ocorrer nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

**Palavras-chave:** Teoria Econômica do Crime. Dados em painel. Logit. Tobit. Crimes ambientais.

## ABSTRACT

Environmental crimes and their impacts on ecosystems, as well as the associated repair or mitigation costs, are a relevant and common subject in the definition of public policies, in the discussion on economic development and in the determination of possible legislation and institutional, public management and punishment mechanisms. , which can reduce its occurrence. Following these assumptions, the present work had as main objective to make a quantitative analysis of the determining factors for the occurrence of environmental crimes in Brazil, for selected crimes, such as those against flora, fauna, deforestation and fires. It also sought to identify the characteristics of the agents that contribute to the occurrence of deforestation and / or fires and their relationship with the institutional structure to combat these crimes. In addition to the methodological contribution to the construction of econometric models for the analysis of these determinants and characteristics, other contributions of the thesis can be highlighted: 1) assembly of an unprecedented extensive database with the treatment of the database of the Brazilian Institute of the Environment and the Renewable Natural Resources and their compatibility and fusion with the 2017 Basic Municipal Information Survey of the Brazilian Institute of Geography and Statistics; 2) analysis of the number of occurrences of environmental crime and underreporting as a latent variable with the application of a Tobit model controlling for fixed effects; 3) careful treatment of the endogeneity of the key variable fines (punishment); and, 4) Treatment and construction of the income variable from environmental crimes. The main results generally support the hypothesis that criminal agents act rationally when weighing the costs and benefits of their decisions. The estimates provide evidence that the main determinants of the increase in the number of environmental crimes are crime income, educational level and some types of agricultural activity. Joint environmental crimes often occur due to the lack of legislation or instruments for environmental management and more often in more populous locations, with poorly qualified environmental managers and less plurality in their decision-making boards on rural development. For environmental crimes in general, these locations are located in the North and Northeast Regions and in the States of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul. More specifically with regard to deforestation, it was found that this tends to occur in the North, Northeast and Center regions -West.

**Keywords:** Economic Theory of Crime. Panel data. Logit. Tobit. Environmental crimes.

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1	Quantidades de crimes ambientais registrados – Brasil – período 2011-	
–	2015.....	41
Gráfico 3.1	Proporção de crimes ambientais registrados por município – Brasil – ano	
–	2017.....	64
Gráfico 3.2	Proporção de crimes ambientais registrados por município para grandes	
–	regiões do Brasil – ano 2017.....	65

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Variáveis da oferta de crimes ambientais – Brasil – período 2011-2015.....	42
Quadro 3.1 – Variáveis da oferta de crimes ambientais para modelos Logit – Brasil – ano 2017.....	66
Quadro 4.1 – Variáveis da oferta de crimes ambientais para modelos Tobit – Brasil – período 2011-2015.....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Descrição das variáveis dos modelos de dados em painel – Brasil – período 2011-2015.....	38
Tabela 2.2 – Estimações para modelo de dados em painel com efeitos aleatórios.....	57
Tabela 2.3 – Resultados coeficientes (efeitos marginais em termos de elasticidade).....	59
Tabela 3.1 – Descrição das variáveis para os modelos Logit – Brasil – ano 2017.....	62
Tabela 3.2 – Resultados das estimções dos modelos Logit por características municipais – Brasil – ano 2017.....	68
Tabela 3.3 – Resultados das estimções dos modelos Logit por características municipais (em razões de probabilidade) – Brasil – ano 2017.....	72
Tabela 3.4 – Resultados das estimções dos modelos Logit por Regiões e Estados da Federação (em razões de probabilidade) – Brasil – ano 2017.....	74
Tabela 4.1– Descrição das variáveis dos modelos Tobit – Brasil – período 2011-2015.....	78
Tabela 4.2 – Resultados das estimções dos modelos Tobit por características municipais (coeficientes não normalizados) – Brasil – período 2011-2015.....	85
Tabela 4.3 – Resultados das estimções dos modelos Tobit por características municipais (variáveis normalizadas) – Brasil – período 2011-2015.....	86
Tabela 4.4 – Resultados das estimções do efeito Tobit para crimes contra a flora – Brasil – período 2011-2015.....	88
Tabela 4.5 – Resultados das estimções do efeito Tobit para crimes contra a flora e/ou fauna – Brasil – período 2011-2015.....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BM	- Banco Mundial
BRICS	- Brasil, Rússia, Índia, China, África do Sul
DCIS	- Departamento de Ciências Sociais Aplicadas
Dr.	- Doutor
Dra.	- Doutora
EAU	- Emirados Árabes Unidos
EUA	- Estados Unidos da América
EUROSTAT	- Escritório de Estatísticas da União Europeia
FACE	- Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas
FIRMS	- <i>Fire Information for Resource Management System</i>
Fundação SEADE	- Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
ha	- Hectare(s)
hab.	- Habitante(s)
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
km <sup>2</sup>	- Kilômetros quadrados
n.	- Número
NASA	- <i>National Aeronautics and Space Administrati</i>
OCDE	- Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONG	- Organização Não Governamental
ONU	- Organização das Nações Unidas
PCDF	- Polícia Civil do Distrito Federal
PIB	- Produto Interno Bruto
PNUD	- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPGE	- Programa de Pós-Graduação em Economia
PPPG	- Pro-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Prof.	- Professor

Profa.	- Professora
PSDB	- Partido da Social Democracia Brasileira
R\$	- Real
SIDRA	- Sistema IBGE de Recuperação Automática
SSP-SP	- Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo
TSE	- Tribunal Superior Eleitoral
UNFCCC	- <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
US EPA	- <i>United States Environmental Protection Agency</i>
WDI	- <i>World Development Indicators</i>
WWF	- <i>World Wide Fund for Nature</i>

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1 TEORIA ECONÔMICA DO CRIME</b> .....	<b>20</b>
1.1 MODELO DE GARY BECKER .....	20
1.2 CRIME AMBIENTAL SOB A ÓTICA DE BECKER .....	25
1.3 CRIMES AMBIENTAIS E DETERMINANTES: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS .....	28
<b>2 CRIMES AMBIENTAIS E PUNIÇÃO: UMA ANÁLISE DO PAPEL DAS MULTAS NA MITIGAÇÃO DE CRIMES AMBIENTAIS</b> .....	<b>36</b>
2.1 BASE DE DADOS.....	37
2.2 MODELO EMPÍRICO .....	38
2.3 MULTAS COMO VARIÁVEL ENDÓGENA .....	42
2.4 ESTIMAÇÃO DA RENDA DO CRIME .....	46
2.5 RESULTADOS .....	48
2.6 EFEITOS MARGINAIS E ELASTICIDADES.....	58
<b>3 DESMATAMENTO E QUEIMADAS NO BRASIL: ANÁLISE DOS DETERMINANTES SOB A ÓTICA INSTITUCIONAL</b> .....	<b>60</b>
3.1 BASE DE DADOS.....	60
3.2 MODELO EMPÍRICO .....	63
3.3 ESTIMAÇÃO .....	69
3.4 INTERPRETAÇÃO EM TERMOS DE RAZÃO DE PROBABILIDADE.....	70
<b>4 OCORRÊNCIA, SUBNOTIFICAÇÃO E IMINÊNCIA DE CRIMES AMBIENTAIS NO BRASIL</b> .....	<b>77</b>
4.1 BASE DE DADOS.....	78
4.2 MODELO EMPÍRICO.....	79
4.3 ESTIMAÇÃO DOS MODELOS TOBIT.....	84
4.4 SUBNOTIFICAÇÃO E IMINÊNCIA DE CRIMES AMBIENTAIS: ESTIMAÇÃO DE VARIÁVEIS LATENTES POR MEIO DA DECOMPOSIÇÃO DO EFEITO TOBIT.....	86
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>90</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>93</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>104</b>
<b>APÊNDICE A – QUADROS</b> .....	<b>105</b>
<b>APÊNDICE B – GRÁFICOS</b> .....	<b>108</b>
<b>APÊNDICE C – TABELAS</b> .....	<b>113</b>
<b>APÊNDICE D – TEORIA</b> .....	<b>121</b>

## INTRODUÇÃO

Em suas degradantes e distintas manifestações é o termo negacionismo, aquele que, tragicamente, representaria a narrativa da atual condição ambiental do Planeta? Talvez. Não importa em que instâncias sociais, econômicas e institucionais, quando nos colocamos a pensar as condições em que se encontram a fauna e a flora e os planos de ação para reduzir as mudanças climáticas, os danos e os crimes ambientais que, inúmeras vezes, as precederam, é a ele que se recorre para ocultar a verdade ou desmentir a gravidade de um problema ainda em curso.

Mais do que uma apropriação irrefletida, é por sua notoriedade que o escolhemos para iniciar esta tese e porque, sem dúvidas, torna-se ainda mais importante quando opera por ele e através dele a “oferta de crimes” sobre os crimes ambientais no Brasil.

A crise do clima, antagônica ao negacionismo, é vista como responsável por uma série de catástrofes globais, representando cenários extremos que antes eram difíceis de se imaginar: inundações cada vez mais altas em Veneza; o ciclone Idai, em Moçambique, em 2019; os grandes incêndios florestais registrados na Califórnia, em 2018, e, na Austrália, em 2019 (JACOBI *et al.*, 2020).

Da América do Sul, a Amazônia funciona como um gigantesco regulador do clima do planeta e a floresta, o desmatamento e as queimadas que recaem sobre ela estão intimamente correlacionados. Durante os anos de 2005, 2007 e 2010, segundo Copertino *et al.* (2019), foram incendiados 85 mil km<sup>2</sup> e liberados no ar entre 200 e 600 milhões de toneladas de carbono. Salienta-se que o desmatamento, juntamente com as queimadas, prejudica o equilíbrio do ciclo hidrológico e altera os regimes de chuvas na floresta assim como eleva as ocorrências de grandes tempestades nas regiões sul e sudeste do Brasil. Aqueles autores reforçam que “a Amazônia já entrou em um novo regime de clima mais quente e altamente variável, com estações secas mais prolongadas e intensas” (COPERTINO *et al.*, 2019, p. 05). Resultado disso é que as queimadas se espalham com mais facilidade e vão além das áreas desmatadas para a atividade agrícola, ampliam as emissões de carbono e diminuem a capacidade de estocar e reciclar nutrientes, interferindo no ciclo global de carbono.

Sinais sugerem que essa situação tem se agravado recentemente com o claro enfraquecimento das políticas de proteção ao meio ambiente e aos direitos humanos, ameaçando as metas assumidas pelo País no Acordo de Paris, os povos indígenas e quilombolas. Dados do *World Wide Fund for Nature* (WWF) (2020) sugerem que, entre 1º de janeiro de 2020 a 31 de agosto de 2020, a ocorrência de queimadas foi cerca de 39% superior aos últimos 10 anos. Entre 1º de setembro e 14 de setembro de 2020, houve um aumento de 86% nos focos

de queimadas registrados na Amazônia brasileira e até agosto de 2020 foram registrados 66,5% do montante de focos de incêndio para todo o ano de 2019.

De maneira semelhante, o aumento significativo dos incêndios florestais australianos está intimamente ligado às secas prolongadas e às ondas de calor e sua relação com as mudanças climáticas, sendo um resultado direto do fato de que o ano de 2019 foi o segundo mais quente já registrado e tendo 2020 uma clara tendência de continuidade deste fenômeno (JACOBI *et al.*, 2020). Segundo Jacobi *et al.* (2020, p. 02), “o desmatamento, o aquecimento global do qual decorrem as mudanças climáticas e o risco de incêndios florestais estão diretamente conectados, como reflexo do efeito de retroalimentação” devido à ampliação da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera terrestre. Aqueles autores ressaltam que incêndios florestais liberam anualmente o equivalente à metade das emissões resultantes da queima de carvão em todo o Planeta e que os incêndios registrados na Austrália emitiram uma quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente a 50% das emissões que o país produziria em um ano.

Os incêndios florestais, recorrentes na Califórnia, tiveram um aumento significativo devido à elevação das secas intensificadas pelo aquecimento global, como demonstram Keeley e Syphard (2016). Dados da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), 2020), por meio da plataforma *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS), mostram que os incêndios identificados foram os maiores já registrados, com destaque para aqueles que ocorreram na Califórnia, no Brasil (principalmente na Floresta Amazônica e Pantanal), nas savanas e pradarias africanas, na Austrália e até mesmo no Ártico Siberiano (BBC, 2020).

Aguardado como um divisor para a proteção do planeta, o ano de 2020 começou anos antes, com propósito estabelecido em 2016, na 21ª Conferência das Partes (COP21) da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), em Paris. A partir dela, o negacionismo a que nos referimos pode ser refutado e com base em um acordo enfatizou-se a necessidade de repensarmos o modo como lidamos com o planeta em que vivemos. O fato é que as queimadas em larga escala registradas nos Estados Unidos da América (EUA), Austrália, Brasil, Indonésia, dentre outra série de nações, demonstra a dimensão global do problema que se impõe sobre o meio ambiente, com claro agravamento nos últimos anos.

A relação daqueles acontecimentos com o aquecimento global, associado a um ciclo de retroalimentação entre queimadas/desmatamento e a emissão de gases do efeito estufa, deixa evidente a importância com que deve ser tratada esta temática e dos estudos que visem analisar as degradações de maneira a trazer subsídios para a mitigação e redução dos crimes ambientais, sejam estes contra a flora ou a fauna que, relacionados, tomam ainda mais espaço no cenário político e, conseqüentemente, merecem outras e adequadas leis e políticas públicas.

Nesse contexto de fragilidade e ameaça à vida, a identificação e redução de crimes ambientais se tornam de extrema relevância. Dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (2020) mostram que o número de crimes ambientais registrados no Brasil caiu 26% no período 2011-2014, entretanto, apresentou um aumento de cerca de 8,35% em 2015 quando comparado ao ano de 2014. Os crimes contra a flora ocorrem majoritariamente nas regiões Norte e Centro-Oeste e percebe-se uma pequena queda do número de ocorrências no período 2011-2012, com aumento paulatino no período 2012-2015.

De acordo com o IBAMA (2020), foram registrados no período 2011-2015 um total de 48102 crimes contra a fauna e à flora nos municípios brasileiros. Quando considerados todos os crimes ambientais<sup>1</sup>, o número é ainda maior perfazendo 84.043 crimes ambientais para o mesmo período. Nas grandes regiões brasileiras, verifica-se que a maioria das ocorrências é registrada nas regiões Norte e Nordeste, principalmente. Nota-se também uma redução de todos os crimes no período 2011-2014, porém com elevação em todas as regiões quando considerado o ano de 2015 em comparação com o anterior.

Alguns dados da Pesquisa de Informações Básicas Municipais, ano de 2017, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020a), cerca de 70% dos municípios do Brasil tiveram registro de algum crime ambiental<sup>2</sup>, merecendo destaque a incidência do desmatamento e queimadas. Acerca destes últimos, respectivamente, foram notificadas ocorrências para 20% e 32% dos 5570 municípios brasileiros. Ainda segundo dados do IBGE (2020a), quando analisados de maneira desagregada os crimes ambientais, particularmente aqueles relacionados à poluição de algum corpo d'água, contaminação do solo (por fertilizantes, agrotóxicos), degradação de áreas legalmente protegidas, diminuição da biodiversidade (seja da fauna ou flora), verificou-se que a proporção de municípios brasileiros que registrou pelo menos uma ocorrência de um deles foi de 15,26%, 3,9%, 4,27% e 5%, respectivamente. Ao serem consideradas as Grandes Regiões do Brasil, quase 38% dos municípios da região Nordeste

---

<sup>1</sup> Crimes contra a fauna, flora, controle ambiental, ao ecossistema, contra o ordenamento urbano e controle patrimonial, biopirataria, pesca, contra unidades de conservação, cadastro técnico federal, outros.

<sup>2</sup> Neste trabalho, foram considerados como crimes ambientais, devido as características do banco de dados da Pesquisa de Informações Básicas Municipais 2017 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2017) e da Lei de Crimes Ambientais (Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998) (BRASIL, 1998), as seguintes ocorrências: condições climáticas extremas (secas, enxurradas), poluição do ar, poluição de algum corpo d'água, assoreamento de algum corpo d'água, diminuição da vazão de algum corpo d'água, desmatamentos, queimadas, contaminação do solo (por agrotóxicos, fertilizantes), perda de solos por erosão e/ou desertificação (voçorocas, arenização), degradação de áreas legalmente protegidas, diminuição da biodiversidade (fauna e flora), existência de moradia em situação de risco ambiental, falta de saneamento (destinação inadequada do esgoto doméstico), entre outros. Importante salientar que o IBGE, na pesquisa em questão, não especificou de maneira desagregada, quais crimes se referem à categoria Outros.

registraram algum tipo de crime ambiental, seguidos por 27% na região Sudeste, 18% na região Sul, 9% na região Norte e 8% na região Centro-Oeste.

Do ponto de vista jurídico, crimes ambientais são devidamente tratados pela Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Lei de Crimes Ambientais) (BRASIL, 1998). O crime ambiental, nesta perspectiva legal, pode ser considerado todo e qualquer crime causado à flora, fauna, recursos naturais e ao patrimônio cultural (DURAM; MARTINS, 2019).

Se por um lado há um relativo consenso, ao menos do ponto de vista jurídico, sobre o que deve ser considerado crime ambiental, o mesmo não se pode dizer sobre porque eles ocorrem. Legislação inadequada? Alto retorno financeiro proveniente da atividade criminosa, baixa probabilidade de captura e punição? Gestores incapazes? Atividade econômica? Neste ponto, vale evidenciar o papel importante que a pesquisa acadêmica pode ter, particularmente, a análise de crimes sob a perspectiva da teoria econômica.

Na teoria econômica, a análise de crime remonta aos trabalhos de Fleisher (1963, 1966) e Ehrlich (1967), porém, é com Becker (1968) que a análise ganha em formalização. Sob o paradigma marginalista, essa teoria, que será mais detalhada a seguir, parte da concepção de que tantos produtores quanto consumidores otimizam suas decisões no mercado buscando maximizar lucros e satisfação. O setor ilícito se constitui em um ramo da atividade econômica e sua magnitude depende de condições de mercado relacionadas ao nível de benefício líquido que o indivíduo poderá obter dedicando-se a atividades ilícitas no lugar de usar seu tempo com ocupações lícitas. Neste modelo, o potencial criminoso também pondera os custos de adentrar na atividade criminosa, sendo estes associados à probabilidade de o criminoso ser identificado, julgado e punido, bem como às penas e sanções punitivas.

Pela própria caracterização da natureza dos crimes à fauna e a flora, estabelecida pela Lei de Crimes Ambientais, há fatores motivacionais que podem sugerir que os ofensores (sejam estes indivíduos ou empresas) busquem realizar uma análise direta e/ou indireta de custo-benefício ao decidir se pratica ou não os atos criminosos compreendidos pela Lei brasileira. Lembremos que, mesmo quando não há ganhos monetários diretos associados à prática da atividade ilícita, pode existir uma percepção de utilidade relacionada à prática do ganho. Esta percepção seria, então, considerada o benefício potencial percebido pelo infrator.

De outro lado, a também percepção por parte do infrator em potencial de uma possível penalização (aprisionamento, multas, sensação de impunidade etc.), ou não percepção da prática do crime ambiental, constitui uma análise de custo que ele relaciona à prática criminosa. Desta maneira, os crimes ambientais poderiam ser resultado de uma análise de custo-benefício realizada por parte dos agentes na economia. Em outras palavras, é factível supor que, ao menos

de forma implícita, os agentes na forma de indivíduos ou firmas ajam de forma racional e ponderem os custos e os benefícios *a la* Becker associados com ações ambientais que sob as normas regulatórias vigentes são consideradas crimes.

A presente tese se insere na literatura sobre determinantes de crimes ambientais, mas como se verá mais adiante, ela vai além ao preencher diversas lacunas, sejam relacionadas ao tema em si, às metodologias empíricas utilizadas ou abrangência geográfica. Com relação aos crimes causados à flora e à fauna o foco de análise se dá, diferentemente dos estudos existentes, na relação entre a capacidade governamental local de identificação e punição e a ocorrência de crimes. Com relação a desmatamento e queimadas, o objetivo se dá da investigação da relação entre ocorrência de crimes ambientais e a estrutura institucional de combate a estes delitos. Para tanto, utiliza-se uma extensa base de dados inédita derivada do banco de dados do IBAMA e sua compatibilização e fusão com a Pesquisa de Informações Básicas Municipais, ano 2017, do IBGE.

Vale salientar também a amplitude geográfica, a diversidade de tipos de crimes ambientais aqui utilizados, assim como as metodologias empíricas utilizadas na modelagem econométrica. Aqui vale destacar o uso da decomposição do efeito Tobit e sua contribuição para a estimação da probabilidade associada ao crime ambiental como variável latente<sup>3</sup>. Desta maneira, o modelo Tobit nos permite contornar a enorme subnotificação das ocorrências, problema que é muitas vezes corriqueiro quando se lida com dados relacionados a ocorrência de crimes, sejam estes contra o indivíduo, patrimônio ou delitos ambientais. Com isto, a análise a partir de uma abordagem econométrica, traz ainda maior robustez para as evidências encontradas. Outro ponto importante tratado diz respeito ao uso de variáveis instrumentais para contornar o problema de endogeneidade da variável explicativa “multa” que é simultaneamente determinada com a variável dependente (ou de interesse) “crime” (BARROS; VRIES, 2017).

A tese que se desenrola a seguir, estará organizada em cinco seções além desta introdução. Na seção seguinte, discute-se e apresenta-se a literatura teórica e empírica sobre a Teoria Econômica do Crime e sua aplicação ao crime ambiental. A construção da base de dados, os métodos de análise, a definição das variáveis utilizadas e os modelos empíricos para este estudo, assim como os resultados encontrados, estão nas seções dois, três e quatro. Por fim, são feitas as considerações finais.

---

<sup>3</sup> Variável latente é aquela para a qual valores foram censurados ou truncados de modo que não representam adequadamente as características do fenômeno em questão. No caso deste trabalho, o número de crimes pode ser representado como uma variável latente seja por problemas de subnotificação ou pelo simples fato de não haver mesmo a ocorrência de crime ambiental, mas dadas as características do município, a ocorrência pode ser definida como iminente.

## 1 TEORIA ECONÔMICA DO CRIME<sup>4</sup>

Este tópico tem por objetivo apresentar os principais pontos da Teoria Econômica do Crime de Gary Becker, a partir daí se fez uma adaptação do modelo para os crimes ambientais, o qual foi utilizado como base para as análises econométricas desta tese. Também foi feita uma revisão das principais evidências empíricas sobre os crimes ambientais e seus determinantes, considerando tanto os trabalhos nacionais quanto internacionais.

### 1.1 MODELO DE GARY BECKER

As contribuições da Economia para a análise do crime podem ser divididas em basicamente dois grupos. Um que trata dos fatores que fazem com que um determinado agente se torne vítima de um crime e outra que trata dos fatores que fazem com que um agente cometa um crime. Exemplos do primeiro incluem as contribuições iniciais feitas por Hindelang, Gottfredson e Garofalo (1978) em seu Modelo de Vitimização Pessoal e Estilo de Vida onde os autores tentam entender a relação que pode existir entre o estilo de vida de cada pessoa e o fato de sofrer ou não algum delito. Seus resultados sugerem que a chance de sofrer um crime irá depender do estilo de vida de cada um, a exemplo das rotinas relacionadas as atividades laborais, domésticas e de lazer.

Pelo modelo, as expectativas individuais irão desempenhar um importante papel, já que o comportamento de cada pessoa na sociedade estará sujeito a interferência que normas culturais têm na determinação dos padrões de ação na sociedade. Segundo aqueles autores, outras restrições também são importantes para a determinação deste estilo de vida e sua relação com a probabilidade de vitimização, dentre os quais destacam-se: características demográficas, cultura, exposição individual a determinados locais e a situações específicas. Algumas condições devem ser atendidas para que o indivíduo sofra um delito:

- 1) Criminoso e vítima devem se encontrar no dia-a-dia;
- 2) Criminoso deve notar a possível vítima como sendo atrativa; e
- 3) Ofensor deve estar disposto a usar de alguma forma de coerção contra a vítima do crime.

---

<sup>4</sup> Além dos autores Becker (1968), Fleisher (1963, 1966), Ehrlich (1967, 1973), Hindelang, Gottfredson e Garofalo (1978), Cohen, Kluegel e Land (1981), este tópico também foi baseado em Chawwa, Hernandez e Paul (2012), e Souza e Cunha (2012, 2015).

Com base no trabalho de Hindelang, Gottfredson e Garofalo (1978), Cohen, Kluegel e Land (1981) propõem o Modelo de Oportunidade de Vitimização Predatória, passando a relacionar este padrão de ação individual associado ao estilo de vida juntamente com a probabilidade de encontro entre criminoso e estas possíveis vítimas, considerando também as atitudes que cada indivíduo pode tomar no dia a dia com vistas a reduzir a chance deste encontro ocorrer e assim não ser vitimado por um delito. A questão principal aí consiste em identificar como características individuais, a exemplo de idade e renda, podem determinar se o indivíduo poderá sofrer ou não uma ofensa contra ele. Aqueles autores tentam estabelecer uma conexão entre desigualdade social e cinco variáveis que ajudam a determinar a probabilidade de sofrer um crime: exposição individual a lugares e situações, proximidade física entre o criminoso e a possível vítima, ação que pessoas podem tomar para evitar a vitimização, atratividade da vítima para o criminoso, características relacionadas ao tipo de crime (por exemplo, furto geralmente envolve pequenos valores).

Já no segundo grupo, os trabalhos seminais são os de Fleisher (1963, 1966) e Ehrlich (1967). Porém, é com Becker (1968) que o tema sobre determinantes da ocorrência de crimes se incorpora no campo das Ciências Econômicas através da formalização matemática. Autores nesse grupo partem do pressuposto que os agentes otimizam suas decisões, assim o crime se constitui em um ramo da atividade econômica e depende de condições de mercado. Seus modelos de análise buscam responder quais são os recursos necessários ao combate do crime e quais punições seriam ideais para se fazer valer as legislações vigentes. Desta maneira, adota-se o pressuposto de que há um nível ótimo de ocorrências criminais que minimize os custos sociais.

Subjacente ao pensamento desses autores está a ideia de que o Estado seria incapaz de combater de modo eficaz determinados delitos e daí surge a necessidade de se criar as legislações que tentam dirimir e/ou coibir esses tipos de ações. Estas afetam as pessoas de maneiras diversas de forma direta ou indireta. Para os autores, a probabilidade do criminoso ser descoberto e julgado bem como a natureza do crime e o tipo de punição diferem muito de indivíduo para indivíduo e de delito para delito. Neste sentido, apesar dessa heterogeneidade, existem propriedades consideradas comuns para todas as legislações. Conseqüentemente, a obediência à lei não é algo garantido (recursos têm que ser gastos para combater os atos ilícitos!) e a condenação não é necessariamente uma punição suficiente, às vezes, sendo indispensável o estabelecimento de penas mais severas.

O trabalho desenvolvido nesta Tese se insere neste segundo grupo de estudos e mais especificamente se baseia, em termos teóricos, em Becker (1968), que pretende identificar os

recursos e punições que devem ser usados para fazer cumprir diferentes tipos de legislação de modo a minimizar os custos sociais advindos de atividades criminais e dar, assim, suporte a políticas públicas e privadas que visem combater as atividades ilícitas. Em seu modelo, Becker busca incorporar relações comportamentais por trás dos custos associados à atividade criminosa. Ele divide esses custos em cinco categorias, a saber:

- 1) Quantidade de ocorrência de crimes e os custos derivados destes;
- 2) Número de ofensas e penas aplicadas;
- 3) Número de crimes, prisões e condenações e as despesas públicas com policiamento e justiça;
- 4) Quantidade de condenações e custos associados ao aprisionamento ou outros tipos de punições; e
- 5) Número de ofensas e gastos privados em proteção e apreensão.

Mais especificamente seu arcabouço teórico começa com a definição de dano social derivado do crime como:

$$H_i = H_i(O_i), \quad (1.1)$$

onde  $H_i$  é o *harm* ou dano provocado pela *offense*,  $O_i$ , relacionados a  $i$ -ésima atividade criminosa. Supõe-se que o dano social com a atividade ilícita aumenta a taxas decrescentes com o nível de atividade criminosa, isto é,  $H'_i = \frac{dH_i}{dO_i} > 0$  e  $H''_i < 0$ .

Assumindo somente um tipo de delito, pode-se abstrair da Equação (1.1) o subscrito  $i$ , e definir o retorno para os infratores como medido por  $G$ , o qual aumenta a taxas decrescentes com  $O$ . Isto é,  $G = G(O)$ , e  $G' = \frac{dG}{dO} > 0$  e  $G'' < 0$ .

A diferença entre o dano e retorno agregados,  $H$  e  $G$  respectivamente, é o custo líquido social  $D$ . Ou seja,

$$D(O) = H(O) - G(O). \quad (1.2)$$

Assume-se que os infratores recebem ganhos marginais decrescentes e causem danos marginais crescentes por ofensas adicionais. Isto é,  $G'' < 0$ ,  $H'' > 0$ , e  $D'' = H'' - G'' > 0$ .

Policiais e todo o aparato legal (juizes, advogados etc) incorrem em um determinado nível de atividade  $A$  para coibir as ofensas  $O$ . Para tanto eles usam mão-de-obra ( $m$ ), materiais ( $r$ ) e capital ( $c$ ). Em outras palavras pode-se pensar em uma função de produção de atividade contra o crime como  $A = f(m, r, c)$ . O custo com  $A$  é definido por  $C$ , ou seja,

$$C = C(A), \quad (1.3)$$

com  $C' = dC/dA > 0$ . Isto é, dados os preços dos insumos e a tecnologia de produção de  $A$ , quanto maior  $A$ , maior o custo.

Como  $A$  não é diretamente observável, assume-se, que essa variável possa ser redefinida, como aproximação, pelo número esperado de ofensas que resultam na condenação do infrator ou *cleared by conviction*. Ou seja,

$$A \cong pO, \quad (1.4)$$

onde  $p$  é a razão entre as ofensas que resultam em condenação e o número total de ofensas  $O$ . Isto é,  $p$  é a probabilidade de que uma ofensa vá resultar em condenação. Substituindo (1.4) em (1.3) de forma que  $C = C(pO)$  e diferenciando  $C$  com relação a  $p$  e  $O$ , temos

$$\frac{\partial C(pO)}{\partial p} = C'O > 0 \text{ e } C_o = \frac{\partial C(pO)}{\partial O} = C'p > 0 \quad (1.5)$$

se  $pO \neq 0$ . A Equação (1.5) implica que tanto um aumento na probabilidade de condenação como no número de ofensas causa um aumento nos custos totais.

Reconhecendo que a forma funcional representada pela Equação (1.4) é muito restritiva ao presumir que  $A$  se resume a condenações esperadas, Becker generaliza  $A$  ao redefini-la como  $A = h(p, O, a)$ , ao assumir que  $A$  segue alguma forma funcional mais geral e que além de ter como argumentos  $p$  e  $O$ , ela é também função de  $a$  (número de aprisionamentos). Sob essa nova definição de  $A$ , o custo  $C$  se torna também função de  $p$ ,  $O$  e  $a$ , isto é

$$C = C(p, O, a). \quad (1.6)$$

Um indivíduo cometerá um delito se a utilidade esperada dele for maior que a utilidade que ele pode obter com outras atividades. Adentrar na atividade criminosa se deve então a uma relação de custo-benefício ponderada pelo indivíduo e não pelas diferentes motivações entre as

peessoas. Então a ocorrência de crime dependerá da probabilidade de condenação, punição e outras variáveis como a renda disponível para ele em atividades lícitas e ilícitas bem como a chance de ser pego. Assim, para um agente  $j$ , o número de ofensas que ele comete  $O_j$  é definido por

$$O_j = O_j(p_j, f_j, u_j), \quad (1.7)$$

Onde  $O_j$  é o número de ofensas cometidas pelo indivíduo  $j$ ;  $p_j$  é a probabilidade de condenação associada ao indivíduo  $j$ ;  $f_j$  é a punição associada ao indivíduo  $j$ ; e,  $u_j$  são as outras influências que podem levar o indivíduo  $j$  a cometer o crime.

