

**MARCO ANTONIO GIORDANO LEITE**

**OS IMPACTOS DOS AUTOS DE INFRAÇÃO SOBRE O DESMATAMENTO: UMA  
ÁNALISE DA CONTRIBUIÇÃO DAS MULTAS E EMBARGOS DE INFRAÇÃO  
AMBIENTAL SOBRE O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL**

Monografia apresentada ao Curso de Economia,  
Setor da Faculdade de Economia,  
Administração Contabilidade e Atuária da  
Universidade de São Paulo, como requisito  
parcial para a obtenção do título de Bacharel em  
Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. André Luis Squarize  
Chagas

**SÃO PAULO**

**2022**

**MARCO ANTONIO GIORDANO LEITE**

**OS IMPACTOS DOS AUTOS DE INFRAÇÃO SOBRE O DESMATAMENTO: UMA  
ÁNALISE DA CONTRIBUIÇÃO DAS MULTAS E EMBARGOS DE INFRAÇÃO  
AMBIENTAL SOBRE O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL**

Monografia apresentada ao Curso de Economia,  
Setor da Faculdade de Economia,  
Administração Contabilidade e Atuária da  
Universidade de São Paulo, como requisito  
parcial para a obtenção do título de Bacharel em  
Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. André Luis Squarize  
Chagas

**SÃO PAULO**

**2022**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

Leite, Marco Antonio Giordano

OS IMPACTOS DOS AUTOS DE INFRAÇÃO SOBRE O DESMATAMENTO:  
UMA ÁNALISE DA CONTRIBUIÇÃO DAS MULTAS E EMBARGOS DE  
INFRAÇÃO AMBIENTAL SOBRE O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA  
LEGAL– São Paulo, 2022.

47 páginas

Área de concentração: Economia

Linha de Pesquisa : Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. André Luis Squarize Chagas

Monografia – Universidade de São Paulo  
Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária

1. Desmatamento; 2. Autos Ambientais; 3. Embargos Ambientais

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os professores da FEA que contribuíram para a minha formação, em especial ao Prof. Dr. André Luiz Squarize Chagas que me orientou neste trabalho. Agradeço também aos meus familiares e amigos que me incentivaram ao longo de minha trajetória.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VI</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1 OBJETIVO.....	8
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>11</b>
2.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA .....	11
2.2 EFEITOS DAS POLÍTICAS AMBIENTAIS. ....	12
<b>3 MATERIAL E MÉTODO.....</b>	<b>16</b>
3.1 DADOS SOBRE DESMATAMENTO .....	16
3.2 DADOS SOBRE MULTAS E EMBARGOS AMBIENTAIS .....	17
3.3 DADOS SOBRE AS OUTRAS VARIÁVEIS UTILIZADAS .....	22
3.4 HIPÓTESES DO MODELO .....	23
3.5 ESTRATÉGIA EMPÍRICA .....	26
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
4.1 RESULTADOS INTENSIDADE DE MULTAS SIMPLES .....	33
4.2 RESULTADOS INTENSIDADE DE MULTAS PONDERADAS.....	34
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURA 1 -</b>	<b>SUMÁRIO DE ESTATÍSTICAS DESMATAMENTO .....</b>	<b>17</b>
<b>FIGURA 2 -</b>	<b>SUMÁRIO DE ESTATÍSTICAS MULTAS AMBIENTAIS .....</b>	<b>18</b>
<b>FIGURA 3 -</b>	<b>SUMÁRIO DE ESTATÍSTICAS VARIÁVEIS CONSTRUÍDAS PARA PONDERAÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>FIGURA 4 -</b>	<b>SUMÁRIO DE ESTATÍSTICAS EMBARGOS AMBIENTAIS .....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURA 5 -</b>	<b>SUMÁRIO DE ESTATÍSTICAS VARIÁVEIS INSTITUCIONAIS DO MÓDELO.....</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 6 -</b>	<b>SUMÁRIO DE ESTATÍSTICAS VARIÁVEIS ECONÔMICAS DO MÓDELO.....</b>	<b>23</b>
<b>TABELA 1 -</b>	<b>SUMÁRIO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS NO MÓDELO .....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 7 -</b>	<b>RESULTADOS MÓDELO INTENSIDADE MULTAS SIMPLES .....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 8 -</b>	<b>TESTE HAUSMAN MÓDELO INTENSIDADE MULTAS SIMPLES .....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 9 -</b>	<b>RESULTADOS MÓDELO INTENSIDADE MULTAS PONDERADA .....</b>	<b>34</b>
<b>FIGURA 10 -</b>	<b>TESTE HAUSMAN MÓDELO INTENSIDADE MULTAS PONDERADA .....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURA 11 -</b>	<b>SUMÁRIO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>

## RESUMO

### OS IMPACTOS DOS AUTOS DE INFRAÇÃO SOBRE O DESMATAMENTO: UMA ÁNALISE DA CONTRIBUIÇÃO DAS MULTAS E EMBARGOS DE INFRAÇÃO AMBIENTAL SOBRE O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL

**Objetivo:** O Objetivo desta monografia é avaliar os efeitos dos autos de infração ambiental ministrados pelo Ibama sobre o incremento do desmatamento anual nos municípios da Amazônia Legal, analisando separadamente o efeito da aplicação de multas ambientais do efeito do embargo de áreas desmatadas ilegalmente. **Material e Método:** Os dados associados ao incremento de desmatamento foram obtidos no projeto PRODES, e o valor das multas de infração e áreas de embargo ambientais, obtidas do IBAMA. Foram coletados dados do período entre 2008 e 2019. Dois modelos foram apresentados para explicar o incremento do desmatamento observado na região a partir das multas e embargos derivados de autos de infração ambiental somados a outras variáveis explicativas indicadas pela literatura. Foram realizadas regressões de dados em painel, e a partir do teste de Hausman, foram selecionadas as estimativas do modelo de Efeitos Fixos. **Resultados:** Os resultados obtidos indicam que o mecanismo de embargos ambientais foi mais eficiente do que o mecanismo da aplicação de multas ambientais para o combate do desmatamento nos municípios da região da Amazônia Legal. Enquanto o primeiro pode contribuir com até 6,6% da redução do incremento do desmatamento no próximo período, este último não se mostrou estatisticamente significante no modelo.

**Descriptores:** Incremento do Desmatamento, Autos de infração ambiental, Multas Ambientais, Embargos ambientais, Dados em Painel

**Códigos JEL :** Q23, Q28, C23

## ABSTRACT

### THE IMPACTS OF INFRINGEMENT NOTICES ON DEFORESTATION: AN ANALYSIS OF THE CONTRIBUTION OF FINES AND ESTABLISHMENTS FOR ENVIRONMENTAL INFRINGEMENT ON DEFORESTATION IN THE LEGAL AMAZON

**Objective:** The objective of this monograph is to evaluate the effects of the notices of environmental infraction issued by Ibama on the increase in annual deforestation in the municipalities of the Legal Amazon, analyzing separately the effect of the application of environmental fines from the effect of the embargo of illegally deforested areas. **Material and Method:** Data associated with the increase in deforestation were obtained from the PRODES project, and the value of infraction fines and environmental embargo areas were obtained from IBAMA. Data from the period between 2008 and 2019 were collected. Two models were presented to explain the increase in deforestation observed in the region based on fines and embargoes derived from environmental infraction notices, added to other explanatory variables indicated in the literature. Panel data regressions were performed, and based on the Hausman test, the estimates of the Fixed Effects model were selected. **Results:** The results obtained indicate that the mechanism of environmental embargoes was more efficient than the mechanism of application of environmental fines to combat deforestation in the municipalities of the Legal Amazon region. While the former can contribute with up to 6.6% of the reduction in deforestation increment in the next period, the latter was not statistically significant in the model.

**Key words:** Increase in Deforestation, Environmental infraction notices, Environmental Fines, Environmental Embargoes, Panel Data

**JEL codes:** Q23, Q28, C23

# **1 INTRODUÇÃO**

## 1 INTRODUÇÃO

A temática do meio ambiente tem ganhado uma relevância global nos últimos anos, sendo amplamente discutida nos mais diferentes setores da sociedade. Nesse contexto, a discussão sobre a legislação ambiental e seus efeitos sobre a contenção da degradação do meio ambiente ganha importância, na medida em que o poder público é o agente com maior capacidade de coibir esse tipo de comportamento dentro da sociedade. A Lei Nº 7.735 de 22 de Fevereiro de 1989 cria o IBAMA como um dos principais órgãos responsáveis pela coordenação da política nacional do meio ambiente. Um de seus principais instrumentos para coordenação da política nacional do meio ambiente é a aplicação de autos de infração ambiental, que podem evoluir de multas simples até o embargo de áreas desmatadas. Este trabalho objetiva avaliar como os instrumentos de multas e embargos ambientais afetaram o incremento do desmatamento observado nos municípios da amazônia legal durante o período compreendido entre 2008 e 2019.

### 1.1 OBJETIVOS

Optei pela análise da região da Amazônia Legal por se tratar de um local extremamente sensível, pois engloba a região de floresta amazônica contida em território brasileiro. A Floresta Amazônica é importante não só para o funcionamento do ecossistema brasileiro, mas também para o funcionamento do ecossistema global (HANSEN et al., 2020). Além disso, as restrições ao uso do solo determinadas pela legislação ambiental são mais rigorosas nessa região, isso pois um dos principais objetivos da política de conservação nacional é a manutenção da floresta amazônica. Sendo assim, essa região foi selecionada como referência para avaliar o impacto das multas e embargos derivados de autos de infração ambiental sobre o avanço do desmatamento. Apesar de teoricamente a aplicação de embargos e multas ser uma medida bastante restritiva, (SCHMITT, 2015) e (RAJÃO et al., 2021) destacam que existem problemas na aplicação desses mecanismos. Segundo (SCHMITT, 2015) o trânsito do processo jurídico dos autos é lento, além disso muitos autos não são julgados, e além disso o trânsito do processo dos poucos autos julgados é lento. Ademais, os dois autores, destacam que o valor das multas ministradas pelo IBAMA

raramente é pago pelos agentes infratores. Levando em consideração esses fatores, objetivo avaliar a efetividade da aplicação de multas e de embargos de áreas desmatadas, tentando ao máximo considerar os possíveis problemas de eficiência indicados. As variáveis utilizadas assim como os modelos construídos foram inspiradas naqueles utilizadas por (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013). O modelo utilizado na análise objetiva explicar as causas indiretas do desmatamento a partir de fatores econômicos e institucionais, sendo esses últimos no meu caso específico os efeitos dos autos e embargos ambientais. A ideia do modelo é que o desmatamento deriva de uma escolha racional dos indivíduos, isto é, deriva de uma expectativa de lucro associada ao ato de desmatar em contraste com a expectativa de lucro derivada do ato de preservar. As variáveis institucionais utilizadas afetam esses lucros esperados, notadamente a expectativa de lucro derivada do ato de desmatar, uma vez que as multas decorrentes de autos de infração tornam o processo de produção em terras desmatadas mais custoso e o mecanismo de embargo impede que a produção se prolongue na região devastada. A partir dos modelos construídos, foram realizadas regressões de dados em painel, e após o teste de Hausman optou-se pelas estimativas do modelo de efeitos fixos. Os coeficientes apresentados pelas variáveis associados a aplicação de multas ambientais foram parecidos nos modelos estimados, e em ambos os casos não foram significantes em termos estatísticos. Já os coeficientes estimados para as variáveis associadas à área embargada foram negativos e significantes em ambos os modelos. Os resultados das estimativas indicam que o mecanismo de embargo foi mais eficiente no combate ao desmatamento do que o mecanismo de aplicação de multas ambientais nos municípios da Amazônia Legal ao longo do período compreendido entre 2008 e 2019.

## **2      REVISÃO DE LITERATURA**

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Essa seção do trabalho objetiva trazer a literatura que aborda os impactos das políticas ambientais sobre o desmatamento, assim como traçar o panorama geral da legislação ambiental brasileira, destacando o papel do mecanismo de multas e embargos associados aos autos de infração ambiental executados pelo IBAMA. A primeira seção descreve a legislação ambiental, destacando as principais políticas ambientais derivadas dele. A segunda seção aborda a literatura econometrífica sobre a avaliação dos impactos dessas políticas ambientais sobre o desmatamento.

### 2.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA

A legislação ambiental brasileira apresenta como um de seus elementos principais o Código Florestal, instituído pela Lei 4771/65 de 15 de setembro de 1965. Este Código define as regiões onde a utilização dos recursos é mais restrita em virtude de seus potenciais ecológicos. Assim, o Código cria as áreas de Preservação Permanente (APP), que incluem reservas indígenas e unidades de conservação ambiental, definidas como regiões de floresta onde é proibido qualquer atividade econômica. Além disso, estabelece a criação de áreas de Reserva Legal, regiões com florestas nativas localizadas dentro de propriedades rurais, que devem ser conservadas pelos proprietários. Ademais, é responsável por delimitar a região da Amazônia Legal, onde as propriedades rurais devem manter uma proporção de no mínimo 80% da floresta nativa contida dentro da propriedade sob a forma de reserva legal. Essa região engloba "os Estados do Acre, Pará, Amazonas, Roraima, Rondônia, Amapá e Mato Grosso e as regiões situadas ao norte do paralelo 13° S, dos Estados de Tocantins e Goiás, e ao oeste do meridiano de 44° W, do Estado do Maranhão."(BRASIL, 1965). Apesar de sua implementação em 1965, foi apenas em 1998 que a legislação brasileira avançou na direção da criação de mecanismos de controle e combate ao crime ambiental, por meio da Lei 9605/1998(BRASIL, 1998), que define de maneira mais precisa quais são as infrações administrativas e suas punições. Dentre as punições, destaca-se os Autos de infração, que estabelecem dois tipos de punições possíveis para o agente desmatador. A primeira punição corresponde a multas para o infrator proporcional a área desmatada por ele. Com o

---

não pagamento dessas multas, os autos estabelecem uma segunda punição mais severa dada pelo embargo de parte da região desmatada ilegalmente, a depender da gravidade de cada caso. Segundo o Artigo 72, inciso sétimo, da Lei 9605, os embargos são aplicados quando: "... O produto, a obra, a atividade ou o estabelecimento não estiverem obedecendo às prescrições legais ou regulamentares". Assim, para cada multa ambiental, existe uma área objeto de autuação, e para cada área embargada existe um auto associado. Vale destacar que nem todos os autos ambientais evoluem para a aplicação de embargos da terra ilegalmente desmatada. Para que o mecanismo do embargo se efetue é necessária que haja uma disposição legal que determine o embargo de uma determinada área, garantindo o direito de ampla defesa aos envolvidos. O conjunto de órgãos responsáveis por essas atividades é o Sistema Nacional do Meio Ambiente ou SISNAMA (DOS OBJETIVOS; AMBIENTE, s.d.), que engloba o IBAMA como um de seus principais órgãos. O IBAMA foi criado por meio da lei Nº 7.735, e de acordo com o Artigo Segundo da referida Lei trata-se de uma "entidade autárquica de regime especial, dotada de personalidade jurídica de direito público, autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Interior, com a finalidade de coordenar, executar e fazer executar a política nacional do meio ambiente e da preservação; conservação e uso racional; fiscalização e controle dos recursos naturais renováveis". Assim, o IBAMA é um orgão fundamental para o funcionamento da política ambiental brasileira na medida que é responsável por executar as determinações da legislação, e tem poderes para iniciar o processo legal de autuação de agentes infratores. Esse processo de autuação, que como dito anteriormente pode ter como penalidade desde uma multa simples até o embargo da área desmatada ilegalmente, é um dos principais mecanismos do IBAMA para efetuar o combate ao desmatamento, portanto sua avaliação é fundamental para indicar se essa forma de combate vem funcionando, e quais fatores atrapalham esse mecanismo, tão importante para que se efetive a política ambiental como um todo.