Aumentos em  $p_j$  ou  $f_j$  provocam uma diminuição da utilidade esperada do crime e reduzem sua oferta. Assim, espera-se que  $O_{p_j} = \partial O_j / \partial p_j < 0$  e  $O_{f_j} = \partial O_j / \partial f_j < 0$ .

Para Becker, mudanças na forma de punição, de multa para prisão, por exemplo, poderiam reduzir o número de crimes, mesmo que por determinado período de tempo, pois elas afetam a renda esperada da ofensa  $EY_j$ , onde

$$EY_j = p_j(Y_j - f_j) + (1 - p_j)Y_j = Y_j - p_j f_j \quad (1.8)$$

e a utilidade esperada a partir da atividade criminosa,  $EU_j$ , onde:

$$EU_j = p_j U_j(Y_j - f_j) + (1 - p_j) U_j(Y_j) \quad (1.9)$$

A função que representa  $O_j$  na Equação (1.7) pode ser chamada de função oferta individual e considerando os valores médios de  $p$ ,  $f$  e  $u$ , e agregando  $O_j$  sobre todos os indivíduos  $j$ , chega-se à função oferta agregada de crime,

$$O = O(p, f, u) \quad (1.10)$$

Conforme as funções individuais, presume-se que  $O$  siga as mesmas propriedades, em particular que  $O$  é negativamente relacionada com  $p$  e  $f$ .

## 1.2 CRIME AMBIENTAL SOB A ÓTICA DE BECKER

Analogamente ao modelo de Becker para crimes em geral, pode-se fazer uma adaptação de seus principais resultados para o caso mais específico de crimes ambientais e para a definição de uma função oferta de crimes. Parte-se do pressuposto de que o dano ambiental do tipo  $c$ ,  $HA_c$ , onde  $c$  pode ser desmatamento, danos à flora e à fauna, poluição de corpos d'água e do ar etc., aumenta com o número de delitos ambientais do tipo  $c$ ,  $OA_c$ , e analogamente a Equação (1.1) pode ser representada por uma função  $HA_c$ , definida como

$$HA_c = HA_c(OA_c) \quad (1.11)$$

com  $HA'_c = \frac{dHA_c}{dOA_c} > 0$  e  $HA''_c < 0$ .

O retorno para os infratores,  $GA$ , tende a aumentar com o número de infrações, assim  $GA$  é uma função de  $OA$ , isto é,  $GA = GA(OA)$ , sendo  $GA' = \frac{dGA}{dOA} > 0$  e  $GA'' < 0$ . E o custo líquido ou o dano para a sociedade  $HS$  é a diferença entre o dano e o ganho:  $HS(OA) = HA(OA) - GA(OA)$ .

A função de produção que determina a quantidade recursos destinados ao combate do crime ambiental é agora definida por  $P = f(n, m, k)$ , onde  $n$ ,  $m$  e  $k$  são, respectivamente, os níveis de mão-obra, materiais e capital empregado no combate.  $P$  é uma função da mão-de-obra, materiais e capital. Nesse contexto, o custo de aplicação da lei ambiental é uma função de  $P$ , é em termos gerais definida por

$$CT = CT(P) \quad (1.12)$$

onde  $CT$  é o custo de aplicação da lei, sendo uma função da atividade policial ou fiscalização, com  $CT' = \frac{dCT}{dP} > 0$ .

Como na Equação (1.4), assume-se que

$$P \cong pOA \quad (1.13)$$

onde  $p$  é a probabilidade do criminoso ser identificado e punido. Substituindo (1.13) em (1.12), chega-se a  $CT = CT(pOA)$ ,  $C' = \frac{\partial CT(pOA)}{\partial p} = CT'OA > 0$  e  $CT_A = \frac{\partial CT(pOA)}{\partial OA} = CT'p > 0$ .

Generalizando (1.13) para  $P = f(p, AO, a)$ , onde  $a$  é o número de aprisionamentos e substituindo em (1.12) chega-se a  $CT = CT(p, OA, a)$ .

De forma análoga ao modelo de Becker, um agente  $j$  pesa os custos e benefícios decorridos do crime e decide cometer  $OA_j$  crimes ambientais ao olhar para a sua probabilidade de condenação  $p_j$ , à punição caso condenado  $c_j$  e outras variáveis  $z_j$ , a exemplo da renda disponível para ele em atividades lícitas e ilícitas bem como a chance de ser identificado, preso e condenado. A oferta de crimes ambientais específica ao agente  $j$  pode então ser representada por

$$OA_j = OA_j(p_j, c_j, z_j) \quad (1.14)$$

No agregado, considerando todos os agentes, a quantidade total de crimes é dada pela soma de todas  $OA_j$  e dependerá do conjunto de variáveis  $p_j, c_j, z_j$ . Considerando os valores médios de  $p, c$  e  $z$ , a oferta agregada de crimes ambientais pode ser dada por:

$$OA = OA(p, c, z) \quad (1.15)$$

Devido a natureza dos crimes ambientais bem como os pressupostos da teoria, deve-se levar em consideração, na oferta, variáveis de caráter: institucional, regulatórias, punitivas (multas), juntamente com variáveis de controle e dos modelos que serão estimados. Diferentemente da abordagem original, a variável multa, *proxy* para punição, engloba neste trabalho apenas as multas aplicadas e não considera possíveis indenizações somadas a esta variável.

A partir da abordagem teórica de Becker (1968), juntamente com as evidências empíricas da literatura derivadas em grande parte da aplicação da teoria ao crime ambiental, como será mostrado no tópico subsequente, de maneira geral, algumas possíveis variáveis se destacam como *proxies* que influenciam em  $p, c$  e  $z$ . Assim, renda *per capita* (como representante do custo de oportunidade do crime), renda do crime, área destinada a lavouras, atividade agropecuária, escolaridade, instituições, punições (a exemplo das multas aplicadas), governança, densidade populacional; são exemplos pertinentes de variáveis a serem consideradas nos estudos que aplicam esta abordagem teórica à ótica do crime ambiental.

Por último, seguindo abordagem adotada por Uhr e Uhr (2015), a variável renda *per capita* (*proxy* para renda média) é considerada em termos de custo de oportunidade. Desta

maneira, esta não visa identificar o possível perfil de renda dos indivíduos que cometem o crime ambiental, mas sim o efeito que um aumento da renda média teria sobre a oferta destes crimes, já que ela representaria quanto o indivíduo deixaria de obter no mercado de trabalho lícito caso adentrasse na prática de atividades criminosas.

### 1.3 CRIMES AMBIENTAIS E DETERMINANTES: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

Os trabalhos sobre determinantes de crimes ambientais em uma perspectiva econômica são relativamente escassos tanto na literatura nacional como internacional. No Brasil, os principais exemplos são os de Ziero (2011), Uhr, Uhr e Mueller (2012), Uhr e Uhr (2014), Uhr e Uhr (2015), Ferreira e Coelho (2015), Ribeiro e Corrêa (2019), e Silva, Marcelino e Parré (2020).

Ziero (2011) buscou analisar o papel da regulação e dos agentes privados na degradação ambiental no Brasil. Para alcançar tais objetivos, aquela autora utilizou os arcabouços teóricos de crime de Becker (1968) e da curva de Kuznets ambiental. Os dados utilizados no trabalho foram de corte transversal derivados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) para os anos 2002, 2006 e 2007. As evidências encontradas indicam que tanto a regulação quanto a ação dos agentes privados são importantes na redução das ocorrências dos crimes ambientais no Brasil.

No caso de Uhr, Uhr e Mueller (2012), são utilizados dados da votação final da Lei de Crimes Ambientais – Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 – (BRASIL, 1998) e, por meio de um modelo Probit, com o objetivo de encontrar evidências de como as Organizações Não Governamentais (ONGs) ambientais conseguem influenciar a política ambiental brasileira, neste caso esta instituição é também considerada como um agente privado. O modelo proposto pelos autores se baseia na teoria da agência comum e estabelece que os principais agentes seriam: governo, produtores rurais, eleitores e organizações não governamentais. Os resultados encontrados pelos autores sugerem que há evidências de que os produtores rurais, as organizações não governamentais ambientais e a mídia conseguem interferir significativamente na política ambiental brasileira. Aqueles autores salientam que apesar de as ONGs terem peso no processo decisório, ele não seria superior ao exercido pelos ruralistas. Resultados encontrados também sugerem que há curva de Kuznets ambiental quando analisados os efeitos para as variáveis renda *per capita*.

Em outro trabalho, com vistas a testar o papel do regulador e do agente público no combate aos crimes ambientais no Brasil, Uhr e Uhr (2014) utilizaram-se do banco de dados de infrações ambientais do IBAMA para o período 2000-2011 e por meio de modelo de dados em painel com efeitos fixos, os autores estimam uma função oferta de crimes ambientais *a la* Becker. Os principais resultados indicam existir evidências de que um aumento no valor das multas aplicadas em um Estado da Federação e em Estados vizinhos provoca uma redução dos

autos de infração para os anos seguintes ao da aplicação da multa. Outra importante evidência encontrada sugere que as preferências da população podem influenciar na oferta de crimes ambientais. Assim ao se tentar identificar quais seriam os determinantes dos delitos em análise, é importante levar em consideração as características socioeconômicas das comunidades em que estes ocorrem. Na mesma linha, mas com base em dados de infrações ambientais do IBAMA para o período 2006-2007, Uhr e Uhr (2015) trazem evidências de que os agentes privados têm papel importante na redução dos crimes ambientais através de monitoramento.

Ferreira e Coelho (2015) e Ribeiro e Corrêa (2019) analisam os determinantes de crimes ambientais em um contexto mais macro. Os primeiros analisam por meio de dados em painel para o período 1999-2011 os determinantes do desmatamento para os Estados localizados na Amazônia Legal brasileira e sugerem que os preços agrícolas e as políticas governamentais têm grande influência na ocorrência deste crime ambiental. Já Ribeiro e Corrêa (2019), com o objetivo de identificar fatores socioeconômicos que determinam a ocorrência de crimes ambientais, utilizaram dados provenientes dos registros da Polícia Civil do Distrito Federal (PCDF) para o período 2013-2016 e, através de regressão linear multivariada, encontraram resultados que sugerem que apenas um contexto de privação social e econômica não podem ser atribuídos como únicos fatores responsáveis para a ocorrência dos crimes ambientais.

Por meio de um modelo *cross section* considerando os municípios da Amazônia legal brasileira no ano de 2017, utilizando de econometria espacial e de dados provenientes principalmente do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do IBGE, Silva, Marcelino e Parré (2020) buscam identificar os determinantes do desmatamento na região em questão. Com tal finalidade, os autores consideram as variáveis área de floresta preexistente, área colhida de lavoura, rebanho bovino, multas por auto de infração contra a flora, densidade demográfica, educação e renda. Alguns resultados destacam-se: aumento do rebanho bovino e da densidade demográfica ampliam desmatamento.

Vale salientar que esta Tese se diferencia desses estudos em diversas maneiras, como ficará mais evidente nas seções subsequentes, seja ampliando a contribuição para a literatura ao considerar uma base de dados maior e mais recente, maior número de categorias de crimes ambientais analisadas, abrangência geográfica mais ampla e a inclusão de aspectos institucionais em nível municipal. Em termos metodológicos os avanços vão na direção do tratamento da endogeneidade da variável multa e do problema de subnotificação de dados relacionados a número de ocorrências para os crimes ambientais. Esse controle da variável multa é crucial para se determinar a causalidade. Autores que não tratam a variável multa de

forma adequada tem encontrado resultados espúrios como por exemplo uma relação positiva entre multas e ocorrências criminais.

Há outros importantes estudos aplicados ao contexto brasileiro que merecem ser destacados, seja pelo tema ou metodologia, seja como fontes de variáveis a serem levadas em consideração na análise, embora não se encaixem diretamente na literatura de crimes ambientais sob a perspectiva econômica. Entre eles está o estudo de Assunção, Gandour e Rocha (2013). Partindo do argumento de que um ambiente institucional fraco pode provocar uma deficiente aplicação das leis de combate ao desmatamento, eles analisaram o impacto que as tecnologias de monitoramento por imagens via satélite em tempo real teriam no combate a este delito. Os dados utilizados são derivados de relatório do INPE, as informações são para o período 2006-2016 para municípios que apresentaram alguma alteração na cobertura florestal existente. Utilizou-se de uma variável instrumental como *proxy* para aplicação deficiente das leis, foram estimados modelos pelo método de mínimos quadrados em dois estágios (2SLS) para contornar potenciais problemas relacionados a endogeneidade entre atividades criminais e a aplicação da Lei. Os principais resultados indicam que fiscalização associada ao monitoramento via satélite efetivamente ajudam a restringir o desmatamento. O ponto principal aqui se deve no possível aumento da probabilidade do criminoso ambiental ser identificado e julgado (variável  $p$  do modelo de Becker (1968)) associado a maior fiscalização por meio de tecnologias de monitoramento via satélite.

Utilizando uma metodologia de painel dinâmico e dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), IBGE e do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) considerando os 445 municípios da região da Amazônia Legal para o período 1997-2006. Diniz *et al.* (2009) encontram evidências de uma causalidade unidirecional entre as variáveis população, *pib per capita*, educação, e desmatamento. De maneira semelhante, visando analisar os determinantes do desmatamento no Brasil, Arraes, Mariano e Simonassi (2012) utilizam de um modelo multinomial ordenado e dados do IPEA, IBGE e INPE e chegam a conclusão de que os seguintes fatores ajudam a reduzir o desmatamento: existência de órgão ambiental local, aumento da escolaridade da população, redução da desigualdade, leis que delimitem a fronteira agropecuária. Por outro lado, Machado (2009) sugere que políticas públicas que visem reduzir o desmatamento na Amazônia brasileira somente terão sucesso através do uso de mecanismos regulatórios com forte presença da ação do Estado, ressaltando a importância da governança.

Além desses exemplos na literatura nacional, há outros na literatura internacional que também merecem ser destacados seja porque tratam diretamente dos determinantes para

ocorrências de crimes ambientais (Stafford (2002), Almer e Goeschl (2010) e Lynch *et al.* (2016)); seja porque tangenciam a temática com a estimação de curvas ambiental de Kuznets (Tamazian, Chousa e Vadlamannati (2009), Shahbaz *et al.* (2013), Jeffords e Thompson (2016), e Audi e Ali (2018)); ou por analisarem relações entre aspectos sócio-econômicos e degradação ambiental em geral (sem focar na estimação da curva ambiental de Kuznets) (Halkos e Tzeremes (2012), Vu *et al.* (2014), Ali e Audi (2016a e 2016b), e Evans (2016)).

No estudo de Stafford (2002) verificou-se que o aumento significativo das penalidades aplicadas pela *United States Environmental Protection Agency* (US EPA), quanto a delitos relacionados ao descarte irregular de resíduos perigosos para o ano de 1991 foi crucial para induzir empresas a agirem conforme os regulamentos estabelecidos. Já Almer e Goeschl (2010) basearam-se em dados provenientes da Polícia Federal Criminal e do Escritório de Estatísticas Federais da Alemanha para o período 1995-2005 para encontrar evidências de que punições contra crimes ambientais tem efeito de dissuadir a ocorrência dos crimes. Assim, condenações contra ofensores se mostram importantes na redução dos delitos, o efeito provocado por este último fator seria ainda mais relevante do que a probabilidade de condenação e o valor das multas aplicadas. Mais recentemente, por meio da estimação da probabilidade de que um processo criminal ocorra nos Estados Unidos da América (EUA) para o período 1983-2013, Lynch *et al.* (2016) demonstram que a mera abertura destes processos tem um franco efeito dissuasor sobre a oferta de crimes ambientais.

Com a exceção deste último estudo, as principais evidências encontradas pelos estudos sejam nacionais ou internacionais corroboram o modelo da Teoria Econômica do Crime de Becker e sugerem que penalidades influenciam na ação das empresas e indivíduos para que sigam os regulamentos vigentes. Já a probabilidade de violar as regulações está principalmente associada ao aumento da chance de o agente ser fiscalizado e da quantidade de emissões.

Com relação à hipótese da curva ambiental de Kuznets, Tamazian, Chousa e Vadlamannati (2009), por meio de dados em painel, testou a hipótese para os países do BRICS (grupo formado por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) considerando o período 1992-2004. Resultados indicam a validação da suposição levantada e, desta maneira, o autor sugere que há evidências de que altas taxas de crescimento econômico estariam associadas a redução da degradação ambiental para o grupo de países estudados e no período considerado. Já Shahbaz *et al.* (2015) fazem uma análise focada na China para o período 1970-2012 e sugerem a confirmação da hipótese da existência da curva ambiental de kuznets para a realidade chinesa. Resultados trazem evidências que a globalização ampliou a renda *per capita* e provocou melhoria dos padrões tecnológicos da economia, o que contribuiu para reduzir a degradação do

meio ambiente no país. Mesma evidência também foi encontrada para Shahbaz *et al.* (2013), neste caso a análise foi realizada para a Romênia no período 1980-2010.

Expandindo a análise para 34 países e com base em dados do relatório *Deadly Environment Report* da ONG Global Witness, Jeffords e Thompson (2016) testam também a hipótese da existência de curva de Kuznets ambiental para o período 2002-2013. As principais evidências indicam existência da curva de Kuznets ambiental para os países analisados, corroborando resultados encontrados por Tamazian, Chousa e Vadlamannati (2009) e Shahbaz *et al.* (2013).

Ao utilizar dados do *World Development Indicator* (WDI) do Banco Mundial (BM) para o período 1980-2003 e por meio de dados em painel, o estudo de Audi e Ali (2018) abrangeu uma série de países: Jordânia, Emirados Árabes Unidos (EAU), Arábia Saudita, Argélia, Catar, Líbano, Egito, Bahrein, Irã, Marrocos, Israel, Kuwait, Omã e Tunísia. As evidências encontradas por aqueles sugerem que os principais determinantes da degradação ambiental seriam densidade populacional, consumo de energia elétrica, crescimento econômico e globalização. Outro resultado encontrado indica uma relação bidirecional entre as variáveis consumo de energia, crescimento econômico e degradação ambiental. Este trabalho, apesar de testar a mesma hipótese que Tamazian, Chousa e Vadlamannati (2009), Shahbaz *et al.* (2013), encontram um resultado divergente e sugerem que para as nações estudadas não há curva ambiental de Kuznets.

Visando analisar a relação que poderia existir entre degradação ambiental e expectativa de vida para o Paquistão, Ali e Audi (2016a) estimam, por meio de uma série temporal para o período 1980-2015, o modelo para expectativa de vida. Os resultados sugerem, principalmente, uma relação negativa entre degradação ambiental e expectativa de vida. Em outra análise, os mesmos autores investigaram o impacto de alguns fatores como o consumo de energia, desenvolvimento econômico, densidade populacional e a degradação ambiental para o Líbano, no período 1974-2014, chegando a conclusão de que o consumo de energia e a densidade populacional têm relação significativa e positiva com a degradação ambiental.

Nessa mesma linha metodológica, Halkos e Tzeremes (2012) analisam relação entre o que chamam de eficiência ambiental regional e crescimento econômico para o Reino Unido, ao aplicarem uma regressão não paramétrica estimada com dados regionais da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e do Escritório de Estatísticas da União Europeia (EUROSTAT). Os resultados encontrados pelos autores trazem evidências de uma relação inversa entre crescimento da renda *per capita* regional e ineficiência ambiental, pelo menos até certo nível de renda ser alcançado.

Com o objetivo de identificar os fatores que podem influenciar na degradação do solo para o Vietnã, principalmente de ordem biofísica e socioeconômica, Vu *et al.* (2014) estimam modelos com dados de corte transversal (*cross-section*) considerando como variáveis dependentes a extensão da degradação do solo e a intensidade desta degradação. Dentre as variáveis independentes destacam-se: qualidade do solo, distância para rodovia mais próxima, densidade populacional, indicador de pobreza, média anual de produção agrícola *per capita*, taxa de crescimento anual das principais culturas agrícolas. As fontes de dados utilizadas foram das mais diversas: Global Agro-Ecological Assessment for Agriculture 2002, Vietnam Statistical Year Book 1995-2006 dataset etc. Os principais resultados sugerem que as políticas vietnamitas de combate a degradação não estão considerando adequadamente a conjuntura sócioeconômica que envolve o fenômeno, a política agrícola adotada não leva em conta o custo ambiental associado a mesma, ademais a estratégia de combate a degradação não considera também os efeitos associados as relações intersetoriais da economia.

Analisando não apenas degradação do solo, mas degradação ambiental de maneira mais ampla, alguns autores comentados anteriormente convergem quando comparados os resultados encontrados. Assim, para Ali e Audi (2016a, 2016b ) e Audi e Ali (2018), os principais determinantes da degradação ambiental são o aumento do consumo de energia elétrica e densidade populacional. Já para Shahbaz *et al.* (2013) e Shahbaz *et al.* (2015), analisando degradação ambiental para a China e Romênia, respectivamente, sugerem que elevação da renda *per capita* e melhoria dos padrões tecnológicos tem impacto negativo sobre a degradação.

Por meio de análise semelhante a utilizada por Assunção, Gandour e Rocha (2013), mas com dados de imagens de satélite sobre a cobertura florestal e desmatamento na Austrália para o período 1972-2014 e de uma vasta revisão da literatura, Evans (2016) analisa as mudanças nas taxas de desmatamento com relação aos fatores de caráter institucional, macroeconômicos e de condições do meio ambiente e como estes podem induzir a ação humana e provocar assim a perda de coberturas florestais. O autor conjectura que a principal evidência para a política ambiental australiana sugere uma mudança para auto-regulação, flexibilização e que os instrumentos econômicos utilizados acabam por refletir esse novo direcionamento. Porém, ressalta que essa mudança não indica uma maior eficácia destas políticas, tendo em vista que o que determinará a qualidade da política ambiental será o monitoramento, avaliação e reforço dos instrumentos utilizados, sejam estes de comando-e-controle ou auto-regulação.

Por fim, vale destacar alguns estudos nacionais e internacionais que focam na identificação dos determinantes do desmatamento na floresta Amazônica, tais como: Walker, Moran e Anselin (2000), Scriciu (2004), Kirby *et al.* (2006), Fearnside (2008), Umemiya,

Rametsteiner e Kraxner (2010), Leblois, Damette e Wolfersberger (2017), e Tacconi e Muttaqin (2019).

Combinando informações espaciais com fatores demográficos, biofísicos e de infraestrutura sobre a Amazônia brasileira, juntamente com dados de monitoramento via satélite; Kirby *et al.* (2006) avaliam a importância que estas variáveis têm na determinação do desmatamento. Os dados utilizados são provenientes do INPE para o período 2000-2001 e do Censo Agropecuário 1995/1996 do IBGE. Os autores sugerem que proximidade de áreas já desmatadas, alta densidade populacional, assim como longos períodos de seca destacam-se entre principais fatores que determinam a probabilidade de ocorrer desmatamento. Aqui destaca-se uma importante evidência, visto que um aumento populacional pode pressionar o ecossistema e ampliar o desmatamento.

Além dessas variáveis apontadas por Kirby, Fearnside (2008) salienta para a importância de se identificar também os atores envolvidos no desmatamento da Amazônia brasileira, visto que qualquer política que tente conter este delito precisa agir sobre as principais forças e incentivos que provocam o fenômeno, forças estas que estão diretamente ou indiretamente relacionadas com os principais agentes causadores deste crime. Dentre as principais forças apontadas pelo autor destacam-se especulação com valor da terra, lavagem de dinheiro e tráfico de drogas. Com relação ao tipo de atores, aquele autor sugere que os maiores responsáveis são pequenos agricultores, mas principalmente os grandes fazendeiros, sugerindo assim que pode existir um impacto maior por parte das grandes propriedades rurais. O autor levanta uma questão importante, ressalta que regiões em que os retornos associados a atividades lícitas são baixos, a especulação, lavagem de dinheiro e tráfico de drogas são forças que potencializam a expansão do desmatamento, mostrando assim a importância que o diferencial de rendimentos que podem ser obtidos nos mercados lícitos e ilícitos tem papel fundamental na determinação do fenômeno em análise.

A identificação dos atores também é objeto do estudo de Walker, Moran e Anselin (2000), que analisam a relação entre desmatamento na Amazônia brasileira e a atividade pecuária. Usando dados coletados no verão de 1993 ao longo da Rodovia Transamazônica no trecho localizado entre Altamira e Uruará e um modelo econométrico para estimação dos determinantes causais do desmatamento na região, os autores mostram que tanto os pequenos quanto os grandes produtores são responsáveis pelo desmatamento e salientam a necessidade de considerar as particularidades da atividade pecuária e dos custos de oportunidade envolvidos.

Corroborando os resultados encontrados em Kirby *et al.* (2006) e Walker, Moran e Anselin (2000), Scriciu (2004) e Leblois, Damette e Wolfersberger (2017) sugerem que os

agentes do desmatamento são maximizadores de lucro, onde variáveis de caráter macroeconômico e de comércio agrícola podem impactar significativamente os agentes do setor agropecuário e influenciam a expansão de áreas cultiváveis e o desmatamento. Já Tacconi e Muttaqin (2019) e Umemiya, Rametsteiner e Kraxner (2010) jogam luz nesse potencial link entre variáveis macroeconômicas-comércio-agropecuária-desmatamento, salientando, respectivamente, para o papel do reforço da legislação ambiental na mitigação dos crimes relacionados a extração ilegal de madeira e a qualidade da governança. Os resultados das estimações desses estudos trazem evidências de que uma elevação da qualidade da governança e do *enforcement* implicaria redução das taxas de desmatamento, mesmo sob condições macroeconômicas favoráveis à expansão da área cultivada e pasto.

## **2 CRIMES AMBIENTAIS E PUNIÇÃO: UMA ANÁLISE DO PAPEL DAS MULTAS NA MITIGAÇÃO DE CRIMES AMBIENTAIS<sup>5</sup>**

O modelo da Teoria Econômica do Crime proposto por Becker (1968) ressalta o papel da punição na determinação da oferta de crimes, salientando a importância da aplicação de multas como forma de punição. Neste sentido, assim como Uhr e Uhr (2014), Almer e Goeschl (2010) e Assunção, Gandour e Rocha (2013), este trabalho também destaca a importância de se analisar o impacto da punição e do uso de multas com vistas a reduzir e/ou coibir os crimes ambientais. Destaca-se aqui contudo o tratamento dado à variável multa visando contornar o problema de endogeneidade causado pela determinação simultânea entre esta e a oferta de crimes ambientais. Com este intuito, a partir do valor das multas aplicadas por município e partindo da utilização de uma variável instrumental, foi criada uma variável *proxy* para punição através da razão entre o valor das multas aplicadas e quitadas e o valor total das multas aplicadas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

Além disso, visando verificar o papel que possíveis rendimentos do crime ambiental poderiam ter na determinação da oferta destes delitos, foi estimada a renda do crime por meio de metodologia proposta por Chisholm e Chongwoo (2005). Neste sentido, se procedeu com a criação de uma variável representando a renda proveniente dos crimes ambientais por meio do produto entre a renda *per capita* (*proxy* para renda média) e o índice de Gini municipal. Por

---

<sup>5</sup> A especificação empírica do modelo para efeitos aleatórios segue metodologia utilizada por Anna, Antonello e Angelo (2014). Considerando a hipótese de que não houve mudanças temporais significativas do período 2011-2015 para o ano de 2017, algumas variáveis do questionário de gestão ambiental da pesquisa de Perfil Municipal para o ano de 2017 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foram utilizadas como constantes para os cinco anos analisados no modelo de dados em painel com efeitos aleatórios.

fim, foram analisados os resultados que trazem evidências dos principais determinantes dos crimes ambientais no Brasil.

## 2.1 BASE DE DADOS

As bases de dados utilizada no trabalho são provenientes de informações disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). A construção da base começou com a extração dos dados do IBGE, com o uso da plataforma SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática), relacionados às características municipais, como por exemplo renda, educação e localização geográfica em relação a áreas de fronteira nacional etc., para o período 2011-2015, que é o mais recente possível. Considerando um total de 5.570 municípios e os cinco anos do período 2011-2015, a amostra gerada foi de 27.850 observações.

Essa base foi complementada com as informações constantes na base do IBAMA sobre o número de ocorrências por município, considerando dez categorias de crimes ambientais (fauna, flora, controle ambiental, ecossistema, ordenamento urbano e controle patrimonial, biopirataria, pesca, unidades de conservação, cadastro técnico federal e outros), além de conter informações referentes ao valor das multas aplicadas contra os ofensores. Importante salientar que, devido às características dos bancos de dados e para facilitar a análise, os danos ambientais foram considerados como crimes. Isto também se justifica pelo fato de o número de observações referentes as ocorrências de danos ambientais ser menos elevado. Como cada ocorrência criminal em um determinado município representa uma observação na base do IBAMA, ela gerou, considerando o período 2011-2015, 84.043 observações.

Para compatibilizar as duas bases, o primeiro passo foi somar o número de crimes para cada município e criar a variável *yct* representando o número total de crimes ambientais por município por ano, já *yeff* e *yef* consistem na quantidade de delitos contra a flora/fauna e contra a flora, respectivamente. Também foi criada a variável renda do crime municipal por meio do produto entre a renda *per capita* (*proxy* para renda média) e o índice de Gini municipal para o ano de 2010 (utilizou-se o índice deste ano por ser o mais recente disponível com a abrangência geográfica utilizada no trabalho), como será demonstrado mais adiante neste trabalho.

Para a variável indivíduos sem instrução por município (*pct*) foi considerada a proporção de pessoas com idade entre 25 e 59 anos com fundamental incompleto ou sem nenhuma instrução em relação a população total de cada município. Duas outras variáveis foram criadas com relação a multas. Uma é o total de multas aplicadas (*tmap*) e total de multas pagas

(tmp), em cada município, considerando todas as dez categorias de crimes. Com a fusão das duas bases, o número total de observações ficou em 27.850 observações.

A base IBAMA-SIDRA 2011-2015 foi complementada com dados da base de dados também do IBGE sobre o Perfil dos Municípios, ano 2017, gerando a base de dados IBAMA-SIDRA-PERFIL. A base Perfil dos Municípios é bem mais rica em informações sobre as características institucionais dos municípios, mas como ela não contém as mesmas informações da base do período 2011-2015, ela não pôde ser incluída em sua totalidade como mais um ano do painel. Algumas das variáveis da base de 2017 representam, porém, características institucionais cujos valores podem ser assumidos como constantes ao longo de relativamente curtos períodos no tempo (como o do período 2011-2017) de modo que os valores dessas variáveis em 2017 foram incluídos na base de 2011-2015 como fatores constantes ao longo do tempo, mas variantes ao longo do espaço (isto é, entre os municípios).

Após realizadas a adequação e a fusão entre os bancos de dados do IBAMA-SIDRA com a base Perfil dos Municípios, e excluindo aqueles municípios onde não houve nenhum auto de infração, chegou-se a um total de 8.935 observações, como evidencia a Tabela 2.1, a seguir, onde constam as estatísticas descritivas e a descrição das variáveis utilizadas no modelo. Os dados mostram principalmente uma grande disparidade de renda no Brasil, assim como indicam também que o crime não é homoganeamente distribuído no espaço, estando concentrado em determinadas regiões e municípios do país. Assim, nota-se que os desvios padrão de variáveis como renda do crime, renda *per capita*, são elevados.

Tabela 2.1 – Descrição das variáveis dos modelos de dados em painel – Brasil – período 2011-2015.

Variáveis	Observações	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
yct (Número total de crimes ambientais por município por ano)	8.935	8,26178	23,49	1	651
ycff (Número total de crimes contra a flora e a fauna por município por ano)	8.935	4,846558	17,50	0	604
ycf (Número total de crimes contra a flora por município por ano)	8.935	3,294572	15,87	0	593
tmap (Valor total das multas aplicadas)	8.935	1.480.745	10.600.000	0	487.000.000
tmp (Valor total das multas quitadas)	8.935	21.200,55	681.748	0	60.000.000

(continua)

Tabela 2.1 – Descrição das variáveis dos modelos de dados em painel – Brasil – período 2011-2015.