## 2.2 EFEITOS DAS POLÍTICAS AMBIENTAIS

A literatura sobre o desmatamento a partir de uma abordagem econometrífica vem ganhando destaque nos últimos anos em virtude da centralidade que o tema vem ganhando na sociedade de modo geral. Segundo (KAIMOWITZ; ANGELSEN, 1998),

---

90% dos modelos econômicos sobre desmatamento no Brasil foram produzidos a partir de 1990, indicando a disseminação desse tipo de modelo no período mais recente. Boa parte dos modelos que explicam o desmatamento, destacam entre os fatores mais relevantes para explicar o desmatamento o papel das pressões populacionais, da infraestrutura de estradas, dos preços das commodities agrícolas e do número de cabeça de gados, assim como das áreas de cultivo ou de pastagem desses mesmos commodities (ANDERSEN, 1996), (REIS; GUZMÁN, 1992), (PRATES, 2008) (FERRAZ, 2000). Na avaliação de políticas ambientais, alguns autores incluem variáveis associadas a políticas públicas nesse conjunto de variáveis com o objetivo de avaliar os efeitos das políticas públicas sobre o desmatamento indicados pelo modelo. Nesse contexto, (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA, 2015) avaliam o impacto da criação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), implementado em 2004, sobre a redução no desmatamento observada entre 2004 e 2008 na região da Amazônia Legal. Os autores consideram apenas fatores de mercado, capturados por um índice de preço para todas as culturas agrícolas, um índice de preços para carne, e outros índices de preço específicos das culturas de soja, milho, cana, arroz e cassava, consideradas as principais culturas de impacto no desmatamento da região. Como variáveis associadas ao PPCDAm, os autores constroem uma variável para a quantidade de terras indisponíveis em cada município em relação a área total de cada município, e outra para o incremento do desmatamento observado no ano de 2004. Os autores efetuam a simulação de um grupo contrafactual criado com o objetivo de avaliar como se daria a dinâmica do desmatamento caso o PPCDAm não tivesse sido implementado, e concluem que o plano foi eficiente na medida em que foi responsável por evitar cerca de 52.1% do desmatamento previsto para o período entre 2005 e 2009. (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013) avalia os efeitos de diversos fatores econômicos juntamente com os efeitos das políticas ambientais sobre o incremento do desmatamento nos municípios da Amazônia Legal. Os autores realizam regressões de dados em painel sobre o incremento do desmatamento observado nos municípios da região entre 2002 e 2009. Os fatores econômicos considerados, foram o preço da soja, o preço do gado, a densidade de crédito agrícola e o preço dos produtos provenientes do extrativismo, notadamente a madeira. Os preços dos produtos agropecuários e a densidade de crédito agropecuário são fontes de pressões

---

positivas sobre o desmatamento, ao passo que o preço dos produtos extrativistas, representados pela madeira, exercem uma pressão negativa. As variáveis associadas às políticas ambientais utilizadas foram a área de unidades de conservação e de reserva indígena, e o valor das multas de infração ambiental. Esta última variável foi inserida no modelo sob a forma de intensidade de multas, dada pelo logaritmo natural da razão entre o valor de multas aplicadas e a área desmatada para um dado município em um dado ano. Os autores concluem que a intensidade de multas foi mais significativa que as áreas de unidade de conservação, no entanto ponderam que a maior parte do efeito associado a redução do desmatamento se deu em virtude de fatores econômicos associados a queda dos preços da soja e da pecuária. O valor das multas ambientais também é analisado por (CECILIO; MARCELINO; PARRÉ, s.d.), que utiliza técnicas de econometria espacial para analisar o desmatamento da região da Amazônia Legal no ano de 2017, levando em consideração uma amostra de 761 municípios da Amazônia Legal. Além do valor das multas, o modelo proposto considera a área de florestas e de lavouras, a quantidade de bovinos, a densidade demográfica, e os níveis de educação e renda medidos pelo IDHM educação e pelo IDHM renda. O valor das multas é introduzido no modelo como o logaritmo natural do valor de multas ambientais dividido pela área do município, de maneira semelhante a variável de intensidade construída por (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013). No que se refere aos efeitos dessas multas ambientais, os autores concluem que estas contribuiram para o desmatamento, indicando uma ineficiência associada a aplicação dessas penalidades. Considerando as abordagens aplicadas, este trabalho busca contribuir para a literatura expandindo a interpretação do efeito dos autos ambientais para além do valor das multas ambientais aplicadas, e levando em consideração as áreas embargadas no modelo explicativo do incremento do desmatamento nos municípios da região da Amazônia Legal, ao longo do período compreendido entre 2008 e 2019.

### **3 MATERIAL E MÉTODO**

### 3 MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 DADOS SOBRE DESMATAMENTO

Os dados sobre o incremento anual do desmatamento foram obtidos do projeto PRODES (INPE/PRODES), a partir da plataforma Terrabrasilis. Esses dados são calculados com base na diferença entre a áreas florestais observadas em agosto do ano t -1 e julho do ano t, registradas com base nas imagens de satélites da região. A partir da diferença entre as imagens coletadas nos dois períodos, define-se a quantidade de área desmatada ao longo daquele ano. A série mais recente sobre o incremento do desmatamento disponível no site Terrabrasilis engloba o período entre 2008 e 2019, e está disponível tanto para Estados como para municípios. Como o processo de desmatamento e a dinâmica dos autos pode variar de município para município dentro de um mesmo estado, utilizei a série com a granularidade dos municípios. Foi selecionada uma amostra com municípios que apresentaram ao menos 10% de sua área cobertos por floresta antes do ínicio de nossa análise, ou seja no ano de 2007. Essa seleção se deu pois a dinâmica do desmatamento em regiões cujas florestas originais foram quase que inteiramente desmatadas é bastante diversa da dinâmica de regiões com maior proporção de cobertura florestal. Como o objetivo dos autos e embargos é o de coibir o avanço do desmatamento em regiões preservadas e não o de reverter o efeito do desmatamento em regiões já degradadas, optou-se por delimitar o conjunto de municípios onde o patamar de florestas é mais elevado. Assim, foram selecionados 418 municípios, de um total de 776, pertencentes a Amazônia legal. As estatísticas associadas a área desmatada no ano em quilometros quadrados, o logaritmo natural desta mesma área( $\ln\_IncrementoDesmat$ ), a porporção de floresta sobre a área registrada em 2007( $PropFlor\_2007$ ) e a proporção de não floresta sobre a área registrada em 2007 ( $PropN\_Flor\_2007$ ), para todos os 418 municípios selecionados são apresentadas na seguinte tabela:

FIGURA 1 - SUMÁRIO DE ESTATÍSTICAS DESMATAMENTO

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Incremento area desmatada km <sup>2</sup>	5,534	18.9	48.1	0.0	797.7
In_IncrementoDesmat	5,534	1.7	1.5	0.0	6.7
PropFlor_2007	5,534	0.5	0.3	0.1	1.0
PropN_Flor_2007	5,534	0.5	0.3	0.02	0.9