Variáveis	Observações	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
rc ( <i>proxy</i> para a renda do crime por ano para cada município por ano – R\$ 1,00)	8.935	9.049,61	11.770,62	154	391.535
pibc (PIB <i>per capita</i> por ano – R\$ 1,00)	8.935	17.986,01	24.290,06	301,6	815.698,00
pct (número de indivíduos sem instrução por ano e por município)	8.935	14.903,24	53.259,79	243	2.085.920
psa (Variável binária igual a 1 se município paga por serviços ambientais)	8.935	0,1327364	0,33	0	1
prop (Proporção de multas pagas por município por ano - %)	8.935	20,18455	35,01	0	100
gestor (variável binária igual a 1 se gestor municipal de meio ambiente tem nível superior)	8.935	0,3856743	0,48	0	1
bov (efetivo de rebanho bovino por município/ano)	8.935	64.311,15	13.2973,1	9	2.282.445
temp (área plantada com lavouras temporárias – em ha)	8.935	17.751,02	54.897,71	1	1.098.874
perm (área plantada com lavouras permanentes – em ha)	8.935	1.582,405	4.095,28	1	82.266
front (variável binária igual a 1 se o município está na faixa de fronteira nacional definida pelo IBGE)	8.935	0,1115837	0,31	0	1

(conclusão)

Onde: % – Porcentagem; ha – Hectare; IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; PIB – Produto Interno Bruto; e, R\$ – Real.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE e do IBAMA.

## 2.2 MODELO EMPÍRICO

As especificidades dos dados utilizados no trabalho permitem que a primeira parte da análise seja feita por meio de dados em painel, o que possibilita controlar para efeitos fixos e aleatórios e, desta maneira, também considera a heterogeneidade não observada (UHR; UHR, 2015). Como demonstram Cameron e Trivedi (2005), um modelo em painel pode ser especificado em sua forma mais geral como

$$y_{it} = \alpha_{it} + x'_{it}\beta_{it} + e_{it}, \quad i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T. \quad (2.1)$$

onde  $y_{it}$  é uma variável dependente escalar,  $x_{it}$  consiste em um vetor  $K \times 1$  de variáveis independentes,  $e_{i,t}$  é um termo de perturbação escalar,  $i$  representa indivíduo (firma, país, região, município etc.) em um *cross section* e  $t$  indica o tempo.

Visando determinar qual seria o melhor método, visto que a estimação dos coeficientes por meio de dados em painel poderia aqui ser realizada tanto por meio de efeitos fixos como por efeitos aleatórios, se procedeu com o teste de Breusch-Pagan e os resultados permitiram rejeitar a hipótese nula de que não há efeitos aleatórios, assim optou-se pelo modelo com efeitos aleatórios. A Equação (2.1) pode ser reescrita como

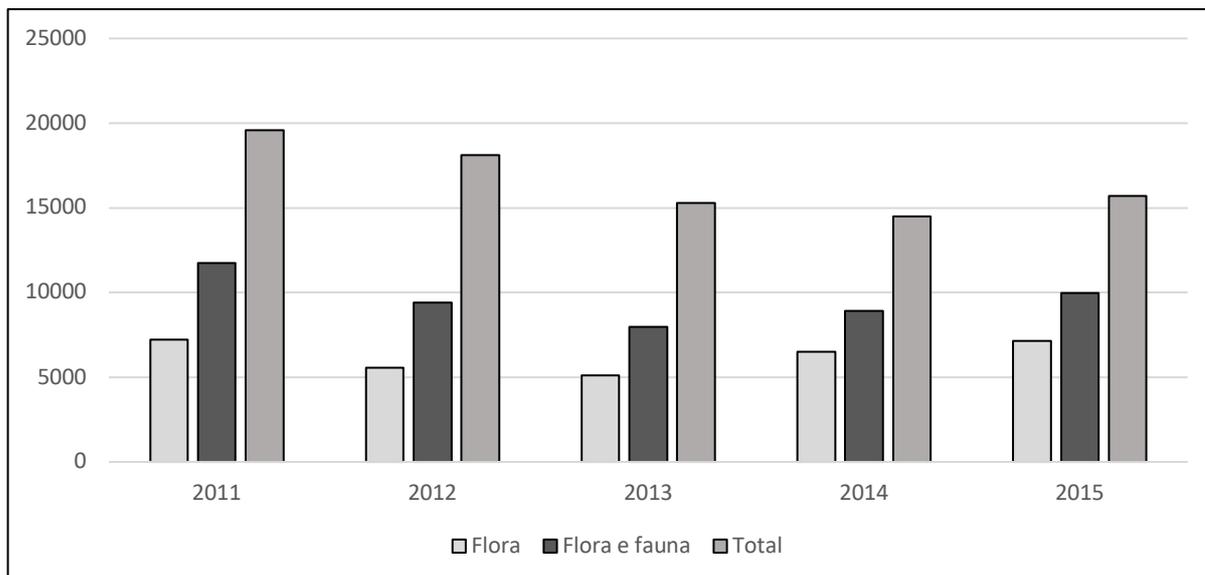
$$Y_{it} = \mu + x'_{it}\beta + \alpha_i + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T. \quad (2.2)$$

onde  $\alpha_i$  é um vetor de efeitos individuais,  $\mu$  consiste em um intercepto escalar não aleatório. Sendo assim, o termo erro é composto por um componente  $\alpha_i$  que varia entre os indivíduos-entidades (mas constante ao longo do tempo) e outro  $\varepsilon_{it}$  que varia estocasticamente entre indivíduos-entidades e ao longo do tempo. Os efeitos aleatórios assumem que o termo de erro da entidade não está correlacionado com os preditores. O efeito aleatório permite generalizar as inferências, além da amostra usada no modelo (ANNA; ANTONELLO; ANGELO, 2014).

Foram estimados três modelos para analisar a influência de determinados fatores na ocorrência de crimes à flora, fauna e flora e para todos os crimes somados para o período 2011-2015, conforme Quadro 5.1, a seguir. Para o modelo 1, número de crimes contra a flora no ano  $t$  e município  $i$  é representado por o  $Y_{it}$  em (2.2). Para os outros modelos 2 e 3,  $Y_{it}$  se torna, respectivamente, o número de crimes contra a flora e a fauna somados, e o número de todos os crimes somados, inclusive fauna e flora. A escolha de um modelo para analisar apenas crimes contra a flora se deveu a grande quantidade de delitos desta categoria e o banco de dados não permitir desagregar esta ofensa em diversas outras. Já a união entre fauna e flora se justificou pela quantidade significativamente menor de ocorrências contra a fauna, enquanto que a categoria “todos os crimes” visou ampliar a abrangência do estudo para uma série de outros delitos ambientais e permitir analisar os seus determinantes por meio de uma única categoria.

À guisa de ilustração, no Gráfico 2.1, a seguir, podem ser observadas as quantidades de crimes ambientais para os municípios para o período 2011-2015. Nos Gráficos A1, A2 e A3 (vide Apêndice B) consta a comparação das quantidades de crimes ambientais para as grandes regiões brasileiras analisados para o período 2011-2015.

Gráfico 2.1 – Quantidades de crimes ambientais registrados – Brasil – período 2011-2015.



Fonte: Elaboração própria, com base em informações do IBAMA.

Para a variável indivíduos sem instrução por município foi considerada a proporção de pessoas com idade entre 25 e 59 anos com fundamental incompleto ou sem nenhuma instrução em relação a população total de cada município<sup>6</sup>. Já para a variável multa, visando contornar o problema causado pela endogeneidade (como será demonstrado no próximo tópico), foi criada uma variável proporção de multas pagas, considerando a porcentagem das multas pagas pelos ofensores em relação a quantidade de multas aplicadas pelo IBAMA para cada município e para cada ano do período de 2011 a 2015. As outras variáveis dos modelos encontram-se especificadas no Quadro 5.1, a seguir.

<sup>6</sup> Os dados utilizados para a construção desta variável foram derivados da tabela 1540 do Censo Demográfico 2010 do IBGE. Assim, devido a disponibilidade dos dados, esta variável foi considerada para todo o período 2011-2015.

Quadro 2.1 – Variáveis da oferta de crimes ambientais – Brasil – período 2011-2015.

Variáveis	Descrição	Equivalência com Argumentos da Função Crime de Becker – Equação (2.7)	Equivalência com da Função Crime Ambiental – Equação (2.16)	Sinal Esperado
yct	Número total de crimes ambientais por município por ano.	$A$	$OA$	Não se aplica
ycff	Número total de crimes contra a flora e a fauna por município por ano.	$A$	$OA$	Não se aplica
ycf	Número total de crimes contra a flora por município por ano.	$A$	$OA$	Não se aplica
rc	<i>Proxy</i> para a renda do crime por ano para cada município por ano – R\$ 1,00.	$u$	$z$	Positivo
pibc	PIB <i>per capita</i> por ano – R\$ 1,00.	$u$	$z$	Negativo
pct	Número de indivíduos sem instrução por ano e por município.	$u$	$z$	Positivo
psa	Variável binária igual a 1 se município paga por serviços ambientais.	$p$	$P$	Negativo
prop	Proporção de multas pagas por município por ano – %.	$p$ e também $f$	$p$ e também $f$	Negativo
gestor	Variável binária igual a 1 se gestor municipal de meio ambiente tem nível superior.	$p$	$p$	Negativo
bov	Efetivo de rebanho bovino por município por ano.	$u$	$z$	Positivo
temp	Área plantada com lavouras temporárias – em ha.	$u$	$z$	Positivo

(continua)

Quadro 2.1 – Variáveis da oferta de crimes ambientais – Brasil – período 2011-2015.

Variáveis	Descrição	Equivalência com Argumentos da Função Crime de Becker – Equação (2.7)	Equivalência com da Função Crime Ambiental – Equação (2.16)	Sinal Esperado
perm	Área plantada com lavouras permanentes - em ha	$u$	$z$	Positivo
front	Variável binária igual a 1 se o município está na fíxa de fronteira nacional definida pelo IBGE.	$u$	$z$	Positivo

(conclusão)

Onde: % – Porcentagem; ha – Hectare; IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; PIB – Produto Interno Bruto; e, R\$ – Real.

Fonte: Elaboração própria com base em Becker (1968).

Nota: A variável renda municipal do crime foi baseada na metodologia de Dahlberg e Gustavsson (2008).

Para a estimação da oferta de crimes ambientais, a hipótese é que as variáveis *psa*, *prop* e *gestor* consigam representar características institucionais regionais e influenciam na probabilidade de condenação, *prop* também seria uma variável equivalente para punição, já o restante representariam as outras influências que ajudam a determinar a oferta de crimes ambientais. Importante salientar que, diferentemente da abordagem original de Becker (1968), a variável multa, *proxy* para punição, engloba neste trabalho apenas as multas aplicadas pelo IBAMA e não considera possíveis indenizações somadas a esta variável.

Então, como mostra o Quadro 5.1 e de acordo com (1.14), a equação da oferta de crimes ambientais pode então ser representada em termos gerais como

$$OA_{j,t} = OA(psa_{j,t}, prop_{j,t}, gest_{j,t}, z_{j,t}) \quad (2.3)$$

com  $z$  sendo um vetor de variáveis contendo *rc*, *pibc*, *pct*, *bov*, *temp*, *perm*, *front*.

### 2.3 MULTAS COMO VARIÁVEL ENDÓGENA

Em análises econométricas, há o problema da endogeneidade de variáveis explicativas (que será discutido adiante), geralmente assumidas *a priori* como não-estocásticas. Sem o

tratamento adequado, endogeneidade gera estimadores inconsistentes. No caso do presente estudo há razões para supor que a variável multas, utilizada como *proxy* para probabilidade de punição, é endógena, já que a oferta de delitos (variável dependente) é simultaneamente determinada com a variável de interesse (multa) (BARROS; VRIES, 2017), de forma que  $cov(multa, termoerro) \neq 0$ . Em uma breve leitura dos dados pode-se observar que em locais com mais crimes há também mais multas aplicadas e, numa análise equivocada, chegar a conclusão de que multas *causam* crimes ambientais. Isolar o efeito de multas sobre crimes ambientais requer separar os fatores não-observáveis no termo erro da variável multas, para então poder assumir que  $cov(multa, termoerro) = 0$ .

Alguns autores tem salientado esse fato da endogeneidade entre ocorrência de crime se instrumentos de punição. Assunção, Gandour e Rocha (2013) argumentam que há uma forte endogeneidade entre os fatores aplicação da lei e desmatamento. Desta forma, os autores utilizam, visando contornar este problema, de uma variável instrumental para a aplicação da lei como a cobertura de nuvens captada por imagem via satélite. O argumento utilizado é de que este fator pode dificultar o monitoramento e assim a aplicação da lei com vistas a evitar e/ou reduzir a oferta de desmatamento.

O problema da endogeneidade provocado pela determinação simultânea entre aplicação da lei e a ocorrência de crimes é também discutido no trabalho de Barros e Vries (2017). Com o objetivo de verificar o impacto que a desigualdade de renda tem sobre o crime para o Estado de São Paulo, os autores, por meio de dados do IBGE, Tribunal Superior Eleitoral (TSE), Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (Fundação SEADE), Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo (SSP-SP), estimam um modelo linear com taxa de roubos como a variável dependente  $y_i^t$  e como variáveis independentes: índice de Gini, se o prefeito pertence ao partido político Partido da Social Democracia Brasileira (PSDB).

Para contornar o problema da endogeneidade entre a variável explicativa (aplicação da lei), e a variável dependente (taxa de roubos), os autores utilizaram o alinhamento político entre os governos estaduais e municipais como variável instrumental para aplicação da lei. A hipótese levantada seria a de que interesses políticos podem conduzir para uma alocação exógena do policiamento. A variável instrumental utilizada consistiu em uma *dummy* igual a 1 caso o prefeito do município fosse do PSDB no ano de 2010, igual a 0 caso o contrário. A escolha do partido político em questão foi justificada pelo fato de que o PSDB conseguiu se manter no governo estadual por mais de duas décadas, conseguindo eleger quatro dos cinco governadores do Estado de São Paulo desde 1995.

Buonanno e Leonida (2006), por meio de um modelo de dados em painel dinâmico, também utilizam do método de variáveis instrumentais para solucionar o problema da endogeneidade verificada na relação de dupla casualidade entre crime e educação. Os autores utilizam como instrumento na equação os valores defasados das variáveis independentes (taxa de crime, escolaridade etc.). O estudo foi possível por meio de dados do Ministério da Justiça da Itália para 20 regiões italianas considerando o período 1980-1995 e para crimes contra a propriedade e roubo. Os autores encontraram evidências de que a variável escolaridade é negativamente relacionada com os crimes analisados.

Outro trabalho que merece destaque, o qual precisou contornar o problema da endogeneidade, consiste na análise feita por Di Tella e Schargrotsky (2004). Tendo como objetivo analisar o impacto do policiamento sobre a ocorrência de roubos de automóveis, particularmente antes e depois do atentado ao Centro Judaico na Cidade de Buenos Aires em 1994. Os autores salientam o problema de determinação simultânea entre determinadas variáveis e a oferta de crimes e utilizam como instrumento para política de policiamento ostensivo a presença policial em determinados quarteirões. Desta maneira, conseguem contornar o problema da endogeneidade e, por meio das estimações de um painel, encontram evidências que a presença policial em determinados quarteirões teria um efeito significativo na redução dos crimes de roubo de veículos.

Utilizando de dados de relatórios policiais diários do Serviço de Polícia Metropolitana de Londres, abrangendo período janeiro de 2004-dezembro de 2005, período este anterior e posterior aos ataques terroristas de julho de 2005, Draca, Machin e Witt (2011) analisam a relação entre policiamento e crime, para tal finalidade, os autores realizam as estimações por meio da metodologia diferenças-em-diferenças e considerando a taxa de crime por bairro como variável dependente e como variáveis explicativas: o nível de policiamento dentre outras variáveis de controle. Visando corrigir quaisquer distorções provenientes do problema da endogeneidade entre oferta de crime e policiamento, os autores utilizam da variável instrumental  $T_b * POST_t$ , onde  $T_b$  é o policiamento por bairro e  $POST_t$  é uma binária igual a 1 se foi período após ataque terrorista, 0 se não. Os resultados sugerem que maior policiamento tem o papel de coibir os crimes que tem maior probabilidade de serem evitados pela presença policial, a exemplo de alguns delitos contra o patrimônio como furtos e roubos.

Em outro estudo também para a cidade de Londres, Gibbons (2004) utiliza do método de variáveis instrumentais para lidar com o problema da endogeneidade e tem como objetivo analisar o impacto que o crime pode ter sobre os preços dos imóveis. O autor considera como

variável instrumental o crime defasado e espacializado. Evidências encontradas sugerem que o crime tem um impacto negativo significativo nos preços.

Por meio de dados da Organização das Nações Unidas (ONU) para o período 1965-1994 para homicídios e de 1970 até 94 para roubos, Fajnzylber, Lederman e Loayza (2002) analisam a relação entre desigualdade e crime para um grupo de 20 países industrializados da América Latina e Caribe, Europas Oriental e Central, Ásia e África. Ressaltam o problema da determinação simultânea que pode haver entre desigualdade e oferta de crime e, visando lidar com o problema, controlam para endogeneidade por meio de uma variável instrumental (considerando os valores defasados para as variáveis independentes) para modelo de dados em painel dinâmico. O principal resultado encontrado traz evidências de que a desigualdade de renda consiste em um dos determinantes da oferta dos crimes analisados e tem efeito positivo sobre o fenômeno.

Nessa mesma linha metodológica, o estudo realizado por Ihlanfeldt e Mayock (2010) teve como objetivo analisar se crime afeta preços de imóveis com uso de um modelo de painel dinâmico. Os autores utilizam como variáveis instrumentais os valores defasados das variáveis independentes e relacionam estes dados com os diversos tipos de imóveis para uso comercial. A hipótese dos autores seria de que as oportunidades do crime dependem dos tipos de uso comercial do terreno. Por exemplo, uma nova loja de conveniência que pode ser atrativa para o delito de assalto, já escritórios são mais atrativos para arrombamentos.

Levitt (2002) busca verificar o impacto do policiamento sobre o crime, utiliza então, visando contornar a causalidade simultânea entre estes dois fatores, de um instrumento que consiga captar a variação do efetivo policial que não seja correlacionado com os termos estocásticos do modelo. A variável usada foi o efetivo do corpo de bombeiros *per capita* a nível municipal. O autor utilizou do método de estimação em dois estágios e resultados sugerem que não se pode afirmar categoricamente que há um impacto causal do policiamento sobre o crime. Kovandzi *et al.* (2016) tentam validar esta análise e encontram evidências de que os instrumentos utilizados não são confiáveis para avaliar o impacto que policiamento ostensivo pode ter sobre a oferta dos crimes analisados.

Com base nessas metodologias sugeridas pela literatura supracitada, foi aqui utilizada a abordagem de variáveis instrumentais com vistas a contornar o problema da endogeneidade. Mais especificamente optou-se pela utilização da variável proporção de multas pagas em relação ao valor total aplicado pelo IBAMA como variável instrumental  $xz$ . Considerando a hipótese de que  $cov(xz, u) = 0$  e  $cov(xz, x) \neq 0$ , então  $xz$  seria então um instrumento válido para  $x$ . Após a criação da variável instrumental por meio da razão entre o valor das multas pagas

e o valor das multas aplicadas por município para cada ano, visando testar se o problema de causalidade bidirecional teria sido resolvido, foi realizado teste regressão de endogeneidade da variável explanatória sugerido por Wooldridge (2012) e também utilizado e indicado por Dimitrova-Grajzl *et al.* (2012). Para o teste, primeiramente foram estimadas duas regressões contendo todas as variáveis independentes dos modelos. A primeira, usando a variável multas como dependente, e a segunda, utilizando a variável proporção de multas pagas. Em um segundo estágio, a variável crime ambiental é então regredida com os então calculados resíduos das duas regressões. Os coeficientes associados aos resíduos se mostraram estatisticamente diferentes de zero para a variável multa, demonstrando que esta tem problema de endogeneidade, contrário se verificou para a variável instrumental proporção de multas pagas.

Em um segundo estágio, com o contorno do problema da variável multa, foi possível a estimação consistente dos coeficientes dos modelos que serão apresentados a seguir.

## 2.4 ESTIMAÇÃO DA RENDA DO CRIME<sup>7</sup>

Partindo da Teoria Econômica de Becker (1968) e assumindo que o indivíduo comete crimes se os ganhos esperados da atividade excedem o custo de oportunidade do delito, Chisholm e Chongwoo (2005) sugerem uma abordagem teórica para a definição de uma variável *proxy* para a renda do crime, visando auxiliar os trabalhos empíricos que analisam o fenômeno.

A distribuição de renda de uma sociedade tem uma função de probabilidade contínua  $f$  com suporte  $[y_1, y_2]$ . Assim, um indivíduo que cometa um crime tem uma renda  $x$  e receita esperada líquida definida por:

$$\int_x^{y_2} (y - x)f(y)dy \quad (2.4)$$

Integrando para todos os níveis de renda, os autores então derivam os ganhos líquidos esperados médios da atividade criminosa:

---

<sup>7</sup> Este tópico foi desenvolvido com base no modelo teórico para estimação da renda do crime desenvolvido por Chisholm e Chongwoo (2005).

$$B \equiv \int_{y_1}^{y_2} \left[ \int_x^{y_2} (y - |x|) f(y) dy \right] f(x) dx \quad (2.5)$$

A Equação (2.5) pode ser relacionada com uma medida de desigualdade como o coeficiente de Gini, o qual pode ser definido como sendo metade da diferença média absoluta de rendimentos entre cada par de indivíduos dividido pela renda média:

$$G \equiv \frac{\int_{y_1}^{y_2} \int_{y_1}^{y_2} |x-y| f(x) f(y) dx dy}{2 \int_{y_1}^{y_2} y f(y) dy} \equiv \frac{\int_{y_1}^{y_2} \int_{y_1}^{y_2} |x-y| f(x) f(y) dx dy}{2E(y)} \quad (2.6)$$

Considerando  $B = GE(y)$ , tem-se que o ganho esperado líquido do crime pode ser representado como o produto do coeficiente de Gini e a média da renda.

A equação 2.6 pode ser reescrita como:

$$\begin{aligned} 2GE(y) &= \int_{y_1}^{y_2} \int_{y_1}^{y_2} |x-y| f(x) f(y) dx dy \\ &= \int_{y_1}^{y_2} \left[ \int_{y_1}^x (x-y) f(y) dy + \int_x^{y_2} (y-x) f(y) dy \right] f(x) dx \\ &= \int_{y_1}^{y_2} \int_{y_1}^x (x-y) f(y) f(x) dy dx + \int_{y_1}^{y_2} \int_x^{y_2} (y-x) f(y) f(x) dy dx \end{aligned}$$

Como  $B \equiv \int_{y_1}^{y_2} \left[ \int_x^{y_2} (y - |x|) f(y) dy \right] f(x) dx$ , então:

$$\begin{aligned} &= \int_{y_1}^{y_2} \int_{y_1}^x (x-y) f(y) f(x) dy dx + B \\ &= \int_{y_1}^{y_2} \left[ \int_{y_1}^{y_2} (x-y) f(y) dy - \int_x^{y_2} (x-y) f(y) dy \right] f(x) dx + B \\ &= \int_{y_1}^{y_2} \int_{y_1}^{y_2} (x-y) f(y) f(x) dy dx + \int_{y_1}^{y_2} \int_x^{y_2} (y-x) f(y) f(x) dy dx + B \end{aligned}$$

O primeiro termo do lado direito da última igualdade é zero e como segundo termo é igual a  $B$ , visto que  $B = \int_{y_1}^{y_2} \left[ \int_x^{y_2} (y - x) f(y) dy \right] f(x) dx$ , então:

$$\begin{aligned}
&= \int_{y_1}^{y_2} \int_{y_1}^{y_2} (x - y)f(y)f(x)dydx + \int_{y_1}^{y_2} \int_x^{y_2} (y - x)f(y)f(x)dydx + B \\
&= 0 + B + B \\
&= 2B
\end{aligned}$$

então:

$$2GE(y) = 2B \text{ ou } B = GE(y).$$

A proposição acima mostra a relação importante entre desigualdade de renda e o nível de renda. Assim, segundo Chisholm e Chongwoo (2005), quanto maior a desigualdade de renda maior será a oferta de crime. Portanto, em duas sociedades distintas com o mesmo patamar de renda média, a ocorrência de crimes será maior naquela com distribuição de renda menos equitativa.

A partir dessa abordagem, por meio dos dados do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (2021) e do IBGE, se multiplicou o índice de Gini municipal para o ano de 2010 (utilizou-se o índice deste ano por ser o mais recente disponível com a abrangência geográfica utilizada no trabalho) pela renda *per capita* municipal (*proxy* para renda média) para o período 2011-2015 com intuito de criar a variável renda do crime municipal como *proxy* da renda derivada dos crimes ambientais.

## 2.5 RESULTADOS<sup>8</sup>

As estimativas para os modelos de dados em painel com efeitos aleatórios, assim como os resultados para os testes de *Breusch-Pagan*, encontram-se na Tabela 2.2, a seguir. O teste de *Breusch-Pagan* foi feito para o modelo com efeitos aleatórios. Como os resultados foram significativos, rejeitou-se a hipótese nula, indicando pela existência de efeitos aleatórios. Em geral, os coeficientes estimados foram estatisticamente significativos e apresentaram os sinais esperados.

Considerando o modelo para todos os delitos, alguns resultados se destacam. A variável renda do crime apresenta sinal positivo indicando evidência de que a elevação dos ganhos obtidos pela atividade ilegal impactaria no aumento da oferta de crimes ambientais. Assim,

---

<sup>8</sup> As estimações dos modelos em dados em painel com efeitos aleatórios sem controlar para endogeneidade constam nas Tabelas A.1, A.2, A.3 e A.4 (vide Apêndice C).

entre duas regiões com características semelhantes, aquela que apresenta maior retorno de renda para o crime, teria maior ocorrência de crimes ambientais. Evidência semelhante foi encontrada por Uhr e Uhr (2015) quando analisado para custo de oportunidade do crime, Fearnside (2008) também traz resultado semelhante.

De maneira análoga aos resultados encontrados por Shahbaz *et al.* (2013) e Shahbaz *et al.* (2015), uma elevação da renda *per capita*, uma *proxy* para a renda média<sup>9</sup> que os indivíduos obteriam em atividades lícitas na economia, reduziria a oferta de crimes ambientais. Já o aumento do número de indivíduos sem instrução por município teria um impacto positivo na oferta.

A proporção de multas pagas por município, considerando a variável instrumental para punição e probabilidade de aprisionamento, apresentou a relação esperada. Desta forma, entre locais com características semelhantes, aqueles com maior proporção de multas pagas tem menor oferta dos crimes ambientais aqui estudados. Os resultados também indicam menor ocorrência caso a região possua gestor de meio ambiente com nível superior em comparação aqueles em que o gestor tem apenas ensino fundamental. Estas evidências corroboram Uhr e Uhr (2014), autores ressaltam o impacto das multas na redução dos crimes, assim como o papel relevante que instituições possam desempenhar no combate as ofensas.

Outras variáveis indicaram uma relação positiva com a oferta de crimes ambientais, assim uma elevação do rebanho bovino e da área das lavouras permanentes poderia ampliar a ocorrência do fenômeno. Estas evidências estão de acordo com Walker, Moran e Anselin (2000), Scriciu (2004), Fearnside (2008), e Leblois, Damette e Wolfersberger (2017); esses autores sugerem que as atividades agropecuárias consistem em importante determinante dos crimes ambientais. Outro importante resultado indica que, entre duas localidades com características similares, aquele que se encontra em faixa de fronteira nacional, terá maior oferta de crimes ambientais.

No caso das variáveis *psa* e gestor, vale salientar que embora não se possa dizer que os valores encontrados para seus coeficientes sejam estatisticamente significantes, com exceção de *psa* e gestor, respectivamente no caso do modelo 3 (crimes contra a flora como variável dependente) e no modelo 1 (total de crimes como variável dependente) a direção dos efeitos foi inequívoca. A educação do gestor ambiental e a existência de programas baseados em

---

<sup>9</sup> Considerando a hipótese do modelo de Becker (1968) que esse valor seria quanto o indivíduo poderia perder de renda caso deixasse de se dedicar a atividades lícitas para se dedicar a ilícitas, levando em conta que o indivíduo, nesta abordagem, se dedica exclusivamente para uma ou outra ação.

pagamentos por serviços ambientais são negativamente correlacionados com o número de ocorrências de crimes ambientais.

Os resultados para os três modelos da tabela 2.2 foram bastante semelhantes, com apenas algumas exceções pontuais: (1) a variável gestor com nível superior não foi significativa para os modelos de crimes contra a fauna e flora, assim como para crimes contra a flora; (2) a variável área com lavouras temporárias se mostrou significativa apenas para crimes contra a flora, indicando uma relação positiva com a oferta de crimes ambientais.

Tabela 2.2 – Estimações para modelo de dados em painel com efeitos aleatórios.

Total de Crimes Ambientais		Crimes contra à Fauna e Flora		Crimes contra à Flora	
Variáveis Independentes	Coefficientes	Variáveis Independentes	Coefficientes	Variáveis Independentes	Coefficientes
Renda do crime	0,00086*	Renda do crime	0,00061*	Renda do crime	0,00051*
Renda <i>per capita</i>	-0,00041*	Renda <i>per capita</i>	-0,00030*	Renda <i>per capita</i>	-0,00025*
Indivíduos sem instrução	0,00010*	Indivíduos sem instrução	0,00005*	Indivíduos sem instrução	0,00002*
Serviços ambientais	-0,67254	Serviços ambientais	-0,69265	Serviços ambientais	-1,08448**
Proporção multas pagas	-0,02462*	Proporção multas pagas	-0,02501*	Proporção multas pagas	-0,01517*
Gestor com nível superior	-0,82555***	Gestor com nível superior	-0,47372	Gestor com nível superior	-0,24996
Rebanho bovino	0,00003*	Rebanho bovino	0,00002*	Rebanho bovino	0,00002*
Área lavouras temporárias	0,00000	Área lavouras temporárias	0,00000	Área lavouras temporárias	0,00001**
Área lavouras permanentes	0,00031*	Área lavouras permanentes	0,00018*	Área lavouras permanentes	0,00013*
Município de fronteira	1,32530***	Município de fronteira	1,03324***	Município de fronteira	1,29226**
Amostra	8.935	Amostra	8.935	Amostra	8.935
Breusch and Pagan (Prob > chibar2)	0,0000	Breusch and Pagan (Prob > chibar2)	0,0000	Breusch and Pagan (Prob > chibar2)	0,0000
(Prob> chi2)	0,0000	(Prob> chi2)	0,0000	(Prob> chi2)	0,0000

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em IBAMA (2020) e IBGE (2020).

## 2.6 EFEITOS MARGINAIS E ELASTICIDADES<sup>10</sup>

As estimativas apresentadas na Tabela 2.2 embora tenham valor informacional ao indicar a direção da causalidade e a significância estatística, revelam pouco sobre a magnitude dos efeitos dos determinantes. Estes são melhores descritos através do uso dos efeitos marginais em termos de elasticidade. Seguiu-se assim com as estimações em termos de elasticidade, com o procedimento e comandos sugeridos por Baum (2010) utilizando o *software* STATA. A forma funcional da elasticidade utilizada é dada por  $\varepsilon = \frac{\partial Y}{\partial x} \frac{x}{Y}$ , onde  $Y$  é a variável dependente que representa o número de crimes ambientais e  $x$  as variáveis independentes do modelo.

As estimações trazem evidências (vide Tabela 2.3, a seguir) de que alguns fatores têm um impacto significativo em termos de magnitude sobre a oferta de crimes, com destaque para *renda do crime, renda per capita, proporção de multas pagas, rebanho bovino e área com lavouras permanentes*. Quando considerados os modelos com total de crimes, contra à fauna e flora e contra à flora, respectivamente, algumas evidências destacam-se: (1) + R\$ 1,00 na renda do crime aumentaria a oferta em 1,06%, 1,29% e 1,6%; (2) + uma unidade no efetivo do rebanho bovino elevaria a ocorrência em 0,28%, 0,33% e 0,46%; (3) + um ha nas lavouras permanentes ampliaria o número de crimes em 0,07%, 0,06% e 0,07%; (4) + R\$ 1,00 na renda *per capita* reduziria a oferta em 1%, 1,25% e 1,57%; por último, (5) +1% na proporção de multas pagas teria o impacto de reduzir os crimes ambientais em 0,07%, 0,12% e 0,11%. A variável *área lavouras temporárias* somente foi significativa para o modelo de crimes contra à flora, indicando que uma elevação de um ha na área teria um impacto pequeno de apenas 0,044% na oferta deste tipo de crime.