Fonte : Calculada pelo Autor a partir dos dados disponíveis na plataforma Terra Brasilis

### 3.2 DADOS SOBRE MULTAS E EMBARGOS AMBIENTAIS

O valor das multas de infração foi obtido diretamente do IBAMA, a partir da página de dados aberto. Os dados sobre essas multas vão desde o período de 1999 até o período atual, e além do valor dos autos, indicam a extensão da área objeto de autuação em hectares, a data em que um formulário foi lançado no sistema de fiscalização, e a data de última modificação de um determinado formulário. A diferença entre essas datas será utilizada como proxy para avaliar a lentidão do processo jurídico associado aos autos em cada estado, fator que segundo (SCHMITT, 2015) pode contribuir para a ineficiência das multas derivadas de autos de infração. A base original engloba todos os municípios do Brasil, sendo assim, foi efetuada uma filtragem dos municípios de interesse. Para tornar o dado compatível com o dado de desmatamento, agreguei o valor dos Autos efetuados sobre um mesmo município ao longo de Agosto de um ano a Julho do ano posterior. A partir dos dados, foi construída a métrica de multa por área objeto da autuação, com o objetivo de capturar o efeito da aplicação de multas ambientais, levando em consideração não apenas o valor dessas multas, mas também a área que está sendo o objeto de multa. A estatística descritiva do conjunto de dados sobre os autos de infração associado ao valor das multas ministradas em cada município por ano e a quantidade de áreas autuadas é sumarizada na seguinte tabela :

FIGURA 2 - SUMÁRIO DE ESTATÍSTICAS MULTAS AMBIENTAIS

Statistic	Mean	St. Dev.	Min	Max
Multas Ambientais	1,745,671.0	9,424,669.0	0.0	179,109,441.0
Área Autuada	5,439.2	180,372.3	0.0	10,257,418.0
Multas por Área autuada	23,743.4	195,450.2	0.0	7,895,571.0

Fonte: Calculado pelo autor com base nos dados obtidos do IBAMA

Nota-se da tabela acima que os valores ministrados em multas derivadas de autos de infração são valores consideráveis, havendo bastante variação entre eles. Embora essas multas apresentem uma magnitude elevada, em muitos casos os infratores não efetuam o pagamento das multas devidas (RAJÃO et al., 2021) (SCHMITT, 2015), o que pode impactar de maneira bastante negativa o impacto de tais multas no controle do desmatamento. A base em questão não indica de maneira clara quais multas já foram pagas e quais ainda estão sendo analisadas, sendo assim avaliar o efeito do não pagamento de multas é mais difícil nesse caso. Em contrapartida, outros fatores compreendidos pelos autores como responsáveis pelo enfraquecimento das multas ambientais, como a dificuldade em se iniciar o julgamento desses autos, assim como a lentidão no trânsito do processo dos autos podem ser aproximados através de construção de variáveis proxys a partir dos dados da base. Como dito anteriormente, a proxy para o tempo de duração do processo é obtida através da diferença entre a data de início do processo legal associado a um auto e a área da última modificação desse processo. Essa variável não indica de maneira determinística o tempo que levou até o processo ser finalizado, uma vez que a última atualização do processo não necessariamente implica na sua conclusão. Por outro lado, tal métrica permite avaliar a agilidade com que as alterações dos processos se efetuam, o que pode impactar no tempo médio de conclusão de cada processo. Assim, construi a média dessa métrica para cada município ao longo de todo período da minha amostra, e obtive dessa forma o tempo médio que cada município leva para alterar um determinado processo jurídico associado a uma autuação. Além dessa variável também construo outra para avaliar o número de autos que iniciaram um processo jurídico, outro fator observado pelos autores que contribui para o enfraquecimento da ação das multas ambientais. Essa variável foi construída calculando a média da proporção dos autos que não exibiram número de processo

em relação aos autos totais em um dado município em um dado ano. A estatística descritiva das variáveis construídas é a seguinte:

FIGURA 3 - SUMÁRIO DE ESTATÍSTICAS VARIÁVEIS CONSTRUÍDAS PARA PONDERAÇÃO

Statistic	Mean	St. Dev.	Min	Max
Tempo Médio Processo (anos)	0.6	1.1	0.0	9.0
Porcentagem Autos Processados	0.3	0.5	0.0	1.0

Fonte: Calculado pelo autor com base nos dados obtidos do IBAMA

Podemos perceber que essas estatísticas variam bastante entre os municípios, portanto essas variáveis serão utilizadas no modelo para capturar os efeitos associados ao tempo médio de duração do julgamento e a instauração desses mesmos julgamentos por município. Para além do valor das multas ministradas pelos autos de infração, este trabalho objetiva avaliar o impacto dos embargos associados à esses mesmos autos. Tais embargos foram obtidos a partir da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), por meio de seu visualizador. Os dados são provenientes do IBAMA, e os arquivos foram obtidos na forma de shapefile, formato este que armazena dados de forma e atributos de feições geográficas sob a forma vetorial. Segundo a definição oficial dos seus criadores: "Um shapefile é um formato de armazenamento de dados de vetor da Esri para armazenar a posição, a forma e os atributos de feições geográficas. É armazenado como um conjunto de arquivos relacionados e contém uma classe de feição". A partir desses arquivos, consegui obter a área total embargada assim como a área efetivamente embargada para cada município ao longo dos anos analisados. As estatísticas descritivas associadas a essas variáveis são indicadas abaixo:

FIGURA 4 - SUMÁRIO DE ESTATÍSTICAS EMBARGOS AMBIENTAIS

Statistic	Mean	St. Dev.	Min	Max
Area Embargo	471.8	22,115.0	0.0	1,298,254.0
Area Embargado efetiva	1.5	29.6	0.0	1,171.4
fracao Embargo efetivo	0.01	0.1	0.0	1.0

Fonte: Calculado pelo autor com base nos dados do IBAMA obtidos do INDE

Uma área que veio a ser embargada pode ser desembargada posteriormente caso o processo associado a essa autuação assim decida. Sendo assim considero em termos de efeito dos autos a área efetiva de embargo. A fração de áreas efetivamente embargadas indica que boa parte das áreas objeto de embargo foram desembargadas, portanto considerar a área total embargada pode levar a estimadores que não avaliam o efeito da implementação do embargo, e sim o efeito de sua deliberação. Assim como na análise dos autos, para tornar o dado compatível com o dado de desmatamento agreguei o valor das áreas embargadas totais e efetivas de um mesmo município ao longo de agosto de um ano a julho do ano posterior. Esses foram os principais dados associados aos autos de infração que foram utilizados neste trabalho. A partir desses dados foram construídas variáveis para avaliar a intensidade das multas e dos embargos, todas na escala logarítmica.

A primeira variável relacionada à intensidade de multas ambientais é inspirada na variável proposta por (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013) e por (CECILIO; MARCELINO; PARRÉ, s.d.) e é calculada como logaritmo natural da razão entre o valor das multas ambientais e a área objeto de autuação dessas multas. A ponderação do valor das multas pela área objeto de autuação objetiva capturar as diferenças que municípios com valores próximos de multas de autuação podem exibir em virtude de fatores específicos dos municípios. Assim, municípios com valores parecidos de multas, porém com áreas autuadas diferentes serão diferenciados por essa variável, e é esperado que quanto maior o valor dessa variável mais rigorosa é a aplicação de multas nesse município. Essa variável será denominada por mim de Intensidade de multas simples. A variável citada anteriormente não leva em consideração os autos que ainda não foram julgados e nem o tempo médio de duração desses autos durante o julgamento. Buscando capturar os efeitos associados ao tempo médio de conclusão dos processos jurídicos que já foram iniciados construo uma variável intermediária para as multas, ponderando o valor de multas por área objeto de autuação pelo tempo médio em anos entre o início do processo legal associado ao auto e sua última modificação. Utilizo a diferença entre essas datas, calculada em anos, como proxy para avaliar as diferenças no tempo médio de andamento do processo jurídico por município, e pondero o valor das multas por esse tempo para considerar que o efeito dessas pode ser enfraquecido por esse tempo médio. Buscando capturar os efeitos

associados ao tempo para se instaurar um processo jurídico, calculo outra variável intermediária associada as multas ambientais por área autuada a partir da multiplicação do valor de multas ambientais por área autada pelo proporção média de autos que iniciaram o seu processo jurídico. Tendo essas variáveis intermediárias em mãos, obtenho a média entre os valores dessas multas por cada município, e em seguida calculo o Logarítmico natural dessa média, construindo assim uma nova variável para a intensidade das multas ambientais denominada intensidade de multas ponderadas. Assim, objetivo ponderar o valor das multas pelos fatores que segundo (SCHMITT, 2015) contribuem para sua ineficiência, visando assim observar como essas ineficiências afetam os resultados obtidos. Além dessas variáveis relacionadas a intensidade das multas ambientais, construo uma última variável para considerar o impacto dos embargos ambientais no modelo. Considero o valor agregado das áreas efetivamente embargadas em um dado município em escala logarítmica. A situação de cada área objeto de embargo é indicada na base utilizada pela coluna sit\_embarg. Essa coluna assume o valor S quando a área objeto de embargo foi efetivamente embargada, e N quando a área em questão não está embargada, na maior parte dos casos em virtude de um desembargo. Essas são as variáveis associadas aos autos que serão utilizadas nos modelos mais adiante, e podem ser summarizadas na seguinte tabela :

FIGURA 5 - SUMÁRIO DE ESTATÍSTICAS VARIÁVEIS INSTITUCIONAIS DO MODELO

Statistic	Mean	St. Dev.	Min	Max
intensidade Multas	2.7	3.9	0.0	14.7
intensidade Multas Ponderada	3.3	4.6	0.0	17.2
ln_embargoEfetivo	0.03	0.4	0.0	7.1

Fonte: Calculado pelo autor

### 3.3 DADOS SOBRE AS OUTRAS VARIÁVEIS UTILIZADAS

Além das variáveis relacionados aos autos e embargos de infração, outras variáveis foram utilizadas para a construção do modelo a ser estimado, sendo tais

---

variáveis inspiradas nas variáveis propostas por (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013). Utilizo os preços dos produtos florestais, e da soja, o acesso a crédito agrícola, todos ao nível anual e municipal, seguindo a metodologia aplicada por (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013). O preço da soja é obtido pela razão entre as quantidades produzidas e o valor total da produção em um dado ano, obtidos pela Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), ao passo que o Preço dos produtos florestais foi obtido de maneira análoga a partir da utilização dos dados da Pesquisa da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS), ambas disponibilizadas pelo IBGE (IBGE 2021). Estes últimos preços foram calculados considerando todos os produtos da extração vegetal agrupados. O Valor concedido sob a forma de crédito agrícola para cada município foi obtido pela Estatística Bancária Mensal por município (ESTBAN), agrupada mês a mês de acordo com o período de agosto de um ano e julho do ano subsequente. Foram considerados os valores de créditos total disponibilizado por município, e a densidade do acesso ao crédito foi calculada pela razão entre o valor total de crédito obtido pela área do município, em escala logarítmica. Os dados associados ao rebanho de gado por município por ano foram obtidos através da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), disponibilizada pelo IBGE. Diferentemente dos autores que consideram o preço da carne considero o logaritmo natural do número de bovinos, pois avalia as diferenças intermunicipais na dinâmica da pecuária também são avaliadas por essa medida. Os autores utilizam um índice para o preço da carne que leva em consideração variações no preço da carne registradas em 2001, período muito distante da minha análise. Assim, a utilização do índice poderia comprometer a captura dos elementos específicos de cada municipalidade, associados a pecuária no período mais recente. Por fim, levo em consideração o PIB per capita e a População estimada de cada município em escala logarítmica, ambos obtidos pelo IBGE. A inclusão do PIB objetiva capturar os efeitos macroeconômicos que podem explicar o desmatamento, ao passo que a utilização da população busca avaliar as pressões populacionais sobre o desmatamento. Essas serão as variáveis econômicas utilizadas nesse trabalho para avaliar o incremento do desmatamento, e a utilização de tais variáveis se deu em consonância com a literatura sobre a análise das causas indiretas do desmatamento, que usualmente utiliza variáveis econômicas semelhantes. A estatística descritiva associada a essas variáveis é indicada abaixo :

FIGURA 6 - SUMÁRIO DE ESTATÍSTICAS VARIÁVEIS ECONÔMICAS DO MODELO

Statistic	Mean	St. Dev.	Min	Max
Densidade Crédito	6.6	5.7	0.0	18.8
In gado	10.7	2.0	2.3	14.6
Preco Soja	0.3	0.4	0.0	1.7
Preço Extrativismo	0.3	0.7	0.0	15.1
In População	9.8	1.0	7.2	14.6
In Pib per Capita	9.3	0.7	7.5	12.6

Fonte: Calculado pelo autor

### 3.4 HIPÓTESE DO MODELO

Inspirado no modelo proposto (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013), em meu modelo avalio o processo de desmatamento levando em consideração fatores econômicos e institucionais relacionados ao lucro esperado da atividade agropecuária em comparação ao lucro esperado das atividades de extrativismo. Assim, em períodos em que o lucro esperado da atividade agropecuária é superior ao lucro esperado da atividade extrativa, os agentes teriam um incentivo ao desmatamento das florestas nativas. Os fatores institucionais reduzem os lucros esperados do desmatamento na medida em que aumentam os custos associados a produção em terra ilegalmente desmatada, atuando como um desincentivo ao desmatamento. Quanto maior a diferença entre esses lucros esperados maior seria o tamanho do incentivo, sendo essas diferenças motivadas por fatores de mercado e pelos efeitos das políticas ambientais. Essa interpretação avalia que o desmatamento deriva de uma escolha racional dos indivíduos, isto é, deriva de uma avaliação de lucro esperado do agente que desmata. A variável explicada no meu modelo é o incremento anual de desmatamento na escala logarítmica. As variáveis explicativas podem ser subdivididas em dois conjuntos, um primeiro de variáveis econômicas, e um segundo de variáveis institucionais associadas ao mecanismo dos autos e embargos de infração ministrados pelo IBAMA. Com relação as variáveis econômicas, assim como (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013), avalio que exercem pressões positivas as

atividades agropecuárias e a densidade de crédito agropecuário, e negativas as atividades extractivas. Para incluir esses fatores no modelo considero o preço da soja, dos produtos extractivos, a densidade de crédito agropecuário e o número de cabeças de gado em intensidade logarítmica. Essas variáveis devem ser calculadas ao nível municipal para que assim se capture as diferenças intermunicipais e se avalie como esses fatores afetaram o incremento do desmatamento observado no município. Com relação as variáveis associadas aos autos de infração considero duas variáveis para medir a intensidade das multas ambientais, uma variável para medir a intensidade do embargo de áreas, conforme indicado na seção anterior. Em um primeiro momento, considero no modelo apenas a intensidade de multas considerando áreas autuadas. Em seguida, substituo essa variável pela variável de intensidade de multas ponderada pelo tempo do processo e pela instauração de processos, com o objetivo de capturar as ineficiências apontadas por (SCHMITT, 2015) e avaliar como elas impactaram o efeito das multas ambientais sobre o incremento do desmatamento. A tabela abaixo apresenta as variáveis que serão utilizadas nos modelos a seguir, recapitulando a forma como elas foram construídas e indicando o sinal esperado para os coeficientes associados às mesmas:

TABELA 1 - SUMÁRIO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS NO MODELO

Variável	Descrição	Unidade	Sinal Esperado	Fonte
<b>Desmatamento</b>	Incremento da área desmatada no Município	Escala logarítmica		PRODES/INPE
<b>Preço Soja</b>	Preço da soja por município	R\$/Kg	+	PAM/IBGE
<b>Densidade Crédito</b>	Valor disponibilizado em crédito agrícola sobre área do Município	Escala logarítmica	+	ESTBAN
<b>Cabeças de Gado</b>	Número do rebanho bovino por município	Escala logarítmica	+	PPM/IBGE
<b>Preço Extrativismo</b>	Somatório do valor dos produtos extractivos sobre a quantidade produzida	R\$/Kg	-	PEVS/IBGE

<b>Embargos Ambientais</b>	Embargos efetivamente implementados por município por ano em hectares	Escala logarítmica	-	INPE/IBAMA
<b>Intensidade simples Multas Ambientais</b>	Valor das multas aplicadas sobre área autuada por município por ano	Escala logarítmica	-	MMA/IBAMA
<b>Intensidade simples Multas Ambientais</b>	Valor das multas aplicadas sobre área autuada por município por ano ponderada por tempo do processo e média de autos processados	Escala logarítmica	-	MMA/IBAMA
<b>População</b>	População Estimada do Município	Escala Logaritmica	+	IBGE
<b>Pib Per Capita</b>	Pib per Capita do Município	Escala Logaritmica	+	IBGE

### 3.5 ESTRATÉGIA EMPÍRICA

Conforme indicado por (WOOLDRIDGE, 2010) o principal problema da estimação por OLS agrupados (POLS) para dados em painel é a presença de variáveis omitidas não observáveis. Se essas variáveis forem correlacionadas com as variáveis explicativas os coeficientes estimados por OLS não seriam consistentes. Como essas variáveis estariam incluídas no termo de erro, haveria uma correlação entre este e algumas das variáveis explicativas, violando a hipótese de exogeneidade necessária para a estimação via OLS de parâmetros não viesados e consistentes. Uma alternativa para resolver esse problema é a inclusão de uma constante para capturar esse efeito não observado no modelo tradicional, retirando-o assim do termo de erro, que passa a englobar apenas um elemento aleatório não correlacionado com as variáveis explicativas. O modelo resultante é o chamado Unobserved Effects Model (UEM) ou modelo dos efeitos não observados, que pode ser descrito pela seguinte equação :

$$y_{it} = x_{it}\beta + c_i + u_{it} \quad (2.1)$$

Sendo  $i = 1, \dots, n$  o índice associado ao indivíduo,  $t = 1, \dots, T$  o índice associado ao tempo,  $x_{it}$  o vetor linha das variáveis explicativas,  $u_{it}$  os erros idiossincráticos, e  $c_i$  o termo para o efeito não observado. Existe uma discussão acerca da interpretação adequada para  $c_i$  que da origem a dois tipos de modelos, os modelos de efeitos fixos e de efeitos variáveis. Segundo a perspectiva do modelo de efeitos fixos,  $c_i$  pode ser interpretado como um parâmetro a ser estimado, ao passo que segundo a ótica dos modelos de efeito aleatório,  $c_i$  pode ser interpretado como uma variável aleatória. Para estimar o modelo por efeitos fixos é realizada a seguinte metodologia. Primeiro calculamos as médias das variáveis e construimos um modelo tal como (2.1) considerando essas médias no lugar das variáveis. Em seguida efetuamos a diferença entre as duas equações e estimamos os parâmetros da equação das diferenças. Como o termo  $c_i$  é interpretado como um parâmetro fixo do modelo, ao calcular as diferenças esse termo é cancelado, e podemos assim estimar via OLS agrupados os coeficientes associados a essas diferenças caso haja exogeneidade extraída entre a diferença das variáveis explicativas e a diferença dos termos de erro. A metodologia para o cálculo desse efeitos é indicada nas seguintes equações :

$$\bar{y}_i = \bar{x}_i\beta + c_i + \bar{u}_i \quad (2.2)$$

Efetuando a diferença entre (2.1) e (2.2) temos :

$$y_{it} - \bar{y}_i = \beta(x_{it} - \bar{x}_i) + u_{it} - \bar{u}_i \quad (2.3)$$

Podemos expressar 2.3 da seguinte forma :

$$\ddot{y}_{it} = \ddot{x}_{it}\beta + \ddot{u}_{it} \quad (2.4)$$

Havendo exogeneidade extraída entre a diferença das variáveis explicativas e a diferença do termo de erro, podemos estimar  $\beta_{FE}$  por meio de OLS agrupados:

$$\hat{\beta}_{FE} = \left( \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \ddot{x}_{it}' \ddot{x}_{it} \right)^{-1} \left( \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \ddot{x}_{it}' \ddot{y}_{it} \right) \quad (2.5)$$

Para estimarmos o modelo de efeitos aleatórios é realizado a seguinte metodologia. Em primeiro lugar consideramos  $c_i$  como uma variável aleatória que faz parte do termo de erro  $v_i$ . Em seguida calculamos a matriz de variância de  $v_i$  dada por  $\Omega = E[v_i v_i']$ . Sendo válida a hipótese do Posto completo e supondo que o termo de erro idiosincrático tem uma variância constante no tempo, e não é serialmente correlacionado, podemos obter o coeficiente  $\beta_{RE}$  associado ao modelo de efeitos aleatórios, a partir da regressão GLS, ou Mínimos quadrados generalizados. A metodologia indicada acima pode ser representada da seguinte forma, considerando-se todos os  $T$  períodos :

$$y_i = X_i \beta + v_i \rightarrow v_i = u_i + c_i j_T \quad (2.7)$$

onde  $j_T$  é um vetor unitário  $T \times 1$ . Conforme dito, a matriz de variância de  $v_i$  é dada por  $\Omega$ , uma matriz  $T \times T$  que assumimos ser positivo definida. Para estimar o modelo acima consistentemente através do GLS, é necessária a garantia das 3 hipóteses citadas, sendo elas :

$$E[X_i' \Omega^{-1} X_i] = K \quad (2.8)$$

$$E[u_{it}^2] = \sigma_u^2 \quad (2.9)$$

$$E[u_{it} u_{is}] = 0 \quad (2.10)$$

A primeira equação é a condição do posto completo, a segunda equação é a condição para que a variância do erro idiosincrático seja constante e o terceiro termo indica que esse mesmo termo de erro não é serialmente correlacionado. A partir das duas últimas equações derivamos a variância e a covariância de  $v_i$  da seguinte forma:

$$E[v_i^2] = E[(c_i + u_{it})^2] = E[c_i^2] + 2E[c_i u_{it}] + E[u_{it}^2]E[v_i^2] = \sigma_c^2 + \sigma_u^2 \quad (2.11)$$

$$E[v_{it}v_{is}] = E[(c_i + u_{it})(c_i + u_{is})] = E[c_i^2] = \sigma_c^2 \quad (2.12)$$