A partir das estimações das Tabelas 2.2 e 2.3, pode-se observar que os principais determinantes da ampliação da oferta de crimes são a renda do crime, o número de indivíduos sem instrução por município, o efetivo do rebanho bovino e a área com lavouras permanentes. Já os fatores de renda *per capita* municipal e proporção de multas pagas por município tendem a reduzir as ocorrências destes crimes.

---

<sup>10</sup> As variáveis binárias *psa, gestore fornt* foram excluídas do cálculo dos efeitos marginais em termos de elasticidade por serem discretas.

Tabela 2.3 – Resultados coeficientes (efeitos marginais em termos de elasticidade).

Total de Crimes Ambientais		Crimes contra à Fauna e Flora		Crimes contra à Flora	
Variáveis Independentes	Coefficientes	Variáveis Independentes	Coefficientes	Variáveis Independentes	Coefficientes
Renda do crime	1,05994*	Renda do crime	1,28838*	Renda do crime	1,59596*
Renda <i>per capita</i>	-0,99763*	Renda <i>per capita</i>	-1,25386*	Renda <i>per capita</i>	-1,56690*
Indivíduos sem instrução	0,21073*	Indivíduos sem instrução	0,16261*	Indivíduos sem instrução	0,11820*
Proporção multas pagas	-0,06760*	Proporção multas pagas	-0,11706*	Proporção multas pagas	-0,10624*
Rebanho bovino	0,27879*	Rebanho bovino	0,33137*	Rebanho bovino	0,46284*
Área lavouras temporárias	-0,00157	Área lavouras temporárias	0,01652	Área lavouras temporárias	0,04391**
Área lavouras permanentes	0,06693*	Área lavouras permanentes	0,06586*	Área lavouras permanentes	0,06964**
Amostra	8.935	Amostra	8.935	Amostra	8.935

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em IBAMA (2020) e IBGE (2020).

### 3 DESMATAMENTO E QUEIMADAS NO BRASIL: ANÁLISE DOS DETERMINANTES SOB A ÓTICA INSTITUCIONAL

Quando se pensa em crime de maneira geral, o papel das instituições aparece como tema fundamental para entender o fenômeno. Na abordagem de Becker (1968), estes agentes estão representados, visto que influenciam de maneira direta ou indireta na probabilidade  $p$  de um criminoso ser identificado e punido, na punição  $f$  e em outras características em  $u$ . Quando se trata de crime ambiental isso não é diferente, autores a exemplo de Assunção, Gandour e Rocha (2013), Evans (2016), Cochran *et al.* (2018), White (2011), Simon (2000), Brisman e South (2019) e Herawati e Santoso (2011), incluem o fator institucional como parte de suas análises a respeito de crimes ambientais. Neste sentido, partindo do arcabouço de Becker (1968), este trabalho amplia a discussão trazendo novas evidências de como características institucionais particulares associadas a regiões específicas do Brasil consistem em importantes determinantes da oferta dos crimes ambientais, com enfoque particular na análise de desmatamento e/ou queimadas.

Visando alcançar tal objetivo, primeiramente se especificou o modelo empírico utilizado para estimar os coeficientes por meio do banco de dados PERFIL17, que contém informações a respeito da gestão do meio ambiente para os municípios brasileiros. A escolha de modelos Logit se deveu ao fato de as informações disponibilizadas pelos dados serem de caráter binário e também pela clareza com que esses modelos apresentam os resultados através da análise das probabilidades em termos de razões de probabilidade, como será visto adiante. Os modelos Logit também permitiram verificar as probabilidades de ocorrência desses crimes associadas aos Estados da Federação, trazendo evidências para a análise e demonstrando relevância da existência e da qualidade das instituições no combate ao crime ambiental.

#### 3.1 BASE DE DADOS

Além da base IBAMA-SIDRA-PERFIL foi construída uma outra base somente com as informações para 2017 da base Perfil dos Municípios. Esta base (PERFIL17) tem informações binárias para os 5.570 municípios brasileiros somente para o ano de 2017 e tem como foco principal o questionário sobre gestão do meio ambiente. Os crimes ambientais para os quais informações foram coletadas na PERFIL17 são desmatamento, queimadas e todas as outras categorias somadas (secas, enxurradas, poluição do ar, poluição de algum corpo d'água, assoreamento de algum corpo d'água, diminuição da vazão de algum corpo d'água,

contaminação do solo por agrotóxicos ou fertilizantes, perda de solos por erosão e/ou desertificação, degradação de áreas legalmente protegidas, diminuição da biodiversidade, existência de moradia em situação de risco, outros<sup>11</sup>). Importante salientar que, devido às características do banco de dado e para facilitar a análise, os danos ambientais foram considerados como crimes. Isto também se justifica pelo fato de o número de observações referentes as ocorrências de danos ambientais ser menos elevado.

Na Tabela 3.1 estão as estatísticas descritivas e descrição das variáveis da base PERFIL17 utilizadas nos modelos Logit para o ano de 2017. Os dados mostram que aproximadamente 70% dos municípios brasileiros registraram algum crime ambiental, cerca de 18% para desmatamento e 33% tiveram ocorrências de desmatamento/queimadas. Apenas 18% dos municípios tem algum tipo de legislação local de combate a danos e crimes ambientais, apenas 36% tem gestor de meio ambiente com nível superior, 65% têm conselho municipal de desenvolvimento rural e 74% possuem conselho municipal gestor do meio ambiente, mas apenas 29% dos municípios têm conselho do meio ambiente com caráter fiscalizador.

---

<sup>11</sup>O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) não especificou de maneira desagregada quais crimes se referem à categoria chamada Outros.

Tabela 3.1 – Descrição das variáveis para os modelos Logit – Brasil – ano 2017.

Variáveis	Observações	Média	Desvio-padrão
yc (Variável binária igual a 1 se ocorreu crime ambiental para o ano de 2017)	5.570	0,6822262	0,4656528
ydes (Variável binária igual a 1 se ocorreu desmatamento para o ano de 2017)	5.570	0,1820467	0,3859176
ydq (Variável binária igual a 1 se ocorreu desmatamento e/ou queimada para o ano de 2017)	5.570	0,3324955	0,4711498
leg (Variável binária se o município tem alguma legislação ou instrumento de gestão ambiental)	5.570	0,8132855	0,3897172
pop1 (Variável binária igual a 1 se o município tem população até 5.000 hab.)	5.570	0,2217235	0,4154434
pop2 (Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 5.001 a 10.0000 hab.)	5.570	0,2181329	0,4130152
pop3 (Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 10.001 a 20.0000 hab.)	5.570	0,2427289	0,428771
pop4 (Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 20.001 a 50.0000 hab.)	5.570	0,1980251	0,398547
pop5 (Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 50.001 a 100.0000 hab.)	5.570	0,0637343	0,2443009
pop6 (Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 100.001 a 500.0000 hab.)	5.570	0,0481149	0,2140282
pop7 (Variável binária igual a 1 se o município tem população superior a 500.0000 hab.)	5.570	0,0075404	0,0865152
centro (Variável binária igual a 1 se o município tem centro de comercialização de produtos da extração vegetal)	5.570	0,0850987	0,2790536
gestor (Variável binária igual a 1 se o gestor de órgão ambiental tem nível superior completo)	5.570	0,3563734	0,4789703
conrural (Variável binária igual a 1 se o município tem conselho de desenvolvimento rural)	5.570	0,6588869	0,4741258
confisc (Variável binária igual a 1 se o município tem conselho de meio ambiente com caráter fiscalizador)	5.570	0,2888689	0,4532776

(continua)

Tabela 3.1 – Descrição das variáveis para os modelos Logit – Brasil – ano 2017.

Variáveis	Observações	Média	Desvio-padrão
conamb (Variável binária igual a 1 se o município tem conselho municipal gestor do meio ambiente)	5.570	0,7414722	0,4378648

(conclusão)

Onde: hab – Habitante(s).

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE.

### 3.2 MODELO EMPÍRICO<sup>12</sup>

Os dados disponíveis para o ano de 2017 irão permitir analisar os crimes ambientais por meio de um modelo Logit em razão de probabilidade. A principal contribuição aqui não se dá do ponto de vista do método, mas sim fazer uma análise por meio da Pesquisa de Informações Básicas Municipais, ano 2017, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2020a), a qual possui um rico questionário sobre gestão de meio ambiente em nível municipal.

Como descrito em Cameron e Trivedi (2005), de modo geral, o modelo Logit assume que

$$Pr[y = 1|x] = p = \frac{e^{x'\beta}}{1+e^{x'\beta}} = \Lambda(x'\beta) \quad (3.1)$$

$$Pr[y = 0|x] = 1 - p = 1 - \frac{e^{x'\beta}}{1+e^{x'\beta}} = 1 - \Lambda(x'\beta) \quad (3.2)$$

sendo  $x$  um vetor de variáveis explicativas,  $\beta$  um vetor de parâmetros que reflete o impacto das variáveis de controle ( $x$ ) na probabilidade de ocorrência do crime ambiental e  $\Lambda$  uma função logística com valores limitados entre 0 e 1.

A interpretação dos efeitos dos determinantes sobre a probabilidade de ocorrência de um dado crime ambiental é feita em termos de razão de probabilidade (*oddsratio*). Para o modelo Logit, conforme Cameron e Trivedi (2005) e considerando que:  $Pr[y = 1|x] = p = \frac{e^{x'\beta}}{1+e^{x'\beta}}$  e  $Pr[y = 0|x] = 1 - p = 1 - \frac{e^{x'\beta}}{1+e^{x'\beta}} = \frac{1}{1+e^{x'\beta}}$ , a razão de probabilidade é dada por

<sup>12</sup> Este tópico foi elaborado com base em Cameron e Trivedi (2005) e Greene (2004).

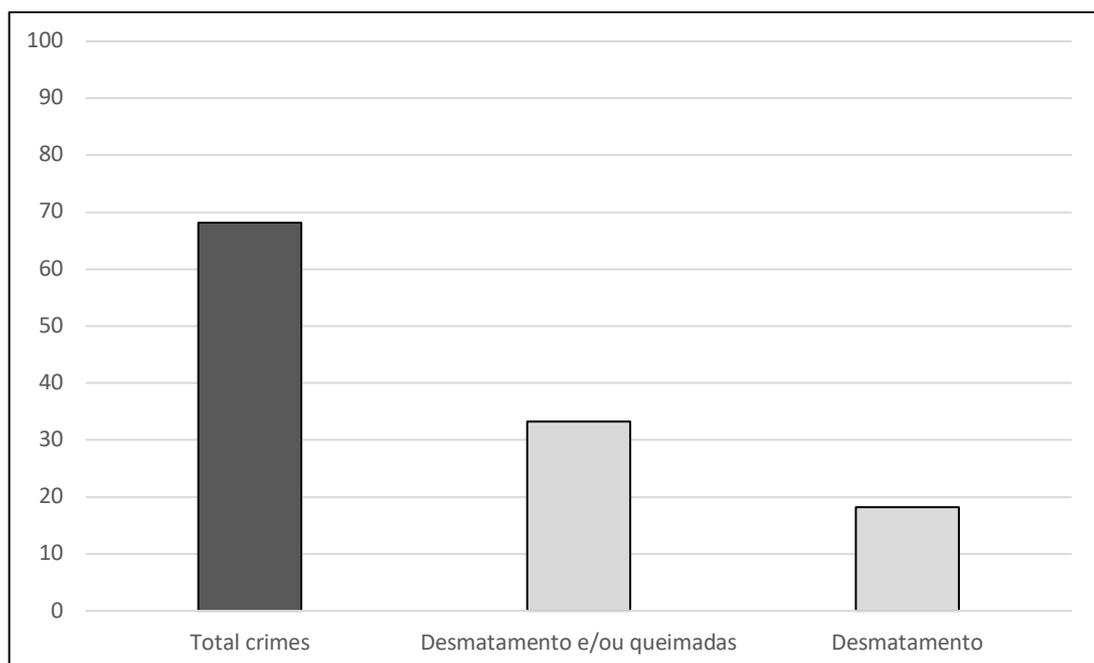
$\frac{p}{1-p} = \frac{\frac{e^{x'\beta}}{1+e^{x'\beta}}}{\frac{1}{1+e^{x'\beta}}} = e^{x'\beta}$  ou ainda  $\ln \frac{p}{1-p} = x'\beta$ . Que mensura a probabilidade de ocorrer o crime ambiental ( $y = 1$ ) em relação a probabilidade de não ocorrer ( $y = 0$ ) e é chamada de razão de probabilidade ou risco relativo.

A interpretação destas razões segue método indicado por Cameron e Trivedi (2005), por exemplo, uma razão de probabilidade com valor 2 indica que a probabilidade de ocorrência do crime ambiental é duas vezes maior.

Serão estimados três modelos para verificar a influência de determinados fatores institucionais na probabilidade de ocorrência de todos os crimes somados, desmatamento e/ou queimadas e desmatamento para o ano de 2017. A partir da identificação dos determinantes destes crimes, será analisado o perfil das localidades em que as probabilidades de ocorrência dos delitos ambientais são maiores e em qual magnitude essas chances se alteram dependendo destas características.

No Gráfico 3.1, a seguir, estão as proporções de municípios brasileiros onde ocorreram crimes ambientais por tipologia de crimes, para o ano de 2017. As proporções indicadas mostram que quase 70% dos municípios brasileiros registraram algum tipo de crime ambiental, cerca de 32% apresentaram crimes de desmatamento e /ou queimadas e quase 20% somente crimes de desmatamento.

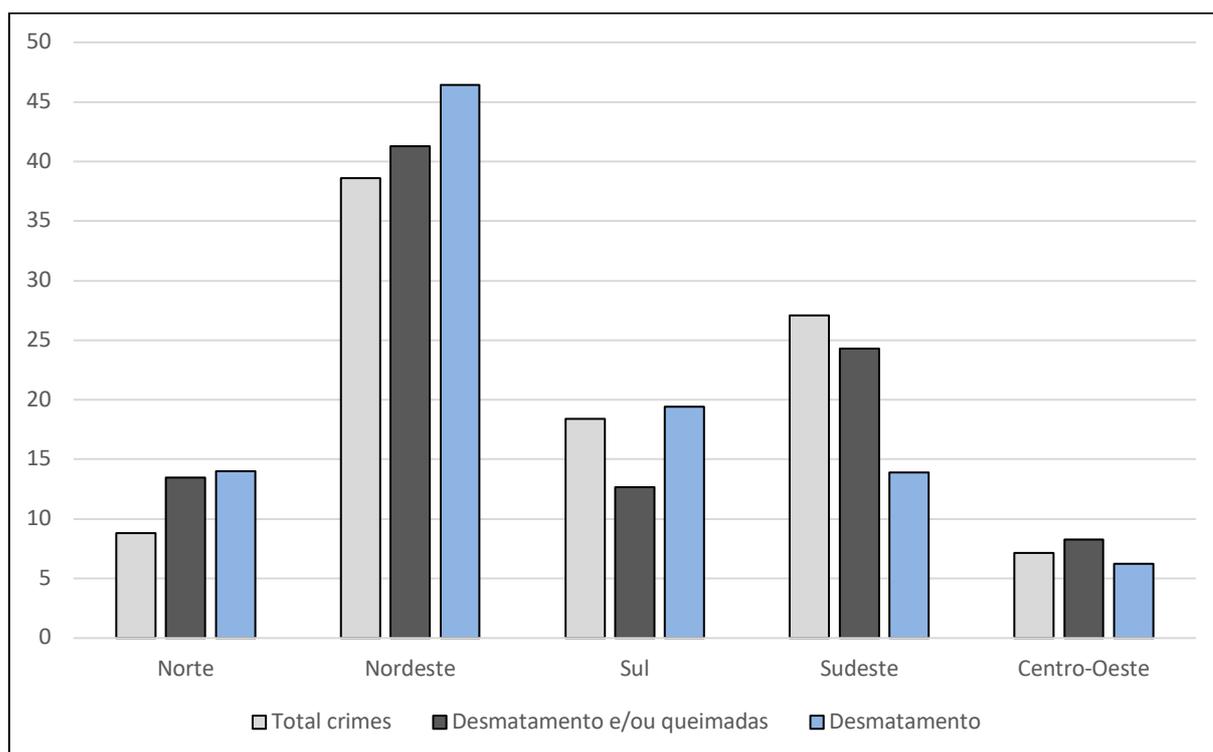
Gráfico 3.1 – Proporção de crimes ambientais registrados por município – Brasil – ano 2017.



Fonte: Elaboração própria com base em informações do IBGE (2020a).

No Gráfico 3.2, a seguir, consta a comparação das proporções de crimes ambientais para as grandes regiões brasileiras para 2017. Já no Quadro 3.1, a seguir, consta a especificação das variáveis dos modelos estimados.

Gráfico 3.2 – Proporção de crimes ambientais registrados por município para grandes regiões do Brasil – ano 2017.



Fonte: Elaboração própria com base em informações do IBGE (2020a).

Para os modelos Logit e Logit em razão de probabilidade foram considerados como crimes ambientais, devido às características do banco de dados da Pesquisa de Informações Básicas Municipais, ano 2017, do IBGE (2020a) e da Lei de Crimes Ambientais (Lei n 9.605, de 12 de fevereiro de 1998) (BRASIL, 1998), as seguintes ocorrências: condições climáticas extremas (secas, enchurradas), poluição do ar, poluição de algum corpo d'água, assoreamento de algum corpo d'água, diminuição da vazão de algum corpo d'água, desmatamentos, queimadas, Contaminação do solo (por agrotóxicos, fertilizantes), Perda de solos por erosão e/ou desertificação (voçorocas, arenização), Degradação de áreas legalmente protegidas, Diminuição da biodiversidade (fauna e flora), Existência de moradia em situação de risco ambiental, Falta de saneamento (destinação inadequada do esgoto doméstico), Outros. Importante salientar que o IBGE, na pesquisa em questão, não especificou de maneira desagregada, quais crimes se referem a categoria chamada Outros.

Quadro 3.1 – Variáveis da oferta de crimes ambientais para modelos Logit – Brasil – ano 2017.

Variáveis	Descrição	Equivalência com Argumentos da Função Crime de Becker – Equação (2.7)	Equivalência com da Função Crime Ambiental – Equação (2.16)	Sinal Esperado
yc	Variável binária igual a 1 se ocorreu crime ambiental para o município no ano de 2017.	$A$	$OA$	Não se aplica
ydes	Variável binária igual a 1 se ocorreu desmatamento para o município no ano de 2017.	$A$	$OA$	Não se aplica
ydq	Variável binária igual a 1 se ocorreu desmatamento e/ou queimada para o município no ano de 2017.	$A$	$OA$	Não se aplica
leg	Variável binária igual a 1 se o município tem alguma legislação ou instrumento de gestão ambiental.	$p$ e também $f$	$p$ e também $f$	Negativo
pop1	Variável binária igual a 1 se o município tem população até 5.000 ha.	$u$	$z$	Variável de referência
pop2	Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 5.001 a 10.000 ha.	$u$	$z$	Positivo
pop3	Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 10.001 a 20.000 ha.	$u$	$z$	Positivo
pop4	Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 20.001 a 50.000 ha.	$u$	$z$	Positivo

(continua)

Quadro 3.1 – Variáveis da oferta de crimes ambientais para modelos Logit – Brasil – ano 2017.

Variáveis	Descrição	Equivalência com Argumentos da Função Crime de Becker – Equação (2.7)	Equivalência com da Função Crime Ambiental – Equação (2.16)	Sinal Esperado
pop5	Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 50.001 a 100.000 há.	$u$	$z$	Positivo
pop6	Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 100.001 a 500.000 ha.	$u$	$z$	Positivo
pop7	Variável binária igual a 1 se o município tem população superior a 500.000 há.	$u$	$z$	Positivo
centro	Variável binária igual a 1 se o município tem centro de comercialização de produtos da extração vegetal.	$u$	$z$	Positivo
gestor	Variável binária igual a 1 se o gestor de órgão ambiental tem nível superior completo.	$p$	$p$	Negativo
conrural	Variável binária igual a 1 se o município tem conselho de desenvolvimento rural.	$p$	$p$	Negativo
confisc	Variável binária igual a 1 se o município tem conselho de meio ambiente com caráter fiscalizador.	$p$	$p$	Negativo

(continuação)

Quadro 3.1 – Variáveis da oferta de crimes ambientais para modelos Logit – Brasil – ano 2017.

Variáveis	Descrição	Equivalência com Argumentos da Função Crime de Becker – Equação (2.7)	Equivalência com da Função Crime Ambiental – Equação (2.16)	Sinal Esperado
conamb	Variável binária igual a 1 se o município tem conselho municipal gestor do meio ambiente.	$p$	$p$	Negativo

(conclusão)

Fonte: Elaboração própria com base em Becker (1968).

Com relação às variáveis acima descritas, as hipóteses levantadas são de que as variáveis *leg*, *gestor*, *conrural*, *confisc*, *conamb*, conseguem representar características institucionais em relação à gestão do meio ambiente e influenciam na probabilidade de ocorrência dos crimes ambientais analisados. *Leg* seria uma variável equivalente para punição e probabilidade do criminoso ser identificado e condenado; *centro* visa verificar possível pressão de atividades extrativas e as variáveis binárias em classe de população buscam analisar se há pressão populacional sobre a probabilidade de ocorrência dos crimes analisados. Por último, as variáveis de caráter *z* representariam variáveis de controle. Neste contexto a função de oferta de crimes ambientais pode então ser representada em termos gerais como

$$OA_{j,t} = OA(\text{leg}_{j,t}, \text{centro}_{j,t}, \text{gestor}_{j,t}, \text{conrural}_{j,t}, \text{confisc}_{j,t}, \text{conamb}_{j,t}, \mathbf{z}_{j,t}) \quad (3.3)$$

com *z* sendo um vetor de variáveis contendo *pop2*, *pop3*, *pop4*, *pop5*, *pop6*.

Para a variável legislação foi considerado variável binária igual a 1 se o município tem alguma legislação ou instrumento de gestão ambiental nos temas a seguir: sobre coleta seletiva de resíduos sólidos, saneamento básico, gestão de bacias hidrográficas, área e/ou zona de proteção ou controle ambiental, destino das embalagens utilizadas em produtos agrotóxicos, poluição do ar, permissão de atividades extrativas minerais, fauna silvestre, florestas, proteção a biodiversidade, adaptação e mitigação de mudança do clima.

### 3.3 ESTIMAÇÃO

As estimativas, considerando todos os crimes ambientais analisados neste trabalho para o ano de 2017, encontram-se na Tabela 3.2, a seguir. Em sua maioria, os coeficientes encontrados foram estatisticamente significantes e os valores do pseudo  $R^2$ , que indicam o ajuste dos modelos, estão de acordo com o esperado.

Para todos os modelos de crimes ambientais (todos os delitos, desmatamento e/ou queimadas) aqui analisados, a variável legislação (*proxy* para punição e probabilidade de aprisionamento) apresenta o sinal esperado. Assim, regiões onde há algum tipo de legislação ambiental em nível local (além da Lei de Crimes Ambientais) teriam uma probabilidade menor de ocorrência destes delitos. O resultado corrobora Assunção, Gandour e Rocha (2013), os quais verificam o impacto da aplicação da legislação ambiental sobre o crime e está de acordo também com os argumentos utilizados por Tacconi e Muttaqin (2019) e Uhr e Uhr (2014), Quah e Siddiqui (2004).

A literatura traz evidências de que o fator população pode exercer pressão sobre o meio ambiente, como mostram Kirby *et al.* (2006), Malingreau, Eva e Miranda (2012), Schuch, Balbinotto Neto e Uhr. (2016), Audi e Ali (2018), Ali e Audi (2016a, 2016b) e Dogandjieva (2008). Estas evidências estão condizentes com os resultados aqui encontrados e com os sinais esperados. Os coeficientes foram positivos para todas as categorias de população consideradas neste trabalho. Porém, ao se comparar as categorias, para todos os crimes ambientais analisados, os locais mais populosos teriam maior probabilidade de ocorrência dos delitos.

Algumas variáveis institucionais apresentam resultados importantes quando todos os crimes ambientais são verificados (modelo 1). O impacto sobre a probabilidade de ocorrência destes delitos é negativo (como esperado no Quadro 3.1) caso a localidade tenha um conselho municipal de desenvolvimento rural e se o gestor de meio ambiente possui nível superior. Resultado corroborado também por Evans (2016), o qual argumenta como fatores de caráter institucional podem induzir a ação humana e provocar assim a perda de coberturas florestais. Salienta-se que resultados semelhantes foram encontrados para desmatamento e/ou queimadas, com exceção da variável gestor com nível superior que não foi significativa.

Tabela 3.2 – Resultados das estimações dos modelos Logit por características municipais – Brasil – ano 2017.

Total de Crimes Ambientais		Desmatamento e/ou Queimadas		Desmatamento	
Características Municipais	Coefficientes	Características Municipais	Coefficientes	Características Municipais	Coefficientes
Legislação	-0,86579*	Legislação	-0,52286*	Legislação	-0,55554*
Pop. de 5001 até 10000	0,39055*	Pop. de 5001 até 10000	0,19170**	Pop. de 5001 até 10000	0,26698**
Pop. de 10001 até 20000	0,77090*	Pop. de 10001 até 20000	0,47087*	Pop. de 10001 até 20000	0,59412*
Pop. de 20001 até 50000	1,06710*	Pop. de 20001 até 50000	0,66471*	Pop. de 20001 até 50000	0,78788*
Pop. de 50001 até 100000	1,83060*	Pop. de 50001 até 100000	0,91511*	Pop. de 50001 até 100000	0,87454*
Pop. de 100001 até 500000	1,97655*	Pop. de 100001 até 500000	0,58825*	Pop. de 100001 até 500000	0,36219**
Pop. maior que 500000	2,18325*	Pop. maior que 500000	-0,24503	Pop. maior que 500000	-0,22493
Tem centro comercial de prod. da extração vegetal	0,11550	Tem centro comercial de prod. da extração vegetal	0,07476	Tem centro comercial de prod. da extração vegetal	0,25458**
Tem gestor ambiental com nível superior	-0,11919***	Tem gestor ambiental com nível superior	-0,01968	Tem gestor ambiental com nível superior	-0,18454*
Tem conselho municipal desenv. rural	-0,11839***	Tem conselho municipal desenv. rural	-0,32333*	Tem conselho municipal desenv. rural	-0,24855*
Tem conselho municipal fiscalizador	-0,09155	Tem conselho municipal fiscalizador	0,09376	Tem conselho municipal fiscalizador	0,07300
Tem conselho de gestão ambiental	0,00087	Tem conselho de gestão ambiental	-0,04262	Tem conselho de gestão ambiental	-0,12977***
Amostra	5570	Amostra	5570	Amostra	5570
PseudoR <sup>2</sup>	0,0708	PseudoR <sup>2</sup>	0.0315	PseudoR <sup>2</sup>	0.0321
Log likelihood	-3235,7467	Log likelihood	-3430,4915	Log likelihood	-2557,9738

(continua)

Tabela 3.2 – Resultados das estimações dos modelos Logit por características municipais – Brasil – ano 2017.

Total de Crimes Ambientais		Desmatamento e/ou Queimadas		Desmatamento	
Características Municipais	Coefficientes	Características Municipais	Coefficientes	Características Municipais	Coefficientes
(Prob> chi2)	0,0000	(Prob> chi2)	0,0000	(Prob> chi2)	0,0000
					(conclusão)

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em informações do IBGE (2020a).

Os resultados para desmatamento reforçam as evidências encontradas pelos outros modelos. Como esperado, a existência de legislação implica uma redução da probabilidade de ocorrência deste crime; como a existência de conselho de gestão do meio ambiente e conselho de desenvolvimento rural seriam importantes para a redução da probabilidade de ocorrência de desmatamento. A escolaridade do gestor de meio ambiente aí também aparece como um fator importante para que haja redução da chance de ocorrência.

### 3.4 INTERPRETAÇÃO EM TERMOS DE RAZÃO DE PROBABILIDADE

No tópico anterior foram demonstradas, por meio da análise dos sinais dos coeficientes estimados, evidências de quais seriam os determinantes dos crimes selecionados considerando o perfil municipal. Porém não foi analisado a magnitude das probabilidades de um evento (crime ambiental) ocorrer ( $Y = 1$ ) ou não ocorrer ( $Y = 0$ ). De acordo com estas características particulares de cada região, para tal finalidade, na Tabela 3.3, a seguir, têm-se as estimativas dos modelos Logit em razões de probabilidade para o ano de 2017.

Com relação a variável legislação, a chance de ocorrência de qualquer crime ambiental (modelo 1) foi 58% inferior, 41% menor para desmatamento e/ou queimadas (modelo 2) e 43% mais baixa para desmatamento (modelo 3). Ao analisar os três modelos para os crimes ambientais aqui estudados, as probabilidades de ocorrência se ampliam à medida que a população aumenta em comparação à categoria de referência que seria de municípios com até 5 mil hab., sejam estes crimes considerados em conjunto, desmatamento e/ou queimadas ou para desmatamento em separado.

Para aquelas localidades que possuem gestor de meio ambiente, quando este tem nível superior, a chance de algum crime ocorrer seria 11% inferior para o modelo 1 e 17% menor para o crime de desmatamento. Este fato pode sugerir a importância não somente da existência de um gestor, mas também que a maior qualificação deste seria um fator relevante para se alcançar a redução das ocorrências de crimes ambientais.

Considerando mais uma vez o modelo 1 (todos os crimes ambientais), há evidências de que regiões que têm conselhos municipais de desenvolvimento rural apresentam probabilidade de ocorrência destes delitos 11% inferior. Já para desmatamento e/ou queimadas essa probabilidade de evento ocorrer é 27% mais baixa, e para desmatamento, somente, a chance seria 22% inferior. Isto pode estar relacionado ao papel desempenhado pelos conselhos locais e sua relação com a elaboração de políticas públicas rurais e sua articulação com os diversos agentes, sejam estes o governo ou organizações da sociedade civil.

Tabela 3.3 – Resultados das estimações dos modelos Logit por características municipais (em razões de probabilidade) – Brasil – ano 2017.

Total de Crimes Ambientais (Modelo 1)		Desmatamento e/ou Queimadas (Modelo 2)		Desmatamento (Modelo 3)	
Características Municipais	Coefficientes	Características Municipais	Coefficientes	Características Municipais	Coefficientes
Legislação	0,42072*	Legislação	0,59282*	Legislação	0,57376*
Pop. de 5001 até 10000	1,47779*	Pop. de 5001 até 10000	1,21131**	Pop. de 5001 até 10000	1,30601**
Pop. de 10001 até 20000	2,16171*	Pop. de 10001 até 20000	1,60139*	Pop. de 10001 até 20000	1,81143*
Pop. de 20001 até 50000	2,90693*	Pop. de 20001 até 50000	1,94392*	Pop. de 20001 até 50000	2,19873*
Pop. de 50001 até 100000	6,23762*	Pop. de 50001 até 100000	2,49704*	Pop. de 50001 até 100000	2,39778*
Pop. de 100001 até 500000	7,21779*	Pop. de 100001 até 500000	1,80084*	Pop. de 100001 até 500000	1,43648**
Pop. maior que 500000	8,87512*	Pop. maior que 500000	0,78268	Pop. maior que 500000	0,79857
Tem centro comercial de prod. da extração vegetal	1,12243	Tem centro comercial de prod. da extração vegetal	1,07762	Tem centro comercial de prod. da extração vegetal	1,28992**
Tem gestor ambiental com nível superior	0,88764***	Tem gestor ambiental com nível superior	0,98051	Tem gestor ambiental com nível superior	0,83149*
Tem conselho municipal desenv. rural	0,88835***	Tem conselho municipal desenv. rural	0,72374*	Tem conselho municipal desenv. rural	0,77993*
Tem conselho municipal fiscalizador	0,91252	Tem conselho municipal fiscalizador	1,09830	Tem conselho municipal fiscalizador	1,07573
Tem conselho de gestão ambiental	1,00087	Tem conselho de gestão ambiental	0,95828	Tem conselho de gestão ambiental	0,87830***
Amostra	5570	Amostra	5570	Amostra	5570
PseudoR <sup>2</sup>	0,0708	PseudoR <sup>2</sup>	0.0315	PseudoR <sup>2</sup>	0.0321
Log likelihood	-3235,7467	Log likelihood	-3430,4915	Log likelihood	-2557,9738

(continua)

Tabela 3.3 – Resultados das estimações dos modelos Logit por características municipais (em razões de probabilidade) – Brasil – ano 2017.

<b>Total de Crimes Ambientais (Modelo 1)</b>		<b>Desmatamento e/ou Queimadas (Modelo 2)</b>		<b>Desmatamento (Modelo 3)</b>	
<b>Características Municipais</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Características Municipais</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Características Municipais</b>	<b>Coefficientes</b>
(Prob> chi2)	0,0000	(Prob> chi2)	0,0000	(Prob> chi2)	0,0000
					(conclusão)

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em informações do IBGE.

Ao analisar o modelo para desmatamento em particular, alguns resultados merecem destaque além das evidências já demonstradas anteriormente. As classes de população que apresentam maior probabilidade de ocorrência de desmatamento as entre 20001 a 50000 hab. e entre 50001 a 100000 hab., apresentando respectivamente chances 198% e 140% maior de ocorrência quando comparado à categoria base (5000 hab.). Salientando, mais uma vez, que todas as categorias de população apresentaram probabilidades maiores que a referência.

Outra evidência sugere que os municípios que possuem centro comercial para comercialização de produtos da extração vegetal apresentariam probabilidade de ocorrência do evento 29% superior àqueles que não têm tais estabelecimentos. Já localidades que têm conselho municipal de gestão do meio ambiente teriam probabilidade de ocorrência de desmatamento 12% inferior. Este último resultado pode sugerir um importante papel a ser desempenhado pelos conselhos municipais de gestão do meio ambiente.

Visando analisar em quais Estados os municípios teriam maior probabilidade de ocorrência dos crimes ambientais, os modelos da Tabela 3.3 foram estimados novamente em razões de probabilidade substituindo as variáveis independentes por variáveis binárias que representam em qual estado da federação ocorreu o delito, assim, cada uma destas seria igual a 1 caso o delito tivesse acontecido na unidade federativa a qual a variável representa. Os resultados das estimações têm-se, a seguir, na Tabela 3.4, onde o Estado de São Paulo foi tomado como referência, pois apresenta a maior frequência de ocorrência dos crimes.

Tabela 3.4 – Resultados das estimações dos modelos Logit por Regiões e Estados da Federação (em razões de probabilidade) – ano 2017.

<b>Região</b>	<b>Estado</b>	<b>Total de Crimes Ambientais (Modelo 1)</b>	<b>Desmatamento e/ou Queimadas (Modelo 2)</b>	<b>Desmatamento (Modelo 3)</b>
Norte	Acre	1,55044	1,74779	3,92157*
	Amapá	2,65790***	3,24590**	1,90476
	Amazonas	2,00508*	3,06557*	5,03704*
	Pará	4,66095*	3,74336*	11,28205*
	Rondônia	1,41754	1,85137**	5,92593*
	Roraima	3,54386**	5,04918*	4,84848*
	Tocantins	2,27171*	3,32404*	3,98754*

(continua)

Tabela 3.4 – Resultados das estimações dos modelos Logit por Regiões e Estados da Federação (em razões de probabilidade) – Brasil – ano 2017.

Região	Estado	Total de Crimes Ambientais (Modelo 1)	Desmatamento e/ou Queimadas (Modelo 2)	Desmatamento (Modelo 3)
Nordeste	Alagoas	6,64474*	0,77680	2,66667*
	Bahia	7,14550*	2,95850*	8,64295*
	Ceará	11,65384*	3,35547*	6,29333*
	Maranhão	1,71207*	2,89953*	5,57734*
	Paraíba	3,50448*	0,71095**	1,83673**
	Pernambuco	4,57749*	1,30368	4,80392*
	Piauí	4,47772*	3,82944*	4,55090*
	Rio Grande do Norte	2,33047*	0,57546*	2,12963*
	Sergipe	1,88268*	0,73997	2,29167**
Sul	Paraná	0,84688	0,48231*	1,69492**
	Rio Grande do Sul	1,68903*	0,94149	4,33778*
	Santa Catarina	1,34788**	0,35091*	1,50943***
Sudeste	Espírito Santo	12,93507*	0,93011	1,52381
	Minas Gerais	1,52850*	0,82973	1,24786
	Rio de Janeiro	3,64230*	1,55019***	2,59740*
	São Paulo	-	-	-
Centro-Oeste	Goiás	1,05999	1,08616	1,57576***
	Mato Grosso	1,23134	2,03909*	3,60360*
	Mato Grosso do Sul	1,91368*	0,59170***	1,09589
	Distrito Federal	(-)*****	(-)*****	(-)*****
Amostra	5.570	5.570	5.570	
PseudoR <sup>2</sup>	0,0703	0,0789	0,0810	
Log likelihood	-3237.1299	-3261.4752	-2427.2222	
(Prob> chi2)	0,0000	0,0000	0,000	

(conclusão)

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; \*\*\* Significativo a 10%; e, \*\*\*\* Unidade da Federação omitida por existência de apenas uma observação.

Fonte: Dados da pesquisa com base em informações do IBGE.

Analisando o modelo 1, verifica-se que, em geral, os Estados que apresentam maior probabilidade de ocorrência são aqueles localizados nas Regiões Norte e Nordeste, com destaque para Roraima, Pará, Tocantins, Amapá, Piauí, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Alagoas

e Bahia. Para outras regiões, evidencia-se os Estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro, os quais apresentaram elevada probabilidade de ocorrência dos crimes ambientais analisados em comparação com a categoria de referência. Essas evidências são semelhantes às encontradas quando considerados os crimes de desmatamento e/ou queimadas (modelo 2).

Para desmatamento (modelo 3), alguns Estados apresentam elevada probabilidade de ocorrência deste crime, podendo sugerir que regiões aí localizadas tendem a ter chances mais elevadas de que este delito ocorra. Neste contexto, este modelo foi o que apresentou as probabilidades mais elevadas de ocorrência; os resultados sugerem que a chance de ocorrência seriam maiores para Rondônia (492%), Roraima (384%), Acre (292%), Amazonas (403%), Pará (1028%), Tocantins (299%), Maranhão (457%), Piauí (355%), Ceará (529%), Bahia (764%). Para o Sudeste se sobressai o Rio de Janeiro (160%). Já para a Região Centro-Oeste, destaca-se o Estado do Mato Grosso com probabilidade de ocorrência do delito analisado neste modelo superior a 260% e Goiás com 57%.

#### 4 OCORRÊNCIA, SUBNOTIFICAÇÃO E IMINÊNCIA DE CRIMES AMBIENTAIS NO BRASIL<sup>13</sup>

A subnotificação das ocorrências de crimes em geral são um problema corriqueiro no qual os pesquisadores se deparam constantemente em suas análises empíricas e autores como Sant'ana, Guimarães e Vital (2021), Ribeiro (2018) e Carneiro *et al.* (2012) apontam a existência deste problema nos registros também para o contexto de crimes ambientais. De fato, ao considerarmos a base de dados dos anos 2011 e 2015, podemos observar uma grande quantidade de municípios onde não há registro de ocorrência alguma. Por exemplo, no caso de crimes contra a flora, não há registro de ocorrências em 54% dos municípios e se adicionarmos ao número de crimes contra flora os crimes contra a fauna, essa porcentagem é de 30%. A questão subjacente aqui é se este zero observado é de fato zero, ou se refere à subnotificação explícita ou implícita. A subnotificação explícita se refere àqueles locais onde houve um crime não registrado e subnotificação implícita aos locais onde não houve ocorrência de crime ambiental, mas dadas as suas características, a ocorrência é iminente.

Partindo dessa percepção, surge a necessidade de utilização de modelos estatísticos que possam levar em consideração essa característica da base de dados como, por exemplo, modelos de dados censurados. Esses modelos, permitem levar em consideração a possibilidade de o zero observado não ser de fato zero, e dadas as características do agente (no caso, um município), imputar um valor esperado de ocorrências.

A análise partirá da construção de um modelo de dados censurados para a estimação da equação de oferta de crimes ambientais, definida em termos gerais pela Equação (1.14) para a análise os determinantes dos crimes contra a flora (modelo 1) e contra a fauna e/ou flora (modelo 2). Após esta primeira análise, proceder-se-á com a normalização das variáveis dos modelos com o objetivo de categorizar os determinantes dos crimes ambientais em ordem de relevância. Por fim, para entender melhor como se dá a formação da oferta destes delitos, se procedeu com a estimação da decomposição do efeito Tobit (MCDONALD; MOFFIT, 1980), permitindo separar o impacto na ocorrência de crimes ambientais devido a mudanças marginais nos valores das variáveis independentes daquele derivado da probabilidade de ocorrência do delito, como será melhor explicado logo adiante.

---

<sup>13</sup> Este tópico foi elaborado com base nas seguintes referências: McDonald e Moffit (1980), Cameron e Trivedi (2005), UCLA (2021) e Alston, Libecap e Mueller (2000). Considerando a hipótese de que não houve mudanças temporais significativas do período 2011-2015 para o ano de 2017, algumas variáveis do questionário de gestão ambiental da pesquisa de Perfil Municipal para o ano de 2017 do IBGE, foram utilizadas como constantes para os cinco anos analisados nos modelos Tobit.

As evidências empíricas aqui encontradas trazem resultados mais robustos para análise dos crimes ambientais, tendo em vista que contorna e lida com um dos principais problemas com que os pesquisadores se deparam em suas análises empíricas sobre o fenômeno crime, a subnotificação dos registros das ocorrências dos delitos.

#### 4.1 BASE DE DADOS

A base de dados utilizada no trabalho foi a IBAMA-SIDRA-PERFIL, a mesma usada nas estimações dos modelos de dados em painel com efeitos aleatórios. As informações desta base são provenientes do IBGE e do IBAMA. As estatísticas descritivas assim como a descrição das variáveis dos modelos estimados constam na tabela 4.1 a seguir.

Tabela 4.1 – Descrição das variáveis dos modelos Tobit – Brasil – período 2011-2015.

Variáveis	Observações	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
yct (Número total de crimes ambientais por município por ano)	8.935	8,26178	23,49	1	651
yeff (Número total de crimes contra a flora e a fauna por município por ano)	8.935	4,846558	17,50	0	604
yfc (Número total de crimes contra a flora por município por ano)	8.935	3,294572	15,87	0	593
tmap (Valor total das multas aplicadas)	8.935	1480745	10600000	0	487000000
tmap (Valor total das multas quitadas)	8.935	21200,55	681748,1	0	60000000
rc ( <i>proxy</i> para a renda do crime por ano para cada município por ano – R\$ 1,00)	8.935	9049,614	11.770,62	153,81	391535
pibc (PIB <i>per capita</i> por ano – R\$ 1,00)	8.935	17986,01	24.290,06	301,6	815698
pct (número de indivíduos sem instrução por ano e por município)	8.935	14903,24	53.259,79	242,98	2085920
psa (Variável binária igual a 1 se município paga por serviços ambientais)	8.935	0,1327364	0,33	0	1
prop (Proporção de multas pagas por município por ano - %)	8.935	20,18455	35,01	0	100

(continua)

Tabela 4.1 – Descrição das variáveis dos modelos Tobit – Brasil – período 2011-2015.

Variáveis	Observações	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
gestor (variável binária igual a 1 se gestor municipal de meio ambiente tem nível superior)	8.935	0,3856743	0,48	0	1
bov (efetivo de rebanho bovino por município/ano)	8.935	64311,15	13.2973,1	9	2282445
temp (área plantada com lavouras temporárias – em ha)	8.935	17751,02	54.897,71	1	1098874
perm (área plantada com lavouras permanentes – em ha)	8.935	1582,405	4.095,28	1	82266
front (variável binária igual a 1 se o município está na faixa de fronteira nacional definida pelo IBGE)	8.935	0,1115837	0,31	0	1

(conclusão)

Onde: % – Porcentagem; ha – Hectare; IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; PIB – Produto Interno Bruto; e, R\$ – Real.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE e do IBAMA.

## 4.2 MODELO EMPÍRICO

O modelo Tobit recebeu esse nome após Tobin (1958) o aplicar na análise das despesas individuais com bens duráveis, o qual assumiu que a variável dependente tem vários de seus valores agrupados em um valor limite, geralmente zero. Assim, o modelo usa todas as observações para estimar uma linha de regressão, tanto aquelas iguais a 0 (no limite), quanto as que estão acima do limite ( $>0$ ). Através deste método econométrico, pode-se estimar além dos coeficientes, o valor esperado de ocorrências de crimes ambientais aqui analisados, mesmo em locais onde o valor observado foi zero.

Em termos gerais, considere uma variável  $OA_j$  em (1.14) que pode ser maior ou menor que zero.  $OA_j$  é então modelada como uma variável latente  $OA_j^*$ , que é assumida como observada somente quando seu valor é maior que zero. Quando é menor ou igual a zero, ela é assumida como não observada. Mais especificamente, para o município  $j$ , temos que

$$OA_j^* = F(p_j, c_j, z_j) + u_j, \quad (4.1)$$

onde  $u_t$  é um termo de erro independentemente e normalmente distribuído com média zero e variância constante  $\sigma^2$ .

Dado (4.1), temos que

$$\begin{aligned} OA_j &= F(X_j\beta) + u_j \text{ para } OA_j^* > 0 \\ OA_j &= 0 \text{ para } OA_j^* \leq 0 \end{aligned} \quad (4.2)$$

onde  $X_j$  é um vetor de variáveis explicativas, contidas em  $p_j, c_j$  e  $z_j$  e  $\beta$  um vetor de parâmetros.

A estimação  $\beta$  envolve a montagem de uma função de máxima verossimilhança. Dado (7.1), denotando probabilidade de  $pr$  temos que  $pr(OA_j = 0) = pr(OA_j^* \leq 0) = pr(F(X_j\beta) + u_j \leq 0) = pr(u_t \leq -F(X_j\beta))$ . Assumindo um função linear para  $F(X_j\beta) = X_j\beta$  e fazendo  $\frac{X_j\beta}{\sigma}$ , podemos escrever  $pr(u_j \leq -F(X_j\beta)) = \Phi(-\frac{X_j\beta}{\sigma})$ . Onde  $\Phi(-\frac{X_j\beta}{\sigma})$  representa a função densidade cumulativa de uma normal padrão avaliada em  $-\frac{X_j\beta}{\sigma}$ . Por simetria,  $\Phi(-\frac{X_j\beta}{\sigma}) = 1 - \Phi(\frac{X_j\beta}{\sigma})$ .

Para os casos onde  $OA_j > 0$ ,  $pr(OA_j = OA_j^*) = pr(OA_j^* > 0) = pr(u_j > OA_j - X_j\beta)$ . Fazendo  $\frac{u_j}{\sigma} > \frac{OA_j - X_j\beta}{\sigma}$ , podemos escrever  $pr(\frac{u_j}{\sigma} > \frac{OA_j - X_j\beta}{\sigma}) = \frac{1}{\sigma} \phi(\frac{OA_j - X_j\beta}{\sigma})$ , onde  $\phi(\frac{OA_j - X_j\beta}{\sigma})$  é função densidade de probabilidade de uma normal padrão avaliada em  $\frac{OA_j - X_j\beta}{\sigma}$ . Assumindo independência sobre  $j$ 's, a função de verossimilhança é então definida como

$$L(\beta, \sigma | OA_j, X_j) = \Pi_0(1 - \Phi(-\frac{X_j\beta}{\sigma})) \Pi_1(\frac{1}{\sigma} \phi(\frac{OA_j - X_j\beta}{\sigma})). \quad (4.3)$$

onde  $\Pi_0$  significa que o produtório é somente para os  $OA_j = 0$  e  $\Pi_1$  para  $OA_j > 0$ .

A esperança incondicional da variável aleatória  $OA_j E[OA_j]$  é dada por  $E[OA_j] = E[OA_j | OA_j^* \leq 0] * pr(OA_j^* \leq 0) + E[OA_j | OA_j^* > 0] * pr(OA_j^* > 0)$ . Como por definição  $E[OA_j | OA_j^* \leq 0] * pr(OA_j^* \leq 0) = 0$ , já que  $OA_j = 0$  quando  $OA_j^* \leq 0$ , então

$$E[OA_j] = E[OA_j | OA_j^* > 0] * pr(OA_j^* > 0). \quad (4.4)$$

Usando álgebra e a razão invertida de *Mill*, pode-se demonstrar que

$$E[OA_j | OA_j^* > 0] = X_j\beta + \frac{\sigma\phi\left(\frac{-X_j\beta}{\sigma}\right)}{\bar{\Phi}\left(\frac{X_j\beta}{\sigma}\right)}, \quad (4.5)$$

e que

$$pr(OA_j^* > 0) = \bar{\Phi}\left(\frac{X_j\beta}{\sigma}\right). \quad (4.6)$$

Portanto,

$$E[OA_j] = X_j\beta\bar{\Phi}\left(\frac{X_j\beta}{\sigma}\right) + \sigma\phi\left(\frac{-X_j\beta}{\sigma}\right) \quad (4.7)$$

Considerando somente as observações e reescrevendo a Equação (4.5) como

$$E[OA_j | OA_j^* > 0]\bar{\Phi}\left(\frac{X_j\beta}{\sigma}\right) = X_j\beta\bar{\Phi}\left(\frac{X_j\beta}{\sigma}\right) + \sigma\phi\left(\frac{-X_j\beta}{\sigma}\right). \quad (4.8)$$

dados (4.7) e (4.8), chegamos a

$$E[OA_j | OA_j^* > 0]\bar{\Phi}\left(\frac{X_j\beta}{\sigma}\right) = E[OA_j]. \quad (4.9)$$

A Equação (4.9) representa a relação entre o valor esperado de todas as observações  $E[OA_j]$  e o valor condicional esperado de estar acima de zero  $E[OA_j | OA_j^* > 0]$  e a probabilidade de estar acima de zero  $\bar{\Phi}\left(\frac{X_j\beta}{\sigma}\right)$ .

A decomposição do efeito Tobit é obtida considerando o efeito da mudança na  $i$ -ésima variável de  $X$  em  $OA_j$ :

$$\frac{\partial E[OA_j]}{\partial x_i} = \frac{\partial \bar{\Phi}\left(\frac{X_j\beta}{\sigma}\right)}{\partial x_i} E[OA_j | OA_j^* > 0] + \frac{\partial E[OA_j | OA_j^* > 0]}{\partial x_i} \bar{\Phi}\left(\frac{X_j\beta}{\sigma}\right) \quad (4.10)$$

A Equação (4.10) consiste na decomposição do efeito Tobit, pela qual a mudança total em  $y$  pode ser desagregada em duas partes, quais sejam:

- 1) Mudança em  $OA_j$  para  $OA_j > 0$  ponderada pela probabilidade de  $OA_j > 0$ ; e

- 2) Mudança probabilidade de  $OA_j > 0$  ponderada pelo valor esperado de  $OA_j$ , dado que  $OA_j > 0$ .

A partir do modelo empírico especificado, seguindo as etapas adotados por Alston, Libecap e Mueller (2000) e utilizando o banco de dados agregado Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis/Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBAMA/IBGE) para o período 2011-2015, foram seguidas as seguintes etapas:

- 1) Estimação dos coeficientes dos modelos Tobit, visando reforçar os resultados encontrados nas análises dos modelos com dados em painel;
- 2) Estimação dos coeficientes Tobit considerando a padronização do desvio padrão<sup>14</sup>, com vistas a identificar o nível de importância de cada variável na determinação da oferta dos crimes ambientais; e
- 3) Decomposição do efeito Tobit para compreender como se define a chance de ocorrência de crimes ambientais e a partir daí examinar a probabilidade associada ao chamado crime latente<sup>15</sup>. Desta maneira, o modelo Tobit nos permite contornar possível subnotificação das ocorrências, problema que é muitas vezes corriqueiro quando se lida com dados relacionados à ocorrência de crimes, sejam estes contra o indivíduo, patrimônio ou delitos ambientais.

Então, conforme evidencia o Quadro 4.1, a seguir, a equação da oferta de crimes ambientais a ser estimada para os modelos Tobit para o período 2011-2015 pode ser dada por:

$$OA_{j,t} = OA(psa_{j,t}, prop_{j,t}, gest_{j,t}, \mathbf{z}_{j,t}), \quad (4.11)$$

com  $\mathbf{z}$  sendo um vetor de variáveis contendo *rc*, *pibc*, *pct*, *bov*, *temp*, *perm*, *front*.

---

<sup>14</sup> As variáveis foram redimensionadas para apresentar uma média 0 e desvio padrão 1, a padronização é útil para interpretar os resultados de regressões considerando variáveis que estejam representadas em diferentes unidades de medida. Primeiramente, se subtrai do valor de uma variável a sua média e divide o resultado pelo desvio padrão desta mesma variável, assim, temos:  $x^* = (x - \bar{x})/\sigma$ ,  $x^*$  é a variável  $x$  padronizada,  $\bar{x}$  é a média de  $x$ ,  $\sigma$  é o desvio padrão de  $x$  e, de maneira análoga temos  $y^* = (y - \bar{y})/\sigma$ , ou seja, a variável  $y$  redimensionado. Após realizado este procedimento para cada variável independente, se procedeu novamente com a estimação dos coeficientes tobit com estas variáveis agora padronizadas (UCLA, 2021).

<sup>15</sup> Variável latente é aquela que não consta na base (BOLLEN, 2002). No nosso caso em questão consiste nos crimes que não são registrados nas bases de dados utilizadas, seja por problema de subnotificação ou pelo simples fato de não haver ocorrência de crime ambiental. Então, dito de outra forma, a subnotificação de crimes ambientais no banco de dados do IBAMA pode ser contornada pela estimação do modelo Tobit e do efeito Tobit, ou seja, a variável crime que não está diretamente observada poderá ser estimada por meio de outras variáveis observadas e utilizando deste modelo.

Quadro 4.1 – Variáveis da oferta de crimes ambientais para modelos Tobit – Brasil – período 2011-2015.

Variáveis	Descrição	Equivalência com Argumentos da Função Crime de Becker – Equação (2.7)	Equivalência com da Função Crime Ambiental – Equação (2.16)	Sinal Esperado
ycff	Número total de crimes contra a flora e a fauna por município por ano.	$A$	$OA$	Não se aplica
ycf	Número total de crimes contra a flora por município por ano.	$A$	$OA$	Não se aplica
rc	<i>Proxy</i> para a renda do crime por ano para cada município por ano - R\$ 1,00.	$u$	$z$	Positivo
pibc	PIB <i>per capita</i> por ano – R\$ 1,00.	$u$	$z$	Negativo
pct	Número de indivíduos sem instrução por ano e por município.	$u$	$z$	Positivo
psa	Variável binária igual a 1 se município paga por serviços ambientais.	$p$	$p$	Negativo
prop	Proporção de multas pagas por município por ano – %.	$p$ e também $f$	$p$ e também $f$	Negativo
gestor	Variável binária igual a 1 se gestor municipal de meio ambiente tem nível superior.	$p$	$p$	Negativo
bov	Efetivo de rebanho bovino por município por ano.	$u$	$z$	Positivo
temp	Área plantada com lavouras temporárias – em ha.	$u$	$z$	Positivo
perm	Área plantada com lavouras permanentes – em ha.	$u$	$z$	Positivo

(continua)

Quadro 4.1 – Variáveis da oferta de crimes ambientais para modelos Tobit – Brasil – período 2011-2015.

Variáveis	Descrição	Equivalência com Argumentos da Função Crime de Becker – Equação (2.7)	Equivalência com da Função Crime Ambiental – Equação (2.16)	Sinal Esperado
front	Variável binária igual a 1 se o município está na fíxa de fronteira nacional definida pelo IBGE.	$u$	$z$	Positivo

(conclusão)

Onde: % – Porcentagem; ha – Hectare; IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; PIB – Produto Interno Bruto; e, R\$ – Real.

Fonte: Elaboração própria com base em Becker (1968).

Nota: A variável renda municipal do crime foi baseada na metodologia de Dahlberg e Gustavsson (2008).

Assim como foi considerado nos modelos com dados em painel, aqui também a hipótese é que as variáveis *psa*, *prop* e *gestor* conseguem captar características institucionais regionais e influenciam na probabilidade de condenação, *prop* também seria uma variável equivalente para punição, já o restante representariam as outras influências que ajudam a determinar a oferta de crimes ambientais.

#### 4.3 ESTIMAÇÃO DOS MODELOS TOBIT<sup>16</sup>

A Tabela 4.2, a seguir, evidencia os resultados das estimativas dos modelos Tobit com amostras não censuradas para os municípios brasileiros no período 2011-2015. Os sinais dos coeficientes encontrados estão de acordo ao esperado (vide Quadro 4.1) e corroboram os resultados encontrados anteriormente pelos modelos de dados em painel, reforçando evidências de que os principais determinantes dos crimes contra a flora e/a fauna são renda do crime, expansão dos rebanhos bovinos e da área das lavouras permanentes, outros fatores importantes são se o município está em região de fronteira e a proporção de indivíduos da população com baixo grau de instrução.

Dentre as variáveis que poderiam reduzir a oferta de crimes estão: aumento da renda *per capita* e da proporção de multas pagas, se o município paga por serviços ambientais e se o gestor de meio ambiente tem nível superior.

<sup>16</sup> As estimações dos modelos Tobit em controlar para o problema da endogeneidade constam nas Tabelas A.5, A.6, A.7 e A.8 (vide Apêndice C).

Tabela 4.2 – Resultados das estimações dos modelos Tobit por características municipais (coeficientes não normalizados) – Brasil – período 2011-2015.

Características Municipais	Crimes contra a Flora (Modelo 1)	Crimes contra a Fauna e/ou Flora (Modelo 2)
Renda do crime	0,00059*	0,00078*
Renda <i>per capita</i>	-0,00029*	-0,00038*
Indivíduos sem instrução	0,00003*	0,00006*
Serviços ambientais	-1,59866*	-1,08699**
Proporção multas pagas	-0,02691*	-0,03811*
Gestor com nível superior	-0,46528	-0,71087**
Rebanho bovino	0,00003*	0,00003*
Área lavouras temporárias	0,00000	0,00000
Área lavouras permanentes	0,00015*	0,00020*
Município de fronteira	0,95700***	0,74900
Amostra	8935	8935
Wald $X^2$	103,38*	120,96*
Prob> F	0,0000	0,0000
Sigma	15,03296	16,42937

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em informações do IBAMA e IBGE.

Visando entender melhor o impacto de cada variável sobre a oferta dos crimes ambientais analisados nos modelos 1 e 2, se procedeu com a normalização das variáveis redimensionando as mesmas para apresentar uma média 0 e o desvio padrão 1. Este procedimento permite que todas as variáveis contribuam uniformemente para uma escala, facilitando a interpretação de regressões considerando variáveis que estejam representadas em diferentes unidades de medida, assim  $x^* = (x - \bar{x})/\sigma$ ,  $x^*$  é a variável  $x$  padronizada,  $\bar{x}$  é a média de  $x$ ,  $\sigma$  é o desvio padrão de  $x$  e, de maneira análoga temos  $y^* = (y - \bar{y})/\sigma$ , ou seja, a variável  $y$  redimensionada (UCLA, 2021).

A Tabela 4.3, a seguir, evidencia que alguns fatores têm um impacto positivo maior na determinação da oferta de crimes ambientais, assim, em ordem de importância, em termos absolutos, temos para o modelo 1: renda do crime (+0,43688), expansão dos rebanhos bovinos (+0,27272), proporção de indivíduos sem instrução (+0,09079), ampliação da área das lavouras permanentes (+0,03905), se região está localizada em área de fronteira (+0,01898). Por outro lado, para os fatores que tem potencial de reduzir a oferta dos delitos ambientais, a ordem seria:

aumento da renda *per capita* (-0,44628), aumento da proporção de multas pagas (-0.05933), se o município paga por serviços ambientais (-0.03416). Mesmos resultados foram encontrados para o modelo 2, apesar dos coeficientes apresentarem valores diferentes do modelo 1, porém a ordem de importância das variáveis permaneceu a mesma.

Tabela 4.3 – Resultados das estimações dos modelos Tobit por características municipais (variáveis normalizadas) – Brasil – período 2011-2015.

Características Municipais	Crimes contra a Flora (Modelo 1)	Crimes contra a Fauna e/ou Flora (Modelo 2)
Renda do crime	0.43688*	0.52568*
Renda <i>per capita</i>	-0.44628*	-0.52559*
Indivíduos sem instrução	0.09079*	0.17800*
Serviços ambientais	-0.03416*	-0.02107**
Proporção multas pagas	-0.05933*	-0.07621*
Gestor com nível superior	-0.01426	-0.01977**
Rebanho bovino	0.27272*	0.24589*
Área lavouras temporárias	0.01312	0.00294
Área lavouras permanentes	0.03905*	0.04705*
Município de fronteira	0.01898**	0.01347
Amostra	8935	8935
Wald $X^2$	103,38*	120,96*
Prob> F	0,0000	0,0000
Sigma	0.9466758	0.9384404

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em informações do IBAMA e IBGE.

#### 4.4 SUBNOTIFICAÇÃO E IMINÊNCIA DE CRIMES AMBIENTAIS: ESTIMAÇÃO DE VARIÁVEIS LATENTES POR MEIO DA DECOMPOSIÇÃO DO EFEITO TOBIT

As Tabelas 4.4 e 4.5, a seguir, evidenciam os resultados das estimações da decomposição do efeito Tobit para os crimes contra a flora e/ou fauna. No banco de dados IBAMA/IBGE para o período 2011-2015, há municípios que não registraram crime ambiental (consistindo na parte da amostra no limite,  $y = 0$ ) e aqueles que registraram ocorrências de pelo menos um conflito (acima do limite,  $y > 0$ ).

Assim,  $\frac{\partial E[OA_j]}{\partial X_i}$  (mudança total em  $OA_j$ ) pode ser decomposta em duas partes, a saber:

- 1) em  $\frac{\partial E[OA_j | OA_j^* > 0]}{\partial X_i} \Phi\left(\frac{X_j \beta}{\sigma}\right)$ , ou a variação  $OA_j$  (número de crimes ambientais) para os casos onde houve ao menos um crime, ponderada pela probabilidade de ocorrência; e
- 2) em  $\frac{\partial \Phi\left(\frac{X_j \beta}{\sigma}\right)}{\partial X_i} E[OA_j | OA_j^* > 0]$ , que representa a mudança do efeito na probabilidade de ocorrência de um crime ambiental ponderado pelo valor esperado de  $OA_j > 0$ , (MCDONALD; MOFFIT, 1980).

Como apontam Alston, Libecap e Mueller (2000), este procedimento permite separar o impacto causado pelas variáveis independentes sobre a ocorrência de crimes ambientais nos municípios que já registraram conflitos e na probabilidade destes crimes ocorrerem para locais que não registraram nenhum dos crimes ambientais aqui estudados.

A título de exemplo, a interpretação se dá ao analisar a porcentagem que  $\frac{\partial E[OA_j | OA_j^* > 0]}{\partial X_i} \Phi\left(\frac{X_j \beta}{\sigma}\right)$  e  $\frac{\partial \Phi\left(\frac{X_j \beta}{\sigma}\right)}{\partial X_i} E[OA_j | OA_j^* > 0]$  representam em relação ao efeito total  $\frac{\partial E[OA_j]}{\partial X_i}$ . Assim, conforme resultados da tabela 4.4, considerando a variável renda do crime, temos que o efeito total sobre os crimes ambientais é 0,00069555 (representando 100%), desta maneira, a variação no número de crimes ambientais ponderada pela probabilidade de ocorrência seria 0,00019478 ou 28% do efeito total, enquanto que 0,00050077 (mudança do efeito na probabilidade de ocorrência) corresponderia a 72%. Interpretação análoga deve ser feita para as outras variáveis, salientando que as porcentagens encontradas deverão ser as mesmas que foram verificadas para renda do crime.