A partir da variância e da covariância de  $v_i$ , podemos escrever a matriz de variância  $\Omega$  da seguinte forma:

$$\Omega = \sigma_u^2 I_t + \sigma_c^2 j_T j_T' \quad (2.13)$$

em que  $I_t$  é a matriz identidade e  $j_T$  um vetor unitário  $T \times 1$ . A partir dessas hipóteses podemos derivar estimadores consistentes aplicando a seguinte metodologia. Em primeiro lugar definimos  $\sigma_v = \sigma_c^2 + \sigma_u^2$  e estimamos esses valores. Assim podemos estimar a matriz de variância de  $v_i$  e em seguida podemos estimar  $\beta_{RE}$  da seguinte forma :

$$\hat{\Omega} = \hat{\sigma}_u^2 I_t + \hat{\sigma}_c^2 j_T j_T' \quad (2.14)$$

$$\hat{\beta}_{RE} = (\sum_{i=1}^N X'_i \hat{\Omega}^{-1} X_i)^{-1} (\sum_{i=1}^N X'_i \hat{\Omega}^{-1} y_i) \quad (2.15)$$

A escolha entre qual modelo é mais adequado usualmente é avaliada pelo teste de Hausman. Na prática a diferença entre os métodos pode ser expressa pela diferença entre as hipóteses necessárias para que as estimativas sejam consistentes, e o teste de Hausman efetua justamente essa análise. Para o modelo de efeitos fixos a única hipótese necessária para consistência é a hipótese de exogeneidade estrita, ao passo que para o modelo de efeitos aleatórios é necessária também a validade da hipótese de ortogonalidade entre  $c_i$  e  $x_i$ . Essas hipóteses podem ser expressas matematicamente da seguinte forma :

$$E(u_{it}|x_i, c_i) = 0, t = 1, \dots, T \quad (2.16)$$

$$E(c_i|x_i) = E(c_i) = 0 \quad (2.17)$$

onde  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iT})$ . O teste de Hausman objetiva testar a hipótese da ortogonalidade, sendo assim sob a Hipótese nula é valido que  $E(c_i|x_i) = E(c_i) = 0$ . Nesse caso, os estimadores de Efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios são consistentes, no entanto esses últimos estimadores apresentam uma variância menor, por isso são preferíveis. Em contrapartida sob a hipótese alternativa não é válida a ortogonalidade, o que torna os estimadores de efeitos aleatórios inconsistentes, enquanto os estimadores de efeitos fixos continuam consistentes. Além desses modelos, uma alternativa mais simples para corrigir o problema das variáveis não observáveis seria a utilização do modelo de primeiras diferenças. A metodologia para essa estimação é analoga a metodologia utilizada no modelo de efeitos fixos, no entanto enquanto este último modelo calcula a diferença da média, o primeiro calcula a diferença entre o período  $t$  e o período  $t-1$ . Em virtude dessa diferença, a condição de exogeneidade necessária para a consistencia do estimador de primeiras diferenças é fraca, visto que os termos de erro só precisam ser não correlacionados entre  $t$  e  $t-1$ , ao passo que no modelo de primeiras diferenças, é exigido que não haja correlação entre o termo de erro no período  $t$  e todos os demais períodos. Considerando o problema de variáveis omitidas associado a utilização de dados em painel, em meu trabalho realizei a regressão de um modelo de OLS agrupado como benchmark e dos modelos de Efeitos fixos, Efeitos aleatórios e primeiras diferenças para eliminar os efeitos não observados e obter coeficientes consistentes para as variáveis analisadas. O teste de Hausman foi efetuado para avaliar qual dos modelos é mais adequado para efetuar a estimação dos parâmetros.

## **4      RESULTADOS**

## 4 RESULTADOS

Conforme indicado na seção anterior, foram construídas duas variáveis diferentes para capturar o efeito das multas ambientais, e uma para capturar os efeitos dos embargos ambientais ministrados pelo IBAMA. Nessa seção apresento os resultados do modelo quando incluidas essas variáveis, e como esses resultados são impactados pela substituição das variáveis relacionadas a intensidade de multas ambientais. A primeira seção apresenta os resultados associados a utilização da intensidade de multas simples, calculada como a razão entre o valor de multas aplicadas e a área objeto de multas em uma dada região. Na segunda seção apresento os resultados do modelo quando substituo essa variável pela variável de intensidade de multas ponderada por processo e por tempo. De acordo com (AMARAL et al., 2021) e (ANDERSEN; REIS, 2015), a conversão de áreas desmatadas em terras próprias para a agricultura é um processo demorado, sendo assim a utilização do preço contemporâneo das variáveis associadas a soja pode ser problemática por não capturar o real efeito de um aumento de preços sobre o desmatamento. Um aumento de preços da soja ao nível municipal observado no período t pode levar ao aumento do desmatamento nesse mesmo município apenas nos períodos subsequentes, sendo este efeito ignorado por um modelo que considera os valores contemporâneos do preço da soja. Um problema semelhante acontece com as variáveis de multa e embargo associadas aos autos de infração ambiental. Tais multas e embargos demoram até serem efetivamente implementadas, conforme indicado por (SCHMITT, 2015), sendo assim a utilização dessas variáveis contemporâneas ao desmatamento pode apresentar o mesmo problema destacado anteriormente. Além disso, no caso dessas últimas variáveis, existe um problema de simultaneidade associado a essas variáveis e a variável de incremento do desmatamento, uma vez que este incremento é explicado por aquelas variáveis e estas variáveis também são explicadas pelo mesmo incremento, na medida em que regiões com maiores índices de desmatamento são mais suscetíveis a aplicação de multas e embargos ambientais. Visando lidar com essas complicações, realizei a estimativa sobre os dois modelos mencionados utilizando as primeiras defasagens do preço da soja e das variáveis associadas aos autos.

#### 4.1 RESULTADOS INTENSIDADE DE MULTAS SIMPLES

Nessa seção são apresentados os resultados dos modelos considerando a intensidade de multas simples como a variável para capturar o efeito das multas de infração. Considerando a inclusão dessas variáveis defasadas mencionadas anteriormente, obtive os seguintes resultados:

FIGURA 7 - RESULTADOS MODELO INTENSIDADE MULTAS SIMPLES

	(POLS)	Dependent variable: ln Incremento Desmatamento (FD)	(FE)	(RE)
lag pSoja	0.207*** (0.046)	0.260*** (0.046)	0.340*** (0.038)	0.313*** (0.039)
densCred	-0.039*** (0.004)	-0.024** (0.010)	-0.013** (0.006)	-0.020*** (0.005)
ln Gado	0.303*** (0.010)	0.067 (0.057)	0.084** (0.039)	0.318*** (0.017)
Preço_Exrat	-0.095*** (0.025)	0.006 (0.022)	-0.007 (0.018)	-0.026 (0.019)
lag ln embargoEfetivo	0.161*** (0.035)	-0.055*** (0.020)	-0.064*** (0.023)	-0.025 (0.024)
lag intMulta Simples	0.111*** (0.005)	-0.004 (0.003)	0.001 (0.003)	0.015*** (0.003)
ln População	0.667*** (0.031)	0.032 (0.259)	-0.347*** (0.126)	0.571*** (0.045)
ln Pib Per Capita	-0.240*** (0.028)	0.006 (0.085)	-0.198*** (0.031)	-0.242*** (0.029)
Constant	-3.687*** (0.373)	-0.033** (0.016)		-2.764*** (0.502)
Observations	4,415	4,003	4,415	4,415
R2	0.390	0.013	0.046	0.119
Adjusted R2	0.389	0.011	-0.054	0.118
F Statistic	351.690*** (df = 8; 4406)	6.554*** (df = 8; 3994)	24.038*** (df = 8; 3995)	586.447***

FIGURA 8 - TESTE HAUSMAN MODELO INTENSIDADE MULTAS SIMPLES

#### Hausman Test

```
data: ModeloPrecos_Lag
chisq = 51.415, df = 8, p-value = 2.182e-08
alternative hypothesis: one model is inconsistent
```

A partir do teste de Hausman podemos rejeitar a hipótese nula, consequentemente o estimador de Efeitos Fixos é consistente sendo o melhor estimador nesse caso. Os

resultados obtidos pelo modelo de efeitos fixos indicam que o efeito dos embargos sobre o desmatamento contribui para o combate ao desmatamento, a um nível de significância estatística de 99%. O resultado indica que para um aumento de 1% na área efetivamente embargada no ano t-1, seria esperado uma redução de cerca de 6,4% da área de incremento de desmatamento no ano t.