De maneira geral, a Tabela 4.4 mostra que, para crimes contra a flora, 28% da variação total no valor esperado de  $OA_j$  é provocada por mudanças nas variáveis independentes ( $X$ ) e resulta de mudanças marginais no número de conflitos, ou seja, está relacionado ao fato de já ter ocorrido o crime ambiental. Enquanto que o restante (72%) está relacionado ao efeito na probabilidade de ocorrer o delito, mesmo quando não houve registros para um município específico, ou seja, a região possui maior parte das características que ampliariam as chances de ocorrência do crime ambiental, indicando que caso o crime não tenha ocorrido na amostra analisada, é bem provável que ele aconteça nos próximos períodos.

Tabela 4.4 – Resultados das estimações do efeito Tobit para crimes contra a flora – Brasil – período 2011-2015.

Características Municipais	Efeito total sobre os crimes ambientais $\frac{\partial E[OA_j]}{\partial X_i}$	$\frac{\partial E[OA_j   OA_j^* > 0]}{\partial X_i} \Phi\left(\frac{X_j\beta}{\sigma}\right)$	$\frac{\partial \Phi\left(\frac{X_j\beta}{\sigma}\right)}{\partial X_i} E[OA_j   OA_j^* > 0]$
Renda do crime	0,00069555	0,00019478	0,00050077
Renda <i>per capita</i>	-0,00036216	-0,00010139	-0,00026077
Indivíduos sem instrução	0,00001348	0,000003774	0,000009708
Serviços ambientais	-0,99756731	-0,27802546	-0,71954185
Proporção multas pagas	-0,03826376	-0,01071423	-0,02754953
Gestor com nível superior	-0,27023584	-0,07563422	-0,19460162
Rebanho bovino	0,00001726	0,000004834	0,00001243
Área lavouras temporárias	0,000006968	0,000001951	0,000005017
Área lavouras permanentes	0,00009032	0,00002529	0,00006503
Município de fronteira	0,8220927	0,23160008	0,59049263
Amostra	8935	8935	8935

Fonte: Dados da pesquisa com base em IBAMA (2020) e IBGE (2020b).

A Tabela 4.5, a seguir, evidencia que, para crimes contra a flora e/ou fauna, as porcentagens são, respectivamente, 35 e 65%. A seguir, são detalhados os resultados das estimações, em específico acerca do efeito Tobit, para crimes contra a fauna e/ou flora.

Tabela 4.5 – Resultados das estimações do efeito Tobit para crimes contra a flora e/ou fauna – Brasil – período 2011-2015.

Características Municipais	Efeito total sobre os crimes ambientais $\frac{\partial E[OA_j]}{\partial X_i}$	$\frac{\partial E[OA_j   OA_j^* > 0]}{\partial X_i} \Phi\left(\frac{X_j\beta}{\sigma}\right)$	$\frac{\partial \Phi\left(\frac{X_j\beta}{\sigma}\right)}{\partial X_i} E[OA_j   OA_j^* > 0]$
Renda do crime	0,00064008	0,00022921	0,00041087
Renda <i>per capita</i>	-0,00031806	-0,00011389	-0,00020417
Indivíduos sem instrução	0,00003225	0,00001155	0,0000207
Serviços ambientais	-0,79150682	-0,28048206	-0,51102476

(continua)

Tabela 4.5 – Resultados das estimações do efeito Tobit para crimes contra a flora e/ou fauna – Brasil – período 2011-2015.

Proporção multas pagas	-0,05979699	-0,02141427	-0,03838273
Gestor com nível superior	-0,51360441	-0,18354357	-0,33006084
Rebanho bovino	0,00001908	0,000006835	0,00001225
Área lavouras temporárias	0,000001494	0,0000005349	0,0000009587
Área lavouras permanentes	0,00015262	0,00005465	0,00009796
Município de fronteira	0,01406335	0,00503737	0,00902598
Amostra	8935	8935	8935

(conclusão)

Fonte: Dados da pesquisa com base em IBAMA (2020) e IBGE (2020b).

Apesar de as proporções encontradas nas Tabelas 4.4 e 4.5 serem diferentes, os resultados evidenciam que maior parte da variação marginal no efeito total sobre os crimes ambientais se explica pela mudança na probabilidade de ocorrência dos crimes. Assim, regiões com características semelhantes e que apresentem maior parte dos determinantes dos crimes ambientais identificados nas estimações dos modelos Tobit com amostras não censuradas (vide Tabela 4.2) têm a ocorrência de crimes ambientais contra a flora, flora e/ou fauna nos próximos períodos como um fato iminente, mesmo quando não registraram delitos no intervalo 2011-2015.

## 5 CONCLUSÕES

A análise da ocorrência de crimes ambientais sob a ótica econômica pode auxiliar no estudo de questões até então não abordadas por outras ciências. Sendo assim, o aprofundamento no tema se faz relevante visto os elevados custos sociais que são impostos à sociedade brasileira, sejam financeiros, humanos, políticos e outros. Dessa maneira, o trabalho teve por objetivo principal, encontrar evidências de quais seriam os fatores determinantes para a ocorrência de crimes ambientais no Brasil, para delitos selecionados, a exemplo daqueles contra à flora, fauna e flora, desmatamento e queimadas. Buscou também identificar as características das regiões onde foram registrados crimes ambientais para 2017, enfocando na análise da probabilidade de ocorrência de desmatamento e/ou queimadas e sua relação com a estrutura institucional de combate a estes delitos. Além da modelagem econométrica utilizada, outras contribuições metodológicas destacam-se: correção dos erros encontrados no banco de dados do IBAMA e a compatibilização para com a Pesquisa de Informações Básicas Municipais 2017 do IBGE, juntamente com a fusão destes bancos de dados; também foi realizada a estimação de modelos Tobit e decomposição do efeito Tobit e sua contribuição para análise no que tange a estimação da probabilidade associada ao crime latente e tratamento de possível subnotificação das ocorrências.

Os coeficientes estimados corroboram a Teoria Econômica do Crime de Gary Becker. A variável renda do crime apresenta sinal positivo indicando evidência de que a elevação dos ganhos obtidos pela atividade ilegal impactaria no aumento da oferta de crimes ambientais. Enquanto elevação da renda *per capita*, uma *proxy* para o custo de oportunidade do crime, reduziria a ocorrência. A proporção de multas pagas por município, *proxy* para punição e probabilidade de aprisionamento, apresentou a relação esperada. Desta forma, entre locais com características semelhantes, aqueles com maior proporção de multas pagas tem menor oferta dos crimes ambientais aqui estudados.

Outras variáveis indicaram uma relação positiva com a oferta de crimes ambientais, assim uma elevação do rebanho bovino e da área das lavouras permanentes poderia ampliar a ocorrência do fenômeno. Outro importante resultado indica que, entre duas regiões com características similares, aquela que se encontra em faixa de fronteira, terá maior oferta de crimes ambientais. Essas estimações trazem evidências de que os principais determinantes da ampliação da oferta de crimes são a renda do crime, o número de indivíduos sem instrução por município, o efetivo do rebanho bovino e a área com lavouras permanentes. Já os fatores renda *per capita* municipal e proporção de multas pagas por município tendem a reduzir as

ocorrências destes crimes. Os resultados encontrados para os crimes à flora, fauna e flora e total de crimes (para crimes selecionados) além de significativos em sua maioria, apresentaram-se semelhantes para todas as categorias analisadas, com pontuais exceções - corroborando a Teoria Econômica do Crime.

Analisar os crimes ambientais e seus determinantes sob a ótica de Becker (1968) pode ajudar a elucidar como se dão estes fenômenos e criar subsídios para a ação dos agentes na sociedade, sejam estes formuladores de políticas públicas ou a sociedade civil. A perspectiva do autor contribui para a compreensão dos fatores que podem elevar ou reduzir a frequência de ocorrência de um fenômeno que pode gerar elevados custos à sociedade brasileira, independentemente da natureza, humana, financeira etc.

Neste sentido, por meio da estimação das probabilidades de ocorrência de crimes ambientais selecionados através de modelos Logit e Logit em razões de probabilidade, o trabalho buscou validar também a hipótese de que as características municipais para o ano de 2017, particularmente fatores institucionais (legislação, punição, regulatórios), são importantes na determinação das chances de ocorrência destes delitos.

As probabilidades de ocorrência foram inferiores para regiões que possuem legislação ou instrumento de gestão ambiental criados a nível municipal. Chances menores de ocorrência também foram encontradas para localidades que têm conselhos municipais de desenvolvimento rural; resultado semelhante para os três modelos aqui analisados. Isto pode estar relacionado ao papel desempenhado por estes conselhos locais e sua relação com a elaboração de políticas públicas rurais e sua articulação com os diversos agentes, seja o governo ou organizações da sociedade civil. Outro fator importante para redução dos crimes analisados é a escolaridade do gestor do meio ambiente. Desta forma, locais que possuem gestor do meio ambiente com nível superior apresentariam menor probabilidade de ocorrência de delitos. Este fator indica a importância não somente da existência de um gestor, mas também do papel desempenhado pela maior escolaridade do mesmo. O nível elevado de escolaridade seria um fator relevante para se alcançar a redução das ocorrências de crimes ambientais.

Registra-se também que regiões que possuem, especificamente, um centro comercial para comercialização de produtos da extração vegetal local, apresentariam probabilidade de ocorrência superior àqueles que não têm tais estabelecimentos. Já aqueles locais que possuem conselho municipal de gestão de meio ambiente teriam menor probabilidade de ocorrência de desmatamento, sugerindo a necessidade de instituição de conselhos para a redução dos crimes.

Os crimes ambientais em conjunto costumam ocorrer com maior frequência em localidades que não possuem legislação ou instrumento de gestão ambiental a nível municipal,

são mais populosas, não possuem gestor do meio ambiente com nível superior e não têm conselho municipal de desenvolvimento rural. Estariam, em geral, localizadas nas Regiões Norte e Nordeste e nos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Para o crime de desmatamento, verificou-se que este tenderia a ocorrer em municípios localizados nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste; sobretudo, em regiões que não possuem legislação ou instrumento de gestão ambiental a nível municipal, naquelas em que não há órgão municipal de gestão do meio ambiente e, ainda que institucionalizado tal órgão de gestão, o responsável pelo desenvolvimento e aplicação teria baixa escolaridade. Resultados também mostram que regiões mais populosas têm maior chance de ocorrência deste crime.

Os sinais dos coeficientes encontrados pelos modelos Tobit com amostras não censuradas estão de acordo ao esperado e corroboram os resultados encontrados pelos modelos de dados em painel, reforçando evidências de que os principais determinantes dos crimes contra a flora e/a fauna são renda do crime, expansão dos rebanhos bovinos e da área das lavouras permanentes, outros fatores importantes são se a localidade está em região de fronteira e a proporção de indivíduos da população com baixo grau de instrução. Dentre as variáveis que poderiam reduzir a oferta de crimes estão: aumento da renda *per capita* e da proporção de multas pagas, se o município paga por serviços ambientais e se o gestor de meio ambiente tem nível superior. Os resultados também sugerem que alguns fatores são mais importantes na determinação da oferta de crimes ambientais, assim, em ordem de relevância, temos: renda do crime, expansão dos rebanhos bovinos, proporção de indivíduos sem instrução, ampliação da área das lavouras permanentes, se o município está localizado em área de fronteira. Por outro lado, para os fatores que tem potencial de reduzir a oferta dos delitos ambientais, a ordem seria: aumento da renda *per capita*, aumento da proporção de multas pagas, se o município paga por serviços ambientais.

Já em relação à decomposição do efeito Tobit, os resultados evidenciam que maior parte da variação no efeito total sobre os crimes ambientais se explica pela mudança na probabilidade de ocorrência dos crimes, assim, regiões com características semelhantes e que apresentam maior parte dos determinantes dos crimes ambientais identificados nas estimações dos modelos Tobit com amostras não censuradas, possuem iminência de ocorrência de crimes ambientais contra a flora, flora e/ou fauna nos próximos períodos, mesmo quando não registraram delitos para os anos da análise.

Os fatores apresentados são determinantes das probabilidades de ocorrência dos crimes contra a flora e fauna, desmatamento e queimadas e indicam, portanto, qual seria o perfil das regiões brasileiras onde há maior incidência de delitos contra o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ALI, A.; AUDI, M. The impact of income inequality, environmental degradation and globalization on life expectancy in Pakistan: an empirical analysis. **International Journal of Economics and Empirical Research**, v. 4, n. 4, p. 182-193, 2016a. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/331286820\\_The\\_Impact\\_of\\_Income\\_Inequality\\_Environmental\\_Degradation\\_and\\_Globalization\\_on\\_Life\\_Expectancy\\_in\\_Pakistan\\_An\\_Empirical\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/331286820_The_Impact_of_Income_Inequality_Environmental_Degradation_and_Globalization_on_Life_Expectancy_in_Pakistan_An_Empirical_Analysis). Acesso em: 30 dez. 2020.

ALI, A.; AUDI, M. The impact of income inequality, environmental degradation and globalization on life expectancy in Pakistan: an empirical analysis. **MPRA Paper**, n. 71112, p. 1-16, 2016b. Disponível em: [https://mpra.ub.uni-muenchen.de/71112/1/MPRA\\_paper\\_71112.pdf](https://mpra.ub.uni-muenchen.de/71112/1/MPRA_paper_71112.pdf). Acesso em: 30 dez. 2020.

ALMER, C.; GOESCHL, T. Environmental crime and punishment: empirical evidence from the German Penal Code. **Land Economics**, v. 86, n. 4, p. 707-726, nov. 2010.

ALSTON, L. J.; LIBECAP, G. D.; MUELLER, B. Land reform policies, the sources of violent conflict, and implications for deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 39, n. 2, p. 162-188, mar. 2000.

ANNA, C.; ANTONELLO, D.; ANGELO, P. A panel data approach to evaluate the passenger satisfaction of a public transport service. **Procedia Economics and Finance**, v. 17, p. 231-237, 2014.

ARRAES, R. A.; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **RESR**, Piracicaba, SP, v. 50, n. 1, p. 119-140, jan./mar. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/resr/v50n1/a07v50n1.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. DETERring deforestation in the Brazilian Amazon: environmental monitoring and law enforcement. **Climate Policy Initiative Rio de Janeiro (CPI Rio) & Núcleo de Avaliação de Políticas Climáticas da PUC-Rio (NAPC/PUC-Rio), Department of Economics, PUC-Rio**, maio 2013.

AUDI, M.; ALI, A.; Determinants of environmental degradation under the perspective of globalization: a panel analysis of selected MENA Nations. **MPRA Paper**, n. 85776, p. 1-16, jan. 2018.

BARROS, L. P. G.; VRIES, L. F. The effects of inequality on crime: a cross-sectional analysis. In: Encontro Nacional de Economia, Natal, n. 45, 2017. **Anais...** Natal, 2017.

Disponível em: [https://www.anpec.org.br/encontro/2017/submissao/files\\_I/i12-072f4dfad3bae992dd2f78a62c5b6ed2.pdf](https://www.anpec.org.br/encontro/2017/submissao/files_I/i12-072f4dfad3bae992dd2f78a62c5b6ed2.pdf). Acesso em: 30 dez. 2020.

BAUM, C. F. Efficiently evaluating elasticities with the margins command. **The Stata Journal**, v. 10, n. 2, p. 309-312, 2010. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1536867X1001000212>. Acesso em: 30 dez. 2020.

BECKER, G. S. Crime and punishment: an economic approach. **The Journal of Political Economy**, v. 76, n. 2, p. 169-217, mar./abr. 1968.

BIZZO, E.; FARIAS, A. L. A. Priorização de municípios para prevenção, monitoramento e controle de desmatamento na Amazônia: uma contribuição à avaliação do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm). **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 42, p. 135-159, dez. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/53542/34449>. Acesso em: 30 dez. 2020.

BOLLEN, K. A. Latent variables in Psychology and the Social Sciences. **Annu. Rev. Psychol.**, v. 53, n. 1, p. 605-634, fev. 2002. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/11603903\\_Latent\\_Variables\\_In\\_Psychology\\_And\\_The\\_Social\\_Sciences](https://www.researchgate.net/publication/11603903_Latent_Variables_In_Psychology_And_The_Social_Sciences). Acesso em: 30 dez. 2020.

BRASIL. **Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, 1998. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm). Acesso em: 30 dez. 2020.

BRISMAN, A.; SOUTH, N. Green criminology and environmental crimes and harms. **Sociology Compass**, v. 13, n. 1, jan. 2019.

BUONANNO, P.; LEONIDA, L. Education and crime: evidence from Italian regions. **Applied Economics Letters**, v. 13, n. 11, p. 709-713, 2006.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics: methods and applications**. New York: Cambridge University Press, 2005.

CARNEIRO, F. F.; DELGADO, G.; AUGUSTO, L. G. S.; ALMEIDA, V. S. Os impactos dos agrotóxicos na saúde, trabalho e ambiente no contexto do agronegócio no Brasil. In: IV Conferência Nacional de Saúde dos Trabalhadores e Trabalhadoras, 2012. **Anais...** 2012. d. Disponível em: <https://saudecampofloresta.unb.br/wp-content/uploads/2014/03/Os-impactos-dos-agrotóxicos-na-saúde-trabalho-e-ambiente-no-contexto-do-agronegócio-no-Brasil.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.

CHAWWA, T.; HERNANDEZ, I.; LI, N.; PAUL, L. Crime and punishment: an economic approach Gary Becker. **Economics 206 – Team Lewis**, p. 1-9, jan. 2012. Disponível em: [https://sites.duke.edu/econ206\\_01\\_s2011/files/2012/05/11-Becker\\_Crime-and-Punishment\\_Lewis-Presentation.pdf](https://sites.duke.edu/econ206_01_s2011/files/2012/05/11-Becker_Crime-and-Punishment_Lewis-Presentation.pdf). Acesso em: 30 dez. 2020.

CHISHOLM, J.; CHONGWOO, C. Income variables and the measures of gains from crime. **Oxford Economic Papers**, v. 57, n. 1, p. 112–119, fev. 2005. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/5215773\\_Income\\_Variables\\_and\\_the\\_Measures\\_of\\_Gains\\_from\\_Crime](https://www.researchgate.net/publication/5215773_Income_Variables_and_the_Measures_of_Gains_from_Crime). Acesso em: 30 dez. 2020.

COCHRAN, J. C.; LYNCH, M; J.; TOMAN, E. L.; SHIELDS, R. T. Court sentencing patterns for environmental crimes: is there a “green” gap in punishment? **J. Quant. Criminol.**, v. 34, n. 1, mar. 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/308187009\\_Court\\_Sentencing\\_Patterns\\_for\\_Environmental\\_Crimes\\_Is\\_There\\_a\\_Green\\_Gap\\_in\\_Punishment](https://www.researchgate.net/publication/308187009_Court_Sentencing_Patterns_for_Environmental_Crimes_Is_There_a_Green_Gap_in_Punishment). Acesso em: 30 dez. 2020.

COHEN, M. A. Environmental crime and punishment: legal/economic theory and empirical evidence on enforcement of federal environmental statutes. **The Journal of Criminal Law and Criminology**, v. 82, n. 4, p. 1054-1108, 1992.

COHEN, L. E.; KLUEGEL, J. R.; LAND, K. C. Social inequality and predatory criminal victimization: an exposition and test of a formal theory. **American Sociological Review**, v. 46, n. 5, p. 505-524, out. 1981.

COPERTINO, M.; PIEDADE, M. T. F.; VIEIRA, I. C. G.; BUSTAMANTE, M. Desmatamento, fogo e clima estão intimamente conectados na Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 74, n. 4, p. 4-5, nov. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/337566805\\_Desmatamento\\_fogo\\_e\\_clima\\_estao\\_intimamente\\_conectados\\_na\\_Amazonia](https://www.researchgate.net/publication/337566805_Desmatamento_fogo_e_clima_estao_intimamente_conectados_na_Amazonia). Acesso em: 30 dez. 2020.

DAHLBERG, M.; GUSTAVSSON, M. Inequality and crime: separating the effects of permanent and transitory income. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, v. 7, n. 2, p. 129-153, abr. 2008.

DI TELLA, R.; SCHARGRODSKY, E. Do police reduce crime? Estimates using the allocation of police forces after a terrorist attack. **The American Economic Review**, v. 94, n. 1, p. 115-133, mar. 2004. Disponível em: [http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/13019/000317610\\_s311d.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/13019/000317610_s311d.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 30 dez. 2020.

DIMITROVA-GRAJZL, V.; GRAJZL, P.; SUSTERSIC, J.; ZAJC, K. Court output, judicial staffing, and the demand for court services: evidence from Slovenian courts of first instance. **International Review of Law and Economics**, v. 32, n. 1, p. 19-29, mar. 2012.

DINIZ, M. B.; OLIVEIRA JUNIOR, J. N.; TROMPIERI NETO, N.; DINIZ, M. J. T. Causas do desmatamento da Amazônia: uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca das principais fontes de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 19, n. 1, p. 121-151, jan./abr. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/neco/v19n1/06.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.

DOGANDJIEVA, R. **Forest fires in southern Europe: an econometric investigation of the existence of economic incentives for fire arson**. 2008. Monografia (Bacharelado em Economia) – Departamento de Economia, University of Richmond, Richmond, 2008.

DRACA, M.; MACHIN, S.; WITT, R. Panic on the streets of London: police, crime, and the July 2005 terror attacks. **American Economic Review**, v. 101, n. 5, p. 2157-2181, 2011.

DURAM, B. S. S.; MARTINS, R. A defesa do meio ambiente por meio do Direito Penal. In: **Âmbito Jurídico: o seu portal jurídico da internet**, 06 nov. 2019. Disponível em: <https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/a-defesa-do-meio-ambiente-por-meio-do-direito-penal/>. Acesso em: 30 dez. 2020.

EHRlich, I. Participation in illegitimate activities: a theoretical and empirical investigation. **Journal of Political Economy**, v. 81, n. 3, p. 521-565, maio/jun. 1973.

EHRlich, I. **The supply of illegitimate activities**. Chicago: Mimeo, 1967.

ENTENDA a Lei de Crimes Ambientais. In: **O Eco**, 08 maio 2014. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28289-entenda-a-lei-de-crimes-ambientais/>. Acesso em: 30 dez. 2020.

EVANS, M. C. Deforestation in Australia: drivers, trends and policy responses. **Pacific Conservation Biology**, v. 22, n. 2, p. 130-150, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/301942515\\_Deforestation\\_in\\_Australia\\_Drivers\\_trends\\_and\\_policy\\_responses](https://www.researchgate.net/publication/301942515_Deforestation_in_Australia_Drivers_trends_and_policy_responses). Acesso em: 30 dez. 2020.

FAJNZYLBER, P.; LEDERMAN, D.; LOAYZA, N. Inequality and violent crime. **Journal of Law and Economics**, v. XLV, n. 1, p. 1-38, abr. 2002. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/2523129\\_Inequality\\_And\\_Violent\\_Crime](https://www.researchgate.net/publication/2523129_Inequality_And_Violent_Crime). Acesso em: 30 dez. 2020.

FAURE, M. G.; VISSER, M. **Law and economics of environmental crime: a survey**. Australian Institute of Criminology. AIC, 2003.

FEARNSIDE, P. M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. **Ecology and Society**, v. 13, n. 1, jul. 2008.

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. **RESR**, Piracicaba, SP, v. 53, n. 1, p. 93-108, jan./mar. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/resr/v53n1/0103-2003-resr-53-01-00091.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.

FLEISHER, B. M. The effect of income on delinquency. **The American Economic Review**, v. 56, n. 1-2, p. 118-137, mar. 1966.

FLEISHER, B. M. The effect of unemployment on juvenile delinquency. **Journal of Political Economy**, v. 71, n. 6, p. 543-555, dez. 1963.

GIBBONS, S. The costs of urban property crime. **The Economic Journal**, v. 114, n. 499, p. 441-463, fev. 2004.

GREENE, W. H. **Econometric analysis**. 7. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hal, 2004.

HALKOS, G.; TZEREMES, N. A conditional directional distance function approach for measuring regional environmental efficiency: evidence from UK regions. **MPRA Paper**, n. 38417, p. 1-30, abr. 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/241765773\\_A\\_conditional\\_directional\\_distance\\_function\\_approach\\_for\\_measuring\\_regional\\_environmental\\_efficiency\\_Evidence\\_from\\_UK\\_regions](https://www.researchgate.net/publication/241765773_A_conditional_directional_distance_function_approach_for_measuring_regional_environmental_efficiency_Evidence_from_UK_regions). Acesso em: 30 dez. 2020.

HERAWATI, H.; SANTOSO, H. Tropical forest susceptibility to and risk of fire under changing climate: a review of fire nature, policy and institutions in Indonesia. **Forest Policy and Economics**, v. 13, n. 4, p. 227-233, abr. 2011.

HINDELANG, M. J.; GOTTFREDSON, M. R.; GAROFALO, J. **Victims of personal crime: an empirical foundation for a theory of personal victimization**. Cambridge: Ballinger, 1978.

INCÊNDIOS florestais pelo mundo são os maiores 'em escala e em emissões de CO2' em 18 anos. In: **BBC**, 18 set. 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-54202546>. Acesso em: 30 dez. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa de Informações Básicas Municipais**. Brasília, 2020a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 30 dez. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Brasília, 2020b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pnadcm>. Acesso em: 30 dez. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Consultas de Autuações Ambientais e Embargos**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://servicos.ibama.gov.br/ctf/publico/areasembargadas/ConsultaPublicaAreasEmbargadas.php>. Acesso em: 30 dez. 2020.

IHLANFELDT, K.; MAYOCK, T. Panel data estimates of the effects of different types of crime on housing prices. **Regional Science and Urban Economics**, v. 40, n. 2-3, p. 161-172, maio 2010.

JACOBI, P. R.; GRANDISOLI, E.; LAUDA-RODRÍGUEZ, Z. L. MILZ, B. O que indicam os incêndios na Austrália – Reflexões sobre seus alcances. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 23, p. 1-6, 2020. Disponível em: [https://www.scielo.br/pdf/asoc/v23/pt\\_1809-4422-asoc-23-e0001.pdf](https://www.scielo.br/pdf/asoc/v23/pt_1809-4422-asoc-23-e0001.pdf). Acesso em: 30 dez. 2020.

JEFFORDS, C.; THOMPSON, A. An empirical analysis of fatal crimes against environmental and land activists. **Economics Bulletin**, v. 36, n. 2, p. 827-842, 2016.

KEELEY, J. E.; SYPHARD, A. Climate change and future fire regimes: examples from California. **Geosciences**, v. 6, n. 3, p. 1-14, ago. 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/306269890\\_Climate\\_Change\\_and\\_Future\\_Fire\\_Regimes\\_Examples\\_from\\_California](https://www.researchgate.net/publication/306269890_Climate_Change_and_Future_Fire_Regimes_Examples_from_California). Acesso em: 30 dez. 2020.

KIRBY, K. R.; LAURANCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K.; SCHROTH, G.; FEARNESIDE, P. M.; BERGEN, S.; VENTICINQUE, E. M.; COSTA, C. The future of deforestation in the Brazilian Amazon. **Futures**, v. 38, n. 4, p. 432-453, maio 2006. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/242222766\\_THE\\_FUTURE\\_OF\\_DEFORESTATION\\_IN\\_THE\\_BRAZILIAN\\_AMAZON](https://www.researchgate.net/publication/242222766_THE_FUTURE_OF_DEFORESTATION_IN_THE_BRAZILIAN_AMAZON). Acesso em: 30 dez. 2020.

KOVANDZIC, T. V.; SCHAFFER, M. E.; VIERAITIS, L. M.; ORRICK, E. A.; PIQUERO, A. R. Police, crime and the problem of weak instruments: revisiting the “more police, less crime” thesis. **Journal of Quantitative Criminology**, v. 32, p. 133-158, 2016.

LEBLOIS, A.; DAMETTE, O.; WOLFERSBERGER, J. What has driven deforestation in developing countries since the 2000s? Evidence from new remote-sensing data. **World Development**, v. 92, 1. C, p. 82-102, 2017.

LEVITT, S. D. Using electoral cycles in police hiring to estimate the effects of police on crime: reply. **American Economic Review**, v. 92, n. 4, p. 1244-1250, fev. 2002.

LYNCH, M. J.; BARRET, K. L.; STRETESKY, P. B.; LONG, M. A. The weak probability of punishment for environmental offenses and deterrence of environmental offenders: a discussion based on USEPA criminal cases. **Deviant Behavior**, p. 1983-2013, maio 2016.

Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/303365615\\_The\\_Weak\\_Probability\\_of\\_Punishment\\_for\\_Environmental\\_Offenses\\_and\\_Deterrence\\_of\\_Environmental\\_Offenders\\_A\\_Discussion\\_Based\\_on\\_USEPA\\_Criminal\\_Cases](https://www.researchgate.net/publication/303365615_The_Weak_Probability_of_Punishment_for_Environmental_Offenses_and_Deterrence_of_Environmental_Offenders_A_Discussion_Based_on_USEPA_Criminal_Cases). Acesso em: 30 dez. 2020.

MACHADO, L. O. R. Desflorestamento na Amazônia brasileira: ação coletiva, governança e governabilidade em área de fronteira. **Sociedade e Estado**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 115-147, jan./abr. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/se/v24n1/a06v24n1.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.

MAIA, A. G. **Variáveis censuradas e truncadas**. S. d. Power Point. CE 731 – Econometria II, Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, s. d.

Disponível em:

[https://www4.eco.unicamp.br/docentes/gori/images/arquivos/EconometriaII/Ce731\\_Aula7\\_VariaveisCensuradasTruncadas.pdf](https://www4.eco.unicamp.br/docentes/gori/images/arquivos/EconometriaII/Ce731_Aula7_VariaveisCensuradasTruncadas.pdf). Acesso em: 30 dez. 2020.

MALINGREAU, J. P.; EVA, H. D.; MIRANDA, E. E. Brazilian Amazon: a significant five year drop in deforestation rates but figures are on the rise again. **AMBIO**, v. 41, n. 3, p. 309-314, mar. 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3357851/>. Acesso em: 30 dez. 2020.

MCDONALD, J. F.; MOFFIT, R. A. The uses of Tobit analysis. **The Review of Economics and Statistics**, v. 62, n. 2, p. 318-321, maio 1980. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/24093840\\_The\\_Uses\\_of\\_Tobit\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/24093840_The_Uses_of_Tobit_Analysis). Acesso em: 30 dez. 2020.

OLIVEIRA, M. M. O. **Modelos de regressão com variável dependente truncada ou censurada**. 2004. Disponível em: [https://www.fep.up.pt/disciplinas/2E103/ec\\_cens.pdf](https://www.fep.up.pt/disciplinas/2E103/ec_cens.pdf). Acesso em: 30 dez. 2020.

OLIVEIRA, N. F.; SANTANA, V. S.; LOPES, A. A. Razões de proporções e uso do método Delta para intervalos de confiança em regressão logística. **Rev. Saúde Pública**, v. 31, n. 1, p.

90-99, fev. 1997. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rsp/v31n1/2195.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD).

**Ranking IDHM Municípios 2010**. 2021. Disponível em:

<https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010.html>.

Acesso em: 30 jan. 2021.

PURNOMO, H.; SHANTIKO, B.; SITORUS, S.; GUNAWAN, H.; ACHDIAWAN, R.; KARTODIHARDJO, H.; DEWAYANI, A. A. Fire economy and actor network of forest and land fires in Indonesia. **Forest Policy and Economics**, v. 78, p. 21-31, maio 2017.

QUAH, E.; SIDDIQUI, A. I. Modelling transboundary air pollution in Southeast Asia: policy regime and the role of stakeholders. **Environment and Planning A**, v. 36, n. 8, p. 1411-1425, ago. 2004. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/23539458\\_Modelling\\_Transboundary\\_Air\\_Pollution\\_in\\_Southeast\\_Asia\\_Policy\\_Regime\\_and\\_the\\_Role\\_of\\_Stakeholders](https://www.researchgate.net/publication/23539458_Modelling_Transboundary_Air_Pollution_in_Southeast_Asia_Policy_Regime_and_the_Role_of_Stakeholders). Acesso em: 30 dez. 2020.

RIBEIRO, R. E. **Criminologia verde**: crimes ambientais no Distrito Federal. 2018. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Brasília, Planaltina, DF, 2018.

RIBEIRO, R. E.; CORRÊA, R. S. Influência de fatores socioeconômicos sobre os crimes ambientais no Distrito Federal. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 50, p. 290-305, abr. 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/57692/38445>. Acesso em: 30 dez. 2020.

RONCEK, D. W. Learning more from Tobit coefficients: extending a comparative analysis of political protest. **American Sociological Review**, v. 57, n. 4, p. 503-507, ago. 1992.

SANT'ANA, A. C.; GUIMARÃES, L. L. V.; VITAL, M. J. S. Caracterização dos crimes ambientais relacionados a recursos hídricos no Estado de Roraima, Amazônia brasileira.

**Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 25-38, 2021. Disponível em:

<https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/569/276>.

Acesso em: 30 jan. 2021.

SCHUCH, R.; BALBINOTTO NETO, G.; UHR, D. **A spatial analysis of criminality**: evidences for metropolitan area of Porto Alegre city. 2016.

SCRIECIU, S. S. Economic causes of tropical deforestation – A global empirical application. **Working Papers Series**, n. 4, p. 1-28, jan. 2004. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/23748854\\_Economic\\_Causes\\_Of\\_Tropical\\_Deforestation\\_-\\_A\\_Global\\_Empirical\\_Application](https://www.researchgate.net/publication/23748854_Economic_Causes_Of_Tropical_Deforestation_-_A_Global_Empirical_Application). Acesso em: 30 dez. 2020.

SHAHBAZ, M.; KHAN, S.; ALI, A.; BHATTACHARYA, M. The impact of globalization on CO2 emissions in China. **MPRA Paper**, n. 64450, p. 1-28, maio 2015. Disponível em: [https://mpra.ub.uni-muenchen.de/64450/1/MPRA\\_paper\\_64450.pdf](https://mpra.ub.uni-muenchen.de/64450/1/MPRA_paper_64450.pdf). Acesso em: 30 dez. 2020.

SHAHBAZ, M.; MUTASCU, M.; AZIM, P. Environmental Kuznets curve in Romania and the role of energy consumption. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 18, p. 165-173, fev. 2013.

SHAHBAZ, M.; OZTURKZ, I.; AFZA, T.; ALI, A. Revisiting the environmental Kuznets curve in a global economy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 494-502, set. 2013.

SILVA, I. A. C.; MARCELINO, G. S.; PARRÉ, J. L. **Determinantes do desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira: uma análise econométrica espacial**. 2020. Disponível em: [https://www.anpec.org.br/sul/2020/submissao/files\\_I/i4-64f2c0a5712bd8ff7915571451c3dbc5.pdf](https://www.anpec.org.br/sul/2020/submissao/files_I/i4-64f2c0a5712bd8ff7915571451c3dbc5.pdf). Acesso em: 30 dez. 2020.

SIMON, D. R. Corporate environmental crimes and social inequality: new directions for environmental justice research. **American Behavioral Scientist**, v. 43, n. 4, p. 633-645, jan. 2000.

SOUZA, J. P. M. C.; CUNHA, M. S. Evidências sobre a vitimização no Brasil: Uma análise econométrica. **EARL**, v. 6, n. 2, p. 206-227, jun./dez. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/305854033\\_Evidencias\\_sobre\\_a\\_Vitimizacao\\_no\\_Brasil\\_Uma\\_Analise\\_Econometrica](https://www.researchgate.net/publication/305854033_Evidencias_sobre_a_Vitimizacao_no_Brasil_Uma_Analise_Econometrica). Acesso em: 30 dez. 2020.

SOUZA, J. P. M. C.; CUNHA, M. S. **Uma análise do perfil da vitimização no Brasil**.

Orientador: Marina Silva da Cunha. 2012. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2012.

STAFFORD, S. L. The effect of punishment on firm compliance with hazardous waste regulations. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 44, n. 2, p. 290-308, 2002.

STATA CORP. Stata: Release 14. **Statistical software**. Texas: StataCorp LP, 2015.

TACCONI, L.; MUTTAQIN, M. Z. Reducing emissions from land use change in Indonesia: an overview. **Forest Policy and Economics**, v. 108, p. 1-7, nov. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138993411830460X>. Acesso em: 30 dez. 2020.

TAMAZIAN, A.; CHOUSA, J. P.; VADLAMANNATI, K. C. Does higher economic and financial development lead to environmental degradation: evidence from BRIC countries. **Energy Policy**, v. 37, n. 1, p. 246-253, jan. 2009.

UHR, D. A. P.; UHR, J. G. Z. Teoria Econômica do Crime: evidências do mercado de drogas sobre a criminalidade no Rio Grande do Sul. In: Encontro de Economia da Região Sul, Florianópolis, n. 14, 2011. **Anais...** Florianópolis, 2011.

UHR, D. A. P.; UHR, J. G. Z.; MUELLER, B. P. M. Como as ONGs ambientais influenciam a política ambiental brasileira? **RBE**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 1, p. 79-98, jan./mar. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbe/v66n1/v66n1a04.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.

UHR, J. G. Z.; UHR, D. A. P. Crimes ambientais e agentes privados: evidências para os Estados brasileiros. **Análise Econômica**, Porto Alegre, a. 33, n. 63, p. 259-273, mar. 2015.

UHR, J. G. Z.; UHR, D. A. P. Infrações ambientais e a reputação do regulador: análise em dados de painel para o Brasil. **Estud. Econ.**, São Paulo, v. 44, n. 1, p. 69-103, jan./mar. 2014. Disponíveis em: <https://www.scielo.br/pdf/ee/v44n1/a03v44n1.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.

UMEMIYA, C.; RAMETSTEINER, E.; KRAXNER, F. Quantifying the impacts of the quality of governance on deforestation environmental. **Environmental Science & Policy**, v. 13, n. 8, p. 695-701, dez. 2010.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA, LOS ANGELES (UCLA). **How do I standardize variables in Stata? Stata FAQ**. 2021. Disponível em: <https://stats.idre.ucla.edu/stata/faq/how-do-i-standardize-variables-in-stata/>. Acesso em: 30 jan. 2021.

VU, Q.; LE, Q. B.; FROSSARD, E.; VLEK, P. L. G. Socio-economic and biophysical determinants of land degradation in Vietnam: an integrated causal analysis at the national level. **Land Use Policy**, v. 36, p. 605-617, jan. 2014.

WALKER, R.; MORAN, E.; ANSELIN, L. Deforestation and cattle ranching in the Brazilian Amazon: external capital and household processes. **World Development**, v. 28, n. 4, p. 683-699, abr. 2000.

WHITE, R. **Transnational environmental crime: toward an eco-global criminology**. Routledge, 2011.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introductory econometrics a modern approach**. 5. ed. Mason: South-Western, 2012.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE BRASIL (WWF-Brasil). **Amazônia, desmatamento e queimadas: um novo desastre em 2020: as trágicas queimadas que vimos em 2019 estão se repetindo neste ano**. 2020. Disponível em: [https://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/areas\\_prioritarias/amazonia/amazonia\\_\\_desmatamento\\_e\\_queimadas\\_\\_uma\\_nova\\_tragedia\\_em\\_2020/](https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/areas_prioritarias/amazonia/amazonia__desmatamento_e_queimadas__uma_nova_tragedia_em_2020/). Acesso em: 30 dez. 2020.

ZANIN, L.; RADICE, R.; MARRA, G. Estimating the effect of perceived risk of crime on social trust in the presence of endogeneity bias. **Social Indicators Research**, v. 114, n. 2, p. 523-547, nov. 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/235704924\\_Estimating\\_the\\_Effect\\_of\\_Perceived\\_Risk\\_of\\_Crime\\_on\\_Social\\_Trust\\_in\\_the\\_Presence\\_of\\_Endogeneity\\_Bias](https://www.researchgate.net/publication/235704924_Estimating_the_Effect_of_Perceived_Risk_of_Crime_on_Social_Trust_in_the_Presence_of_Endogeneity_Bias). Acesso em: 30 dez. 2020.

ZIERO, J. G. **Degradação e crimes ambientais: evidências para os Estados brasileiros**. 2011. 52 p. Tese (Doutorado em Economia) – Departamento de Economia, Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

**APÊNDICES**

## APÊNDICE A – QUADROS

Quadro A.1 – Descrição das variáveis para o modelo com efeitos aleatórios e Tobit – Brasil – período 2011-2015.

Variáveis	Descrição	Abrangência Territorial	Fonte
yct	Número total de crimes ambientais por município por ano.	Municipal	IBAMA
ycff	Número total de crimes contra a flora e a fauna por município por ano.	Municipal	IBAMA
ycf	Número total de crimes contra a flora por município por ano.	Municipal	IBAMA
rc	<i>Proxy</i> para a renda do crime por ano para cada município por ano – R\$ 1,00.	Municipal	IBGE/PNUD
pibc	PIB <i>per capita</i> por ano – R\$ 1,00.	Municipal	IBGE
pct	Número de indivíduos sem instrução por ano e por município.	Municipal	IBGE
psa	Variável binária igual a 1 se município paga por serviços ambientais.	Municipal	IBGE
prop	Proporção de multas pagas por município por ano – %.	Municipal	IBAMA/IBGE
gestor	Variável binária igual a 1 se gestor municipal de meio ambiente tem nível superior.	Municipal	IBGE
bov	Efetivo de rebanho bovino por município por ano.	Municipal	IBGE
temp	Área plantada com lavouras temporárias – em ha.	Municipal	IBGE
perm	Área plantada com lavouras permanentes – em ha.	Municipal	IBGE
front	Variável binária igual a 1 se o município está na faixa de fronteira nacional definida pelo IBGE.	Municipal	IBGE

Onde: ha = Hectare; IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; PIB – Produto Interno Bruto; e, PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE (2020b).

Quadro A.2 – Descrição das variáveis para os modelos Logit – Brasil – ano 2017.

<b>Variáveis</b>	<b>Descrição</b>	<b>Abrangência Territorial</b>	<b>Fonte</b>
yc	Variável binária igual a 1 se ocorreu crime ambiental para o ano de 2017.	Municipal	IBGE
ydes	Variável binária igual a 1 se ocorreu desmatamento para o ano de 2017.	Municipal	IBGE
ydq	Variável binária igual a 1 se ocorreu desmatamento e/ou queimada para o ano de 2017.	Municipal	IBGE
Leg	Variável binária se o município tem alguma legislação ou instrumento de gestão ambiental.	Municipal	IBGE
pop1	Variável binária igual a 1 se o município tem população até 5.000 hab.	Municipal	IBGE
pop2	Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 5.001 a 10.0000 hab.	Municipal	IBGE
pop3	Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 10.001 a 20.0000 hab.	Municipal	IBGE
pop4	Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 20.001 a 50.0000 hab.	Municipal	IBGE
pop5	Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 50.001 a 100.0000 hab.	Municipal	IBGE
pop6	Variável binária igual a 1 se o município tem população entre 100.001 a 500.0000 hab.	Municipal	IBGE
pop7	Variável binária igual a 1 se o município tem população superior a 500.0000 hab.	Municipal	IBGE
centro	Variável binária igual a 1 se o município tem centro de comercialização de produtos da extração vegetal.	Municipal	IBGE
gestor	Variável binária igual a 1 se o gestor de órgão ambiental tem nível superior completo.	Municipal	IBGE

conrural	Variável binária igual a 1 se o município tem conselho de desenvolvimento rural.	Municipal	IBGE
confisc	Variável binária igual a 1 se o município tem conselho de meio ambiente com caráter fiscalizador.	Municipal	IBGE
consamb	Variável binária igual a 1 se o município tem conselho municipal gestor do meio ambiente.	Municipal	IBGE

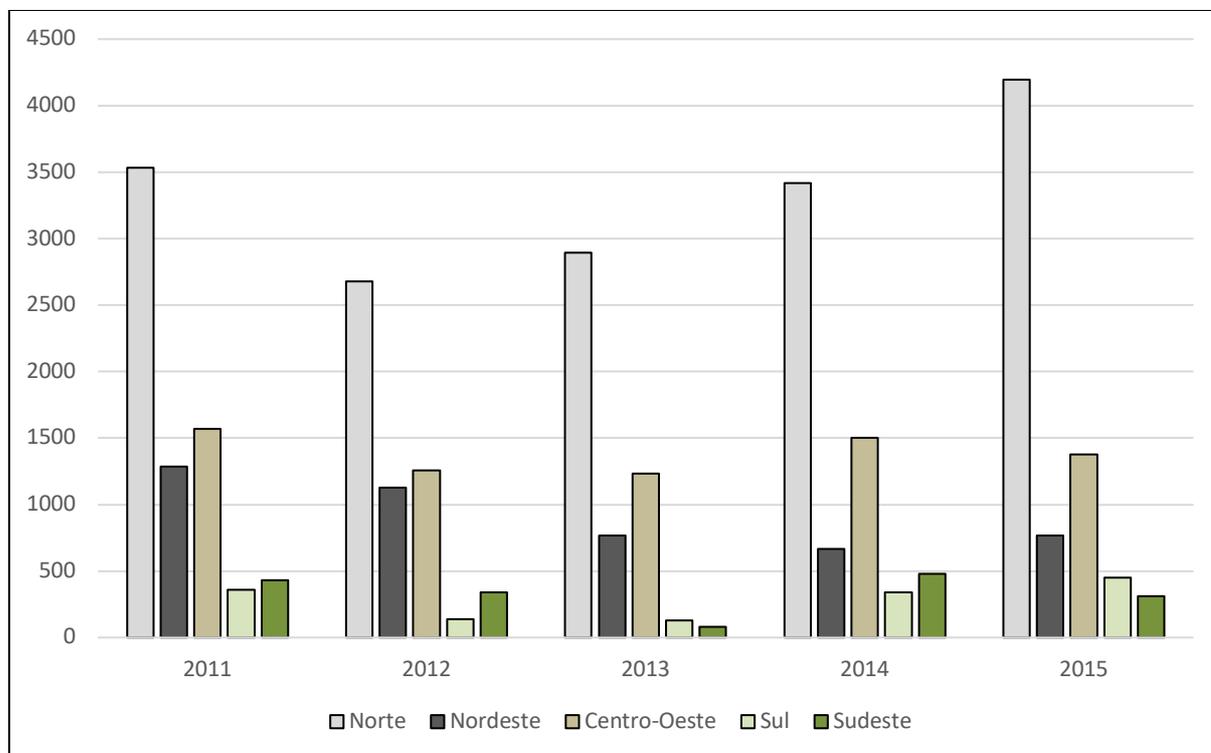
(conclusão)

Onde: hab. = Habitante; e, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE (2020b).

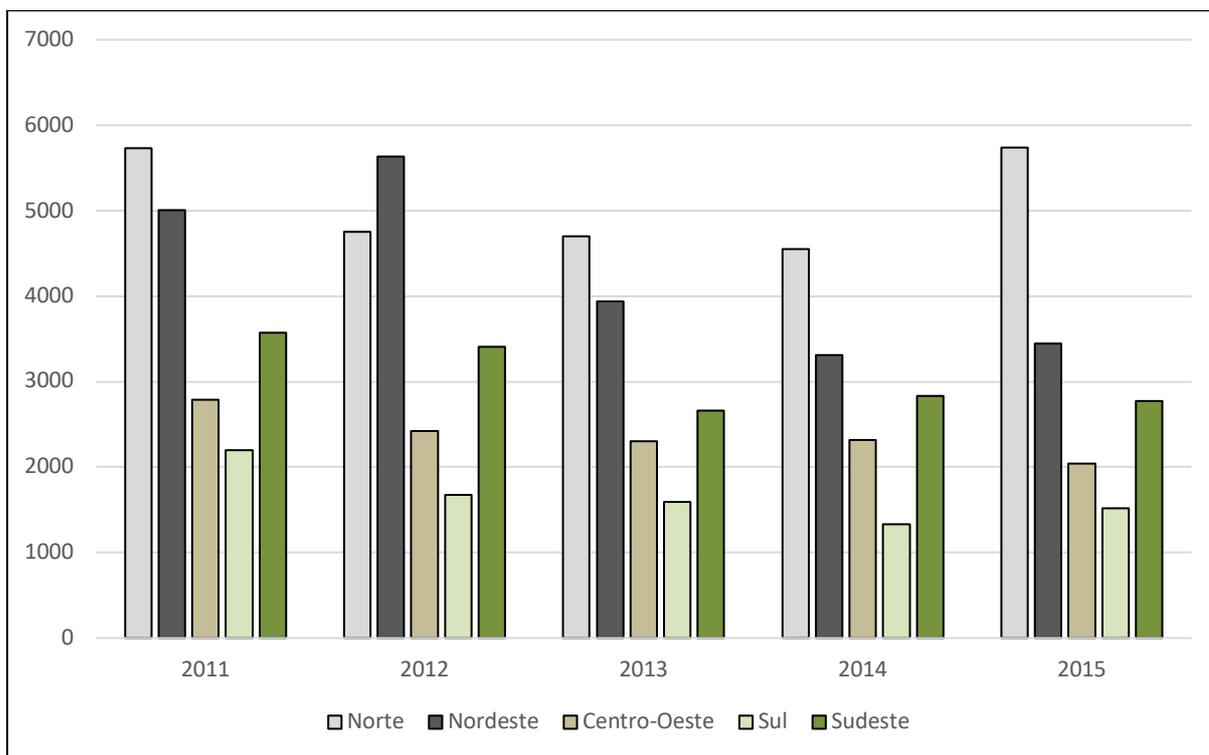
**APÊNDICE B – GRÁFICOS**

Gráfico A.1 – Quantidades de crimes a flora registrados por Regiões – Brasil – período 2011-2015.



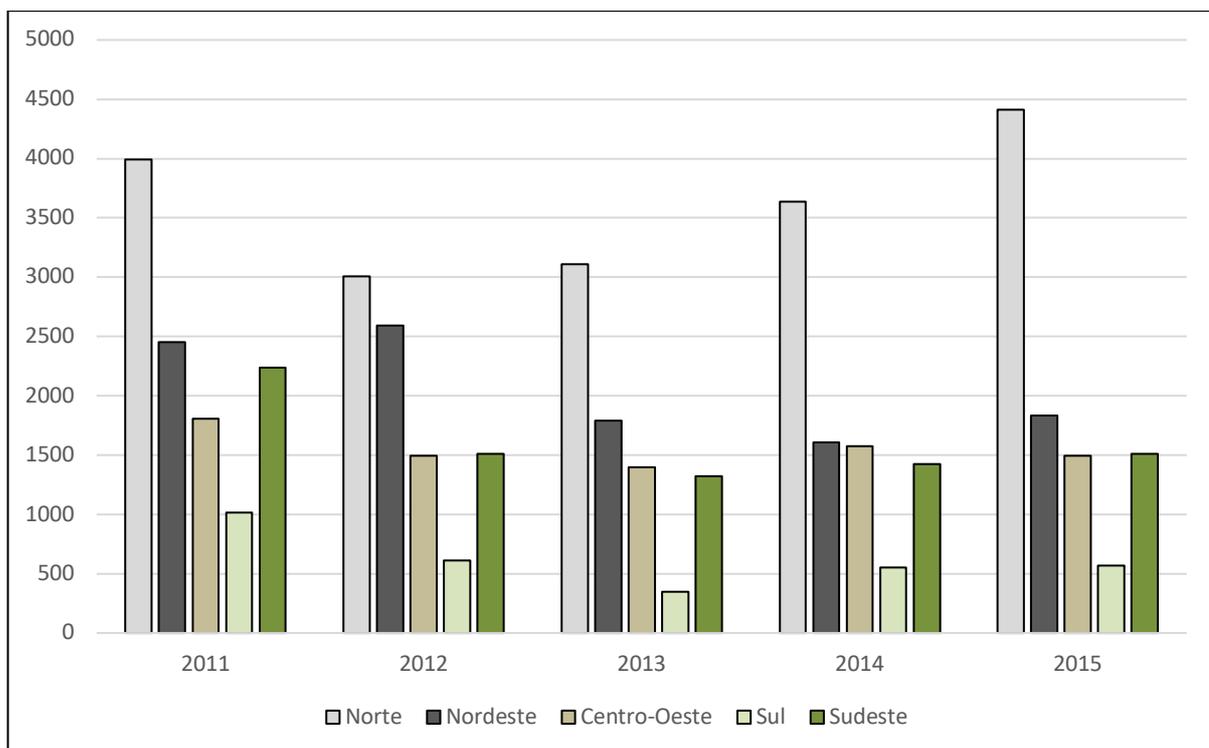
Fonte: Elaboração própria com base em IBAMA (2020).

Gráfico A.2 – Quantidades de ocorrências para todos os crimes registrados por Regiões – Brasil – período 2011-2015.



Fonte: Elaboração própria com base em IBAMA (2020).

Gráfico A.3 – Quantidades de ocorrências para crimes contra a fauna e flora por Regiões – Brasil – período 2011-2015.



Fonte: Elaboração própria com base em IBAMA (2020).

## APÊNDICE C – TABELAS

Tabela A.1 – Estimacões para modelo de dados em painel com efeitos aleat3rios (com endogeneidade).

Total de Crimes Ambientais		Crimes contra à Fauna e Flora		Crimes contra à Flora	
Variáveis Independentes	Coefficientes	Variáveis Independentes	Coefficientes	Variáveis Independentes	Coefficientes
Renda do crime	0,00082*	Renda do crime	0,00056*	Renda do crime	0,00040*
Renda <i>per capita</i>	-0,00038*	Renda <i>per capita</i>	-0,00027*	Renda <i>per capita</i>	-0,00020*
Indivíduos sem instruão	0,00011*	Indivíduos sem instruão	0,00005*	Indivíduos sem instruão	0,00002*
Serviços ambientais	-0,39509	Serviços ambientais	-0,41449	Serviços ambientais	-0,87991**
Multas aplicadas	0,00000*	Multas aplicadas	0,00000*	Multas aplicadas	0,00000*
Gestor com nível superior	-0,78951***	Gestor com nível superior	-0,43637	Gestor com nível superior	-0,22222
Rebanho bovino	0,00002*	Rebanho bovino	0,00002*	Rebanho bovino	0,00002*
Área lavouras temporárias	-0,00001	Área lavouras temporárias	0,00000	Área lavouras temporárias	0,00000
Área lavouras permanentes	0,00027*	Área lavouras permanentes	0,00014*	Área lavouras permanentes	0,00009*
Município de fronteira	2,13936*	Município de fronteira	1,73114*	Município de fronteira	1,92812*
Amostra	8.935	Amostra	8.935	Amostra	8.935
Breusch and Pagan (Prob > chibar2)	0,0000	Breusch and Pagan (Prob > chibar2)	0,0000	Breusch and Pagan (Prob > chibar2)	0,0000
(Prob> chi2)	0,0000	(Prob> chi2)	0,0000	(Prob> chi2)	0,0000

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em IBAMA (2020) e IBGE (2020b).

Tabela A.2 – Comparação entre modelos de dados em painel sem e com endogeneidade (total de crimes ambientais).

Total de Crimes Ambientais		Total de Crimes Ambientais (com Endogeneidade)	
Variáveis Independentes	Coefficientes	Variáveis Independentes	Coefficientes
Renda do crime	0,00086*	Renda do crime	0,00082*
Renda <i>per capita</i>	-0,00041*	Renda <i>per capita</i>	-0,00038*
Indivíduos sem instrução	0,00010*	Indivíduos sem instrução	0,00011*
Serviços ambientais	-0,67254	Serviços ambientais	-0,39509
Proporção multas pagas	-0,02462*	Proporção multas pagas	0,00000*
Gestor com nível superior	-0,82555***	Gestor com nível superior	-0,78951***
Rebanho bovino	0,00003*	Rebanho bovino	0,00002*
Área lavouras temporárias	0,00000	Área lavouras temporárias	-0,00001
Área lavouras permanentes	0,00031*	Área lavouras permanentes	0,00027*
Município de fronteira	1,32530***	Município de fronteira	2,13936*
Amostra	8.935	Amostra	8.935
Breusch and Pagan (Prob > $\chi^2$ )	0,0000	Breusch and Pagan (Prob > $\chi^2$ )	0,0000
(Prob> $\chi^2$ )	0,0000	(Prob> $\chi^2$ )	0,0000

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em IBAMA (2020) e IBGE (2020b).

Tabela A.3 – Comparação entre modelos de dados em painel sem e com endogeneidade (crimes contra a fauna, flora).

Crimes contra à Fauna e Flora		Crimes contra à Fauna e Flora (com Endogeneidade)	
Variáveis Independentes	Coefficientes	Variáveis Independentes	Coefficientes
Renda do crime	0,00061*	Renda do crime	0,00056*
Renda <i>per capita</i>	-0,00030*	Renda <i>per capita</i>	-0,00027*
Indivíduos sem instrução	0,00005*	Indivíduos sem instrução	0,00005*
Serviços ambientais	-0,69265	Serviços ambientais	-0,41449
Proporção multas pagas	-0,02501*	Proporção multas pagas	0,00000*
Gestor com nível superior	-0,47372	Gestor com nível superior	-0,43637
Rebanho bovino	0,00002*	Rebanho bovino	0,00002*
Área lavouras temporárias	0,00000	Área lavouras temporárias	0,00000
Área lavouras permanentes	0,00018*	Área lavouras permanentes	0,00014*
Município de fronteira	1,03324***	Município de fronteira	1,73114*
Amostra	8.935	Amostra	8.935
Breusch and Pagan (Prob > chibar2)	0,0000	Breusch and Pagan (Prob > chibar2)	0,0000
(Prob> chi2)	0,0000	(Prob> chi2)	0,0000

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em IBAMA (2020) e IBGE (2020b).

Tabela A.4 – Comparação entre modelos de dados em painel sem e com endogeneidade (crimes contra a flora).

Crimes contra a Flora		Crimes contra a Flora (com Endogeneidade)	
Variáveis Independentes	Coefficientes	Variáveis Independentes	Coefficientes
Renda do crime	0,00051*	Renda do crime	0,00040*
Renda <i>per capita</i>	-0,00025*	Renda <i>per capita</i>	-0,00020*
Indivíduos sem instrução	0,00002*	Indivíduos sem instrução	0,00002*
Serviços ambientais	-1,08448**	Serviços ambientais	-0,87991**
Proporção multas pagas	-0,01517*	Proporção multas pagas	0,00000*
Gestor com nível superior	-0,24996	Gestor com nível superior	-0,22222
Rebanho bovino	0,00002*	Rebanho bovino	0,00002*
Área lavouras temporárias	0,00001**	Área lavouras temporárias	0,00000
Área lavouras permanentes	0,00013*	Área lavouras permanentes	0,00009*
Município de fronteira	1,29226**	Município de fronteira	1,92812*
Amostra	8.935	Amostra	8.935
Breusch and Pagan (Prob > chibar2)	0,0000	Breusch and Pagan (Prob > chibar2)	0,0000
(Prob> chi2)	0,0000	(Prob> chi2)	0,0000

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em IBAMA (2020) e IBGE (2020b).

Tabela A.5 – Comparação entre modelos Tobit por características municipais com e sem endogeneidade para crimes contra à flora (coeficientes não normalizados, amostras não censuradas) – Brasil – período 2011-2015.

Crimes contra a Flora		Crimes contra a Flora (com Endogeneidade)	
Variáveis Independentes	Coefficientes	Variáveis Independentes	Coefficientes
Renda do crime	0,00059*	Renda do crime	0,00038*
Renda <i>per capita</i>	-0,00029*	Renda <i>per capita</i>	-0,00019*
Indivíduos sem instrução	0,00003*	Indivíduos sem instrução	0,00002*
Serviços ambientais	-1,59866*	Serviços ambientais	-0,90932**
Proporção multas pagas	-0,02691*	Proporção multas pagas	0,00000*
Gestor com nível superior	-0,46528	Gestor com nível superior	-0,25232
Rebanho bovino	0,00003*	Rebanho bovino	0,00002*
Área lavouras temporárias	0,00000	Área lavouras temporárias	0,00000
Área lavouras permanentes	0,00015*	Área lavouras permanentes	0,00009*
Município de fronteira	0,95700***	Município de fronteira	2,13421*
Amostra	8935	Amostra	8935
Wald $X^2$	103,38*	Wald $X^2$	339,13*
Prob> F	0,0000	Prob> F	0,0000
Sigma	15,03296	Sigma	13,51915

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em IBAMA (2020) e IBGE (2020b).

Tabela A.6 – Comparação entre modelos Tobit por características municipais com e sem endogeneidade para crimes contra à flora (coeficientes normalizados, amostras não censuradas) – Brasil – período 2011-2015.

Crimes contra a Flora		Crimes contra a Flora (com Endogeneidade)	
Variáveis Independentes	Coefficientes	Variáveis Independentes	Coefficientes
Renda do crime	0,43688*	Renda do crime	0,27971*
Renda <i>per capita</i>	-0,44628*	Renda <i>per capita</i>	-0,29155*
Indivíduos sem instrução	0,09079*	Indivíduos sem instrução	0,07437*
Serviços ambientais	-0,03416*	Serviços ambientais	-0,01943**
Proporção multas pagas	-0,05933*	Proporção multas pagas	0,43663*
Gestor com nível superior	-0,01426	Gestor com nível superior	-0,00773
Rebanho bovino	0,27272*	Rebanho bovino	0,16409*
Área lavouras temporárias	0,01312	Área lavouras temporárias	-0,00325
Área lavouras permanentes	0,03905*	Área lavouras permanentes	0,02355*
Município de fronteira	0,01898**	Município de fronteira	0,04232*
Amostra	8.935	Amostra	8.935
Wald $X^2$	103,38*	Wald $X^2$	339,13*
Prob> F	0,0000	Prob> F	0,0000
Sigma	0,9466758	Sigma	0,8513463

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em IBAMA (2020) e IBGE (2020b).

Tabela A.7 – Comparação entre modelos Tobit por características municipais com e sem endogeneidade para crimes contra à fauna e/ou flora (coeficientes não normalizados, amostras não censuradas) – Brasil – período 2011-2015.

Crimes contra a Flora		Crimes contra a Flora (com Endogeneidade)	
Variáveis Independentes	Coefficientes	Variáveis Independentes	Coefficientes
Renda do crime	0,00078*	Renda do crime	0,00058*
Renda <i>per capita</i>	-0,00038*	Renda <i>per capita</i>	-0,00028*
Indivíduos sem instrução	0,00006*	Indivíduos sem instrução	0,00005*
Serviços ambientais	-1,08699**	Serviços ambientais	-0,40221
Proporção multas pagas	-0,03811*	Proporção multas pagas	0,00000*
Gestor com nível superior	-0,71087**	Gestor com nível superior	-0,48422
Rebanho bovino	0,00003*	Rebanho bovino	0,00002*
Área lavouras temporárias	0,00000	Área lavouras temporárias	0,00000
Área lavouras permanentes	0,00020*	Área lavouras permanentes	0,00014*
Município de fronteira	0,74900	Município de fronteira	1,96090*
Amostra	8.935	Amostra	8.935
Wald $X^2$	120,96*	Wald $X^2$	323,79*
Prob> F	0,0000	Prob> F	0,0000
Sigma	16,42937	Sigma	14,99822

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em IBAMA (2020) e IBGE (2020b).

Tabela A.8 – Comparação entre modelos Tobit por características municipais com e sem endogeneidade para crimes contra à fauna e/ou flora (coeficientes normalizados, amostras não censuradas) – Brasil – período 2011-2015.

Crimes contra a Flora		Crimes contra a Flora (com Endogeneidade)	
Variáveis Independentes	Coefficientes	Variáveis Independentes	Coefficientes
Renda do crime	0,52568*	Renda do crime	0,38815*
Renda <i>per capita</i>	-0,52559*	Renda <i>per capita</i>	-0,39061*
Indivíduos sem instrução	0,17800*	Indivíduos sem instrução	0,16324*
Serviços ambientais	-0,02107**	Serviços ambientais	-0,00780
Proporção multas pagas	-0,07621*	Proporção multas pagas	0,40771*
Gestor com nível superior	-0,01977**	Gestor com nível superior	-0,01346
Rebanho bovino	0,24589*	Rebanho bovino	0,14603*
Área lavouras temporárias	0,00294	Área lavouras temporárias	-0,01214
Área lavouras permanentes	0,04705*	Área lavouras permanentes	0,03321*
Município de fronteira	0,01347	Município de fronteira	0,03527*
Amostra	8.935	Amostra	8.935
Wald $X^2$	120,96*	Wald $X^2$	323,79*
Prob> F	0,0000	Prob> F	0,0000
Sigma	0,9384404	Sigma	0,8566934

Onde: \* Significativo a 1%; \*\* Significativo a 5%; e, \*\*\* Significativo a 10%.

Fonte: Dados da pesquisa com base em IBAMA (2020) e IBGE (2020b).

## APÊNDICE D – TEORIA

### TEORIA ECONÔMICA DO CRIME<sup>17</sup>

Becker (1968) busca incorporar relações comportamentais por trás dos custos associados a atividade criminosa.

O dano social com o crime tende a aumentar juntamente com a quantidade de delitos, assim  $H$  (dano) é uma função do nível de  $O$  (delitos).

$$H_i = H_i(O_i) \tag{1}$$

Com  $H'_i = \frac{dH_i}{dO_i} > 0$  e  $H''_i < 0$ , onde  $H_i$  é o dano provocado pela  $i$ -ésima atividade, já  $O_i$  consiste no nível de crime.

O número de ofensas indica o nível de crime, enquanto o valor do ganho para os criminosos tende a aumentar com o número de infrações, assim  $G$  é uma função de  $O$ :

$$\begin{aligned} G &= G(O), \\ G' &= \frac{dG}{dO} > 0 \text{ e } G'' < 0. \end{aligned} \tag{2}$$

O dano para a sociedade é a diferença entre o dano e o ganho:

$$\begin{aligned} D(O) &= H(O) - G(O), \\ D' &> 0 \forall O > O_a \text{ se } D'(O_a) \geq 0 \end{aligned} \tag{3}$$

Os criminosos têm ganhos marginais decrescentes e provocam danos marginais crescentes por unidades a mais de crime,  $G'' < 0$ ,  $H'' > 0$ , assim:

$$D'' = H'' - G'' > 0, \tag{4}$$

Como  $H'$  e  $G' > 0$ , assim o sinal de  $D'$  depende de suas magnitudes. Partindo da equação (4):

---

<sup>17</sup> Este tópico foi elaborado com base em Becker (1968) e Chawwa, Hernandez e Paul (2012).

$$D'(O) > 0 \text{ para } \forall O > O_a \text{ se } D'(O_a) \geq 0. \quad (5)$$

Para Becker (1968), quanto mais se gasta recursos no combate ao crime, mais fácil é descobrir e punir. Existe então uma função dos recursos utilizados nas atividades de combate aos delitos, esta têm vários “inputs” de mão-de-obra, materiais e capital:

$A = f(m, r, c)$ , onde  $A$  é uma função da mão-de-obra ( $m$ ), materiais e capital ( $r$ ), já  $f$  é uma função de produção, dados  $f$  e os preços dos insumos, aumento no crime ampliaria os gastos de combatê-los, se terá então:

$$C = C(A), \quad (6)$$

onde  $C$  é o custo de se aplicar a lei e está relacionado com o nível de atividade de combate ao crime, com  $C' = dC/dA > 0$ .

Segundo o modelo, se utiliza como medida de atividade de combate ao crime o número de delitos apurados por condenação:

$$A \cong pO \quad (7)$$

$p$  seria a razão de crimes solucionadas por condenação, em relação a todos os delitos, e a probabilidade geral de que a ofensa seja solucionada.

Substituindo (7) em (6) e diferenciando temos:

$$\begin{aligned} C &= C(A) \\ C &= C(pO) \\ C' &= \frac{\partial C(pO)}{\partial p} = C'O > 0 \quad \text{e} \quad C_o = \frac{\partial C(pO)}{\partial O} = C'p > 0 \quad (8) \quad pO \neq 0. \end{aligned}$$

Um aumento na probabilidade de condenação, assim como na oferta de crime elevariam os custos totais. O custo marginal da atividade se elevando implicará que:

$$\begin{aligned} C_{pp} &= C''O^2 > 0, \text{ e } C_{oo} = C''p^2 > 0 \\ C_{po} &= C_{op} = C''pO + C' > 0 \end{aligned} \quad (9)$$

De maneira mais geral têm-se que:

$$A = h(p, O, a) \quad (10)$$

onde  $a$  representa os aprisionamentos e outros determinantes da atividade de combate ao crime. Substituindo na função custo temos:

$$C = C(A) = C(p, O, a)$$

$$C = C(p, O, a).$$

Como  $h_p, h_o, h_a > 0$ , então  $C_p, C_o, C_a > 0$ . Para que não ocorra uma solução de canto, algumas restrições têm que ser consideradas nas condições de segunda ordem da função custo:

$$C_{pp} \geq 0, C_{oo} \geq 0, C_{po} \cong 0. \quad (11)$$

Diferenciando os rendimentos da função de custo:

$C = C(A)$ ,  $A = h(p, O, a)$ , então:

$$C = C(h(p, O, a))$$

$$C_p = \partial C(h) / \partial p$$

$$C_{pp} = C''(h_p)^2 + C' h_{pp}$$

$$C_{oo} = C''(h_o)^2 + C' h_{oo}$$

$$C_{po} = C'' h_o h_p + C' h_{po}$$

$C_{pp}$  ou  $C_{oo} < 0$  para custos marginais crescentes desde que  $h_{pp}$  ou  $h_{oo}$  forem suficientemente negativos.  $C_{po}$  pode ser aproximadamente zero somente se  $h_{po}$  for suficientemente negativo. Caso a atividade de combate ao crime seja medida somente por número de condenações,  $h_{pp} = h_{oo} = 0$ , e  $h_{po} > 0$ .

Um indivíduo cometerá um delito se a utilidade esperada dele for maior que a utilidade que ele pode obter com outras atividades. Adentrar na atividade criminosa se deve então a uma relação de custo benefício ponderada pelo indivíduo e não pelas diferentes motivações entre as pessoas. Então a oferta de crime dependerá da probabilidade de condenação, punição e outras

variáveis como a renda disponível para ele em atividades lícitas e ilícitas bem como a chance de ser pego. Assim, a oferta de crimes seria:

$$O_j = O_j(p_j, f_j, u_j), \quad (12)$$

$O_j$  é o número de ofensas;

$p_j$  é a probabilidade de condenação;

$f_j$  é a punição;

$u_j$  são as outras influências.

Caso ocorra elevação em  $p_j$  ou  $f_j$ , provocará uma diminuição da utilidade esperada do crime e reduzirá a oferta.

$$\text{Com isso terá que } O_{p_j} = \partial O_j / \partial p_j < 0 \text{ e } O_{f_j} = \partial O_j / \partial f_j < 0. \quad (13)$$

Também se pode analisar possíveis mudanças em  $u_j$ , por exemplo, um aumento na renda com atividades ilícitas assim como maior cumprimento da legislação, ampliação do nível de escolaridade tenderiam a reduzir os atrativos para se praticar um crime e com isso provocariam redução da oferta de crime. De maneira semelhante, mudanças nas punições podem implicar redução do número de delitos.

Becker (1968) salienta que elevação em  $p_j$  compensado por uma igual mudança percentual em  $f_j$  não alterará a renda do crime, mas poderá mudar a utilidade esperada pelo criminoso, já que haverá alteração da percepção de risco associada a prática delituosa. Indivíduo tomador de risco visualizará que um aumento de  $p_j$  provocará uma redução da utilidade que espera obter na atividade ilícita. Já pessoa aversa ao risco considerará que elevação em  $f_j$  terá um efeito maior sobre a sua utilidade esperada, mesmo efeito caso seja neutro<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> Utilidade esperada do crime:

$$EU_j = p_j U_j(Y_j - f_j) + (1 - p_j) U_j(Y_j)$$

Diferenciando em relação a  $p_j$ :

$$\frac{\partial p_j}{\partial p_j} U_j(Y_j - f_j) + \frac{\partial U_j(Y_j - f_j)}{\partial p_j} p_j + \frac{\partial (1 - p_j)}{\partial p_j} U_j(Y_j) + \frac{\partial U_j(Y_j)}{\partial p_j} (1 - p_j) = U_j(Y_j - f_j) - U_j(Y_j) - \frac{\partial EU_j}{\partial p_j} \frac{p_j}{U_j} = [U_j(Y_j) - U_j(Y_j - f_j)] \frac{p_j}{U_j}$$

Diferenciando agora em relação a  $f_j$ :

$$EU_j = p_j U_j(Y_j - f_j) + (1 - p_j) U_j(Y_j)$$

A renda esperada de uma ofensa é representada por:

$$\begin{aligned} EY_j &= p_j(Y_j - f_j) + (1 - p_j)Y_j = \\ &= p_jY_j - p_jf_j + Y_j - p_jY_j = \\ &= -p_jf_j + Y_j = \\ &= Y_j - p_jf_j \end{aligned}$$

A utilidade esperada a partir da atividade criminosa é definida como:

$$EU_j = p_jU_j(Y_j - f_j) + (1 - p_j)U_j(Y_j),$$

onde  $Y_j$  é a renda;

$U_j$  é a função de utilidade;

$f_j$  é o equivalente monetário da punição.

Então,

$$\frac{\partial EU_j}{\partial p_j} = U_j(Y_j - f_j) - U_j(Y_j) < 0$$

e

---


$$\begin{aligned} \frac{\partial EU_j}{\partial f_j} \frac{f_j}{U_j} &= \frac{\partial p_j}{\partial f_j} U_j(Y_j - f_j) + \frac{\partial U_j(Y_j - f_j)}{\partial f_j} p_j + \frac{\partial(1 - p_j)}{\partial f_j} U_j(Y_j) + \frac{\partial U_j(Y_j)}{\partial f_j} (1 - p_j) \\ &= [U_j'(Y_j - f_j) p_j] \frac{f_j}{U_j} \end{aligned}$$

$$-\frac{\partial EU_j}{\partial f_j} \frac{f_j}{U_j} = p_j U'(Y_j - f_j) \frac{f_j}{U_j}$$

Assim,

$$\begin{aligned} -\frac{\partial EU_j}{\partial p_j} \frac{p_j}{U_j} &= [U_j(Y_j) - U_j(Y_j - f_j)] \frac{p_j}{U_j} \geq -\frac{\partial EU_j}{\partial f_j} \frac{f_j}{U_j} = p_j U'(Y_j - f_j) \frac{f_j}{U_j} \\ \frac{U_j(Y_j) - U_j(Y_j - f_j)}{f_j} &\geq \frac{p_j U'(Y_j - f_j)}{p_j} \\ \frac{U_j(Y_j) - U_j(Y_j - f_j)}{f_j} &\geq U'(Y_j - f_j) \end{aligned}$$

O termo da esquerda é a mudança média na utilidade entre  $Y_j - f_j$  e  $Y_j$ ;

A utilidade pode ser maior que, igual a, ou menor que  $U'(Y_j - f_j)$  com  $U_j'' \geq 0$ ;

Já a preferência por risco pode ser dada por  $U_j' > 0$ ;

A neutralidade por  $U_j'' = 0$ ;

O indivíduo averso ao risco terá  $U_j'' < 0$ .

$$\begin{aligned}\frac{\partial EU_j}{\partial f_j} &= \frac{\partial p_j}{\partial f_j} U_j(Y_j - f_j) - \frac{\partial U_j(Y_j - f_j)}{\partial f_j} p_j = \\ &= -U'_j(Y_j - f_j) p_j = -p_j U'_j(Y_j - f_j) < 0.\end{aligned}$$

Desde que a utilidade marginal da renda seja positiva.

Considerando os custos e as probabilidades de prisão, detenção e julgamento que não resultam em condenação. Becker (1968) mostra que a oferta total de crime é dada pela soma de todas  $O_j$  e depende de  $p_j$ ,  $f_j$  e  $u_j$ . O autor considera somente os valores médios de  $p$ ,  $f$  e  $u$ <sup>19</sup>, assim a oferta de crime pode ser dada por:

$$O = O(p, f, u) \tag{14}$$

A oferta de crimes de mercado é negativamente relacionada com  $p$  e  $f$ .

O custo social pode ser escrito em termos dos custos dos criminosos:

$$f' \equiv bf \tag{15}$$

$f$  é o custo social;

$b$  é o coeficiente que transforma  $f$  em  $f'$ .

As punições são representadas em termos monetários pelo coeficiente  $b$ , os valores deste indicam:

$b \cong 0$ , significa que multas criam pouco ou nenhum custo para a sociedade;

$b > 0$ , alto custo para a sociedade;

$b > 1$ , para tortura, liberdade condicional, prisão e maioria dos outros tipos de punição mais severas.

Segundo o modelo, a sociedade deveria tentar reduzir o crime para zero, porém o custo de tal tarefa seria demasiado elevado.

A função de perda social com o crime para a sociedade é:

---

<sup>19</sup> A média de  $p$  pode ser definida como:

$$p = \frac{\sum_{j=1}^n O_j p_j}{\sum_{i=1}^n O_i} \text{ de maneira análoga se encontra as definições de } f \text{ e } u.$$

$$L = L(D, C, bf, O) \quad (16)$$

$$\text{Com } \frac{\partial L}{\partial D} > 0, \frac{\partial L}{\partial C} > 0, \frac{\partial L}{\partial bf} > 0. \quad (17)$$

Deve-se então escolher os valores de  $f$ ,  $C$  e  $b$  que minimizam  $L$ .

Assumindo que a função perda social é:

$$L = D(O) + C(p, O) + bpfO \quad (18)$$

$bpfO$  é a perda social total com punições;

$bf$  é a perda por ofensa punida;

$pO$  é o número de crimes punidos.

As variáveis de controle social são:

$C$  é o gasto no combate ao crime;

$f$  é a punição por crime para indivíduos condenados;

$b$  representa as formas de punição.

As condições ótimas de primeira ordem são:

$$L = D(O) + C(p, O) + bpfO.$$

$$\frac{\partial L}{\partial f} = D'O_f + C'O_f + C'p_f + bpfO' + bpO = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial f} = D'O_f + C'O_f + bpfO' + bpO = 0 \quad (19)$$

$$\frac{\partial L}{\partial p} = D'O_p + C_p p_p + C'O_p + bpfO_p + bfO = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial p} = D'O_p + C_p + C'O_p + bpfO_p + bfO = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial p} = D'O_p + C'O_p + C_p + bpfO_p + bfO = 0 \quad (20)$$

Se  $O_f$  e  $O_p$  não são iguais a zero,  $O_f$  pode ser dividido por (19) e  $O_p$  poder ser dividido por (20).

Dividindo (19) por  $O_f$  e reordenando:

$$\frac{D'O_f}{O_f} + C'O_f + \frac{bpfO_f}{O_f} + \frac{bpO}{O_f}$$

$$D' + C' + bpf + \frac{bpO}{O_f}$$

$$D' + C' = -bpf - \frac{bpO}{O_f}$$

$$D' + C' = -bpf \left[ 1 + \frac{1}{\left(-\frac{fO_f}{O}\right)} \right],$$

$$\text{Como } \varepsilon_f = -\frac{f}{O} O_f,$$

$$D' + C' = -bpf \left[ \frac{O_f}{O_f} - \frac{1}{\varepsilon_f} \right]$$

$$D' + C' = -bpf \left[ 1 - \frac{1}{\varepsilon_f} \right] \quad (21)$$

Dividindo (20) por  $O_p$ :

$$\frac{D'O_p}{O_p} + \frac{C'O_p}{O_p} + C_p \frac{1}{O_p} + \frac{bpfO_p}{O_p} + \frac{bfO}{O_p} = 0$$

$$D' + C' + C_p \frac{1}{O_p} = -bpf - \frac{bfO}{O_p}$$

$$D' + C' + C_p \frac{1}{O_p} = -bpf \left[ \frac{O_p}{O_p} + \frac{1}{\left(-\frac{p}{O} O_p\right)} \right]$$

$$\text{Como } \varepsilon_p = -\frac{p}{O} O_p,$$

$$D' + C' + C_p \frac{1}{O_p} = -bpf \left[ 1 - \frac{1}{\varepsilon_p} \right] \quad (22)$$

$$\text{onde } \varepsilon_f = -\frac{f}{O} O_f \quad \text{e} \quad \varepsilon_p = -\frac{p}{O} O_p \quad (23)$$

O termo da esquerda de cada equação é custo marginal de se elevar a oferta de crime  $O$ : em (21) se reduzindo  $f$  e em (22) diminuindo  $p$ . Considerando que  $C' > 0$  e assumindo que  $O$  esteja em uma região em que  $D' > 0$ , o custo marginal de aumento em  $O$  por meio de  $f$  deve ser positivo. Becker (1968) salienta que o tipo de punição e a probabilidade de ser pego ao praticar um crime irão definir o custo marginal. Para  $b < 0$  a condição ótima é de que  $\varepsilon_p < \varepsilon_f$ , nesta situação os criminosos são aversos ao risco. Para  $\varepsilon_f = \varepsilon_p = \varepsilon$ ,  $O$  dependerá de  $pf$ , já  $C = 0$  caso  $p = 0$ , as duas condições de equilíbrio derivadas das equações (21) e (22) podem ser sumarizadas por:  $D' = -bpf \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon} \right)$ .

Partindo de  $D' = -bpf \left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right)$  e da oferta de crimes  $O$ , os valores de equilíbrio de  $O = O(pf)$  e das variáveis  $p$  e  $f$  podem ser definidos. Quando  $b < 0$ , a solução ótima seria  $p = 0$  e  $f$  alto se criminosos são tomadores de risco ou neutros a este. Tem-se que  $1 - p$  é a probabilidade de não haver punição. A punição esperada deveria ser  $\mu = pf$ , a variância  $\sigma^2 = p(1 - p)f^2$ , e o coeficiente de variação  $v = \frac{\sigma}{\mu} \sqrt{\frac{1-p}{p}}$ .

Se não há perdas sociais com punições, como acontece com as multas,  $b$  será igual a zero e a elasticidade da oferta sairia da condição ótima dada pela equação (21). Se  $b > 0$  então haverá uma perda social. Becker (1968) então ressalta como as elasticidades da oferta de crimes são importantes na determinação das condições ótimas, tendo em vista que modificará os custos sociais.

O custo da punição por multa, apreensão e condenação é igual a zero, assim  $b = 0$ . Assim, as condições (21) e (22) se tornam:

$$D' + C' = -bpf \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_f}\right) \quad (21)$$

$$D' + C' + C_p \frac{1}{o_p} = -bpf \left[1 - \frac{1}{\varepsilon_p}\right] \quad (22)$$

Então,  $b = 0$  e  $C = 0$  e,

$$D'(O) = 0 \quad (24)$$

Pelo modelo,  $\hat{O}$  é o número ótimo de oferta de crime. Assim, as multas ou formas de punição, assim como a probabilidade de ser pego e condenado, devem ser a uma magnitude que induza os criminosos a cometerem o nível ótimo de crime  $\hat{O}$ . Desta maneira, a condição ótima tem que atender a condição de que o valor marginal das penas seja igual ao ganho privado marginal:

$$V = G'(\hat{O}), \quad (25)$$

$G'(\hat{O})$  é o ganho marginal privado;

$V$  é o valor monetário das penalidades marginais.

Por (3) e (24):

$$D(O) = H(O) - G(O) \quad (3)$$

$$D'(O) = 0. \quad (24)$$

$$\text{Então, } D'(\hat{O}) = H'(\hat{O}) - G'(\hat{O}) = 0$$

Substituindo em (25):

$$H'(\hat{O}) - G'(\hat{O}) = 0$$

$$H'(\hat{O}) = G'(\hat{O})$$

Como  $V = G'(\hat{O})$ , então:

$$H'(\hat{O}) = V$$

$$V = H'(\hat{O}) \quad (26)$$

Assim, o valor monetário das penas aplicadas deverá se igualar ao dano marginal causado pela oferta de crimes.

No caso das multas, a equação (26) poderá se tornar:

$$f = H'(\hat{O}), \quad (27)$$

visto que o custo de apreensão e condenação é considerado zero, a multa (27) compensará o dano marginal.

Quando custo de apreensão e condenação não são zero, a condição ótima precisa incorporar o mesmo:

$$D'(\hat{O}) + C'(\hat{O}, 1) = 0 \quad (28)$$

Com probabilidade de condenação igual à unidade.

A equação (28) será satisfeita se igualarmos a soma do dano marginal e custos marginais:

$$f = H'(\hat{O}) + C'(\hat{O}, 1) \quad (29)$$

No equilíbrio  $f' = G'(\hat{O})$ , por (28):

$$D'(\hat{O}) = -C'(\hat{O}, 1)$$

$$f = H'(\hat{O}) + C'(\hat{O}, 1)$$

$$\begin{aligned}
G'(\hat{O}) &= H'(\hat{O}) + C'(\hat{O}, 1) \\
D'(\hat{O}) &= -C'(\hat{O}, 1) = H'(\hat{O}) - G'(\hat{O}) \\
D'(\hat{O}) &= H'(\hat{O}) - G'(\hat{O}) = -C'(\hat{O}, 1)
\end{aligned}$$

Criminosos têm que compensar tanto pelo custo de combater o crime quanto pelo dano a sociedade que estes causaram.

A condição ótima é:

$$D'(\hat{O}) + C'(\hat{O}, \hat{p}) + C_p(\hat{O}, \hat{p}) \frac{1}{o_p} = 0 \quad (30)$$

$$D'(\hat{O}) > 0$$

$$\frac{dC}{dp} = C' \frac{\partial O}{\partial p} + C_p \frac{\partial p}{\partial p} > 0$$

$$\frac{dC}{dp} = C' \frac{\partial O}{\partial p} + C_p > 0$$

$$C' \frac{\partial O}{\partial p} > -C_p$$

$$C' > -\frac{C_p}{\partial O / \partial p}$$

$$C' > -C_p \frac{1}{\partial O / \partial p}$$

$$0 > -C_p \frac{1}{\partial O / \partial p} - C'$$

$$C' + C_p \frac{1}{\partial O / \partial p} < 0$$

$$D'(\hat{O}) = -C'(\hat{O}, 1), \quad C'(\hat{O}, 1) = C' + C_p \frac{1}{\partial O / \partial p}$$

Então:

$$D'(\hat{O}) = - \left[ C' + C_p \frac{1}{\partial O / \partial p} \right] > 0$$

A oferta de crime pode ultrapassar a quantidade ótima de ofensas caso os custos sejam zero. Os custos associados aos recursos empregados no combate as atividades ilícitas podem

aumentar ou diminuir o nível ótimo de crime, o qual depende dos fatores punições, multas, probabilidade de ser identificado e condenado. Becker (1968) sugere que a aplicação de multas auxiliaria na elevação do bem-estar, já que estas proporcionariam uma transferência de recursos para o estado. Desta maneira, o autor sugere que, sempre que possível, dependendo do tipo de delito, a punição deve ser simplificada pelo uso de multas, não sendo necessário se conhecer as elasticidades associadas aos criminosos.

Becker apresenta, ainda no que tange a multas, uma série de argumentos que implicam que o bem-estar social aumenta quando multas são usadas sempre que possível. Estas não usam recursos sociais, sendo basicamente uma transferência de recursos para o estado. A determinação do número ótimo de ofensas e a severidade das punições deve ser simplificada pela aplicação de multas, não sendo necessário o conhecimento das elasticidades dos ofensores de suas respostas a mudanças nas punições. Desta forma, as multas ótimas determinadas pelas Equações (27) ou (29) não dependem das elasticidades. Para Becker (1968), as multas ótimas teriam o papel de restaurar o dano social causado. As multas especificadas na equação (29) dependem do dano marginal e não das características dos criminosos, porém esta argumentação já sofreu algumas críticas e valores de multas considerando nível de renda dos ofensores já passaram a ser consideradas.

Segundo o modelo, cada indivíduo na sociedade buscará minimizar sua perda esperada em renda provocada pelos crimes. Assim, para cada pessoa existirá uma função de perda, partindo da equação (18), temos:

$$L_j = H_j(O_j) + C_j(p_j, O_j, C, C_k) + b_j p_j f_j O_j \quad (31)$$

$H_j$  é o dano para  $j$  a partir de  $O_j$  (oferta de crime);

$C_j$  é o custo de se chegar a probabilidade de condenação  $p_j$ ;

$C_j$  é positivamente relacionado com  $O_j$  e negativamente relacionado com  $C$  e  $C_k$ ;

$C_k$  representa o conjunto de gastos privados por outros indivíduos;

$b_j p_j f_j O_j$  é a perda esperada por  $j$ ;

$b_j$  e  $f_j$  são definidos por políticas públicas;

A variável controlada por  $j$  é  $p_j$ .

Indivíduo escolherá um  $p_j$  que minimize  $L_j$ , situação análoga a (22):

$$H'_j + C'_j + C_{j p_j} \frac{\partial p_j}{\partial O_j} = -b_j p_j f_j \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon_{j p_j}} \right) \quad (32)$$

$\varepsilon_{jp_j}$  mede o efeito de uma mudança em  $p_j$  no número de ofensas cometidas contra  $j$ .

Teremos  $b < 0$  quando no lado esquerdo da equação (32), o custo marginal de uma mudança em  $O_j$  (quantidade de crime) for  $> 0$ , então (32) implica que  $\varepsilon_{jp_j} > 1$ .

Ainda em relação a equação (32), se assume que  $\frac{\partial C}{\partial p_j} = \frac{\partial C_k}{\partial p_j} = 0$ ,  $j$  é pouco relevante para influenciar outros gastos. Neste ponto seria interessante uma modificação nas condições ótimas (21) e (22). Considerando que os efeitos dos gastos públicos dependam do patamar que se encontram os gastos privados e que os gastos públicos influenciem as ações privadas, teremos que a equação (22) se torna:

$$D' + C' + C_p \frac{1}{o_p} = -bpf \left[ 1 - \frac{1}{\varepsilon_p} \right] \quad (22)$$

$$D' + C' + C_p \frac{\partial p}{\partial o} + \sum_{i=1}^n \frac{dC}{dC_j} \frac{dC_j}{dp} \frac{\partial p}{\partial o} = -bpf \left[ 1 + \frac{1}{\varepsilon_p} \right] \quad (22')$$

$p$  é uma média ponderada de  $p_j$ .

(22') incorpora a ideia de que caso haja uma elevação nos gastos públicos com segurança, isto pode ser frustrado por uma redução nos gastos privados.

Pelo modelo de Becker (1968), pode-se construir uma função lucro que demonstra a ampliação de renda por meio dos benefícios associados ao crime, assim:

$A(B)$  representa vantagem social líquida dos benefícios  $B$ ;

$K(B, p_1)$  é o custo de apreender e de recompensar benfeitores;

$p_1$  é a probabilidade de o fazer com  $K'$  e  $K_p > 0$ ;

$B(p_1, a, v)$  é a oferta de benefícios;

$a$  é o prêmio por benefício;

$v$  são outros determinantes;

Com  $\frac{\partial B}{\partial p_1}$  e  $\frac{\partial B}{\partial a} > 0$ ;

$b_1$  é a fração de  $a$  que representa a perda líquida para a sociedade.

Pode-se representar uma função lucro mostrando o aumento na renda a partir dos benefícios:

$$\pi = A(B) - K(B, p_1) - b_1 p_1 a B \quad (33)$$

$\pi$  é maximizada escolhendo valores  $p_1$  e  $a$ , as condições ótimas são bastante semelhantes as (21) e (22).

Diferenciando  $\pi$  com  $e_a = \frac{\partial B}{\partial a} \frac{a}{B}$

$$A' - K' = b_1 p_1 a \left[ 1 + \frac{1}{\frac{\partial B}{\partial a} \frac{a}{B}} \right]$$

$$A' - K' = b_1 p_1 a \left[ 1 + \frac{1}{e_a} \right] \quad (34)$$

Com  $e_p = \frac{\partial B}{\partial p_1} \frac{p_1}{B}$

$$A' - K' - K_p \frac{\partial p_1}{\partial B} = -b_1 p_1 a \left[ 1 + \frac{1}{\frac{\partial B}{\partial p_1} \frac{p_1}{B}} \right]$$

$$A' - K' - K_p \frac{\partial p_1}{\partial B} = -b_1 p_1 a \left[ 1 + \frac{1}{e_p} \right] \quad (35)$$

Tanto  $e_a = \frac{\partial B}{\partial a} \frac{a}{B} > 0$ , quanto  $e_p = \frac{\partial B}{\partial p_1} \frac{p_1}{B} > 0$

Se  $b_1 > 0$ ,  $a$  custa recursos a sociedade, assim (34) e (35) implicam que  $e_p > e_a$ , desde que  $K_p > 0$  e  $\frac{\partial p_1}{\partial B} > 0$ .

A relação  $e_p > e_a$  vale se e somente se:

$$\frac{\partial EU}{\partial p_1} \frac{p_1}{U} > \frac{\partial EU}{\partial a} \frac{a}{U} \quad (1')$$

$$\text{Onde, } EU = p_1 U(Y + a) + (1 - p_1) U(Y) \quad (2')$$

Diferenciando a equação (2'):

$$\begin{aligned} \frac{\partial EU}{\partial p_1} \frac{p_1}{U} &= \left[ \frac{\partial p_1}{\partial p_1} U(Y + a) + \frac{\partial U(Y + a)}{\partial p_1} p_1 + \frac{\partial(1 - p_1)}{\partial p_1} U(Y) + (1 - p_1) \frac{\partial U(Y)}{\partial p_1} \right] \frac{p_1}{U} \\ &= [U(Y + a) - U(Y)] \frac{p_1}{U} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial EU}{\partial a} \frac{a}{U} &= \left[ \frac{\partial p_1}{\partial a} U(Y + a) + \frac{\partial U(Y + a)}{\partial a} p_1 + \frac{\partial(1 - p_1)}{\partial a} U(Y) + (1 - p_1) \frac{\partial U(Y)}{\partial a} \right] \frac{a}{U} \\ &= \frac{p_1 a U'(Y + a)}{U} \end{aligned}$$

Então:

$$\frac{\partial EU}{\partial p_1} \frac{p_1}{U} > \frac{\partial EU}{\partial a} \frac{a}{U}$$

$$[U(Y+a) - U(Y)] \frac{p_1}{U} > \frac{p_1 a U'(Y+a)}{U}$$

$$p_1 [U(Y+a) - U(Y)] > p_1 a U'(Y+a)$$

(3')

$$[U(Y+a) - U(Y)] > \frac{p_1 a U'(Y+a)}{p_1}$$

$$[U(Y+a) - U(Y)] > a U'(Y+a)$$

$$\frac{U(Y+a) - U(Y)}{a} > U'(Y+a) \quad (4')$$

Partindo das condições ótimas derivadas da minimização vista anteriormente, algumas importantes inferências são apontadas por Becker (1968):

- 1) Se o custo de uma punição é alto, a elasticidade da resposta das ofensas em relação a uma alteração em  $p$ , em equilíbrio, teria que exceder sua resposta a uma mudança em  $f$ ;
- 2) Adentrar em atividades ilícitas pode ser explicado com o mesmo modelo de escolhas que os economistas usam para explicar a entrada em atividades lícitas, portanto, ofensores são (na margem) tomadores de risco;
- 3) Atividades ilícitas podem não compensar (na margem), tendo em vista que a renda real recebida pode ser menor do que aquela recebida em atividades legais menos arriscadas;
- 4) Valores ótimos de  $p$  e  $f$  devem ser maiores quanto maior forem os danos;
- 5) Ofensas como assassinato e estupro devem ser solucionados e punidos com maior rigor e severidade e não com aplicação de multas;
- 6) Algumas vantagens de se punir com multas são: economizar recursos, compensar a sociedade, assim como punir os ofensores e simplificar a determinação ótima de  $p$ 's e  $f$ 's;

É importante enfatizar que o artigo do autor concentra a análise na determinação ótima de políticas para combater comportamento criminoso. Por fim, Becker coloca que a principal

contribuição do modelo é demonstrar que políticas ótimas que visam combater comportamentos ilícitos são parte de uma alocação ótima de recursos.