#### 4.2 RESULTADOS INTENSIDADE DE MULTAS PONDERADAS

Para levar em consideração os efeitos relacionados ao tempo do processo e ao número de autos processados sobre as multas ambientais, a variável intensidade de multas foi substituída pela variável intensidade de multas ponderadas. Considerando a inclusão da variável intensidade de multas ponderada defasada em 1 período, os resultados obtidos foram bastante semelhantes, e são apresentados a seguir:

FIGURA 9 - RESULTADOS MODELO INTENSIDADE MULTAS PONDERADA

	(POLS)	Dependent variable: In Incremento Desmatamento (FD)	(FE)	(RE)
lag pSoja	0.200*** (0.045)	0.259*** (0.046)	0.341*** (0.038)	0.312*** (0.039)
densCred	-0.037*** (0.004)	-0.024** (0.010)	-0.013** (0.006)	-0.021*** (0.005)
ln gado	0.290*** (0.010)	0.067 (0.057)	0.082** (0.039)	0.317*** (0.017)
Preço_Exrat	-0.094*** (0.025)	0.006 (0.022)	-0.008 (0.018)	-0.028 (0.019)
lag ln embargoEfetivo	0.127*** (0.034)	-0.054*** (0.020)	-0.066*** (0.023)	-0.026 (0.024)
lag intMulta Ponderada	0.110*** (0.004)	-0.004 (0.003)	0.003 (0.003)	0.020*** (0.003)
ln População	0.657*** (0.031)	0.033 (0.259)	-0.346*** (0.126)	0.577*** (0.044)
ln Pib Per Capita	-0.249*** (0.027)	0.006 (0.085)	-0.199*** (0.031)	-0.243*** (0.029)
Constant	-3.326*** (0.366)	-0.033** (0.016)		-2.787*** (0.493)
Observations	4,415	4,003	4,415	4,415
R2	0.416	0.013	0.046	0.130
Adjusted R2	0.415	0.011	-0.054	0.128
F Statistic	392.824*** (df = 8; 4406)	6.595*** (df = 8; 3994)	24.218*** (df = 8; 3995)	644.439***

---

FIGURA 10 - TESTE HAUSMAN MODELO INTENSIDADE MULTAS PONDERADA

Hausman Test

```
data: ModeloPrecos  
chisq = 235.47, df = 8, p-value < 2.2e-16  
alternative hypothesis: one model is inconsistent
```

Novamente o teste de Hausman sugere a utilização do modelo de efeitos fixos. Os resultados obtidos pelo modelo de efeitos fixos indicam um efeito negativo dos embargos sobre o desmatamento, muito próximo aquele observado no modelo estimado na seção anterior. A variável associada aos embargos efetivos é a única variável significante ao nível de 99%, e o valor do coeficiente associado aos embargos efetivos aumenta em módulo em relação ao coeficiente anteriormente estimado, indicando que o efeito negativo do embargo sobre o incremento do desmatamento é ligeiramente superior àquele que havia sido estimado. A não significância da intensidade de multas ponderada pode ser justificada pelo não pagamento dessas multas ambientais, fator que não foi considerado no modelo em virtude da ausência de dados para sua inclusão. A interpretação do coeficiente associado a variável dos autos ambientais é análoga ao primeiro caso: Dado um aumento de 1% na área efetivamente embargada no período t-1, espera-se uma redução de cerca de 6,6% da área de incremento de desmatamento no período t.

## **5      DISCUSSÃO**

## 5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na seção anterior podem ser summarizados na seguinte figura:

FIGURA 11 – SUMÁRIO DOS RESULTADOS

	<i>Dependent variable:</i>	
	ln Incremento Desmatamento	
	(FE1)	(FE2)
lag Preço Soja	0.341*** (0.038)	0.342*** (0.038)
densCred	-0.013** (0.006)	-0.013** (0.006)
ln_gado	0.084** (0.039)	0.083** (0.039)
Preço_Extrat	-0.007 (0.018)	-0.008 (0.018)
lag_ln_embargoEfetivo	-0.064*** (0.023)	-0.066*** (0.023)
lag intMulta Simples	0.001 (0.003)	
lag intMultas Ponderada		0.003 (0.003)
ln População	-0.348*** (0.126)	-0.347*** (0.126)
ln_Pib Per Capita	-0.198*** (0.031)	-0.198*** (0.031)
Observations	4,416	4,416
R <sup>2</sup>	0.046	0.046
Adjusted R <sup>2</sup>	-0.054	-0.054
F Statistic (df = 8; 3996)	24.052***	24.222***

Note:

\*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01

---

A figura acima indica apenas os coeficientes obtidos pelo modelo de efeito fixo, uma vez que o teste de Hausman indicou que esse modelo seria preferível ao modelo de efeitos aleatórios. A primeira coluna descreve os resultados obtidos no primeiro modelo, que considera a intensidade das multas em sua forma simples, e a segunda coluna descreve os resultados obtidos no segundo modelo, que considera a intensidade de multas ponderada pelas variáveis proxy do tempo médio dos processos e do número de autos processados. Os resultados obtidos em ambos os modelos sugerem que o mecanismo dos embargos de áreas desmatadas ilegalmente é eficiente para o combate do desmatamento, podendo contribuir com a redução do incremento do desmatamento no período subsequente a sua aplicação em cerca de 6,4% à 6,7%. Em contrapartida, os efeitos das multas ambientais não foram estatisticamente significativos, indicando que tais mecanismos não foram tão eficientes para o combate do desmatamento. Vale destacar novamente que a base utilizada para calcular o valor de multas ambientais aplicadas no período entre agosto de um ano e julho do ano posterior não indica quais multas foram efetivamente pagas, sendo assim a variável construída leva em consideração todas as multas aplicadas em um determinado município. Como dito anteriormente (SCHMITT, 2015) e (RAJÃO et al., 2021) indicaram que o valor das multas efetivamente pagas são bem menores que os valores das multas aplicadas. Sendo assim o efeito da aplicação das multas pode ser bem diferente do efeito do pagamento das multas, levando-se em consideração que uma parcela diminuta dessas multas aplicadas é efetivamente paga de modo a afetar o lucro esperado do agente que desmata. A inclusão das ponderações associadas ao tempo médio do processo e a proporção de autos efetivamente julgados não interferiram de maneira significativa a variável relacionada a essas multas, indicando que talvez o principal elemento que deva ser considerado para capturar o verdadeiro efeito dessas multas é o valor das multas efetivamente pagas, ou a proporção do valor das multas pagas pelo valor total de multas por município. Para além da questão do efeito das multas efetivamente pagas, o efeito dos embargos de infração se mostrou mais eficiente que o efeito da aplicação de multas ambientais em ambos os modelos estimados, o que indica que em termos de combate ao desmatamento é preferível a implementação de embargos ambientais do

que a aplicação de multa aos infratores. Além disso o efeito dos embargos ficou mais negativo após a consideração da intensidade de multas ponderada pelo tempo do processo e pelo número de autos processados, indicando que a não consideração dessas variáveis pode impactar o efeito dos embargos, subestimando-os. Vale destacar que os embargos são uma medida jurídica que só podem ser efetuadas se o auto em questão já teve seu processo iniciado. Além disso, o embargo depende do não pagamento de uma multa após a decisão judicial de que a multa é válida e que deve ser paga pelo agente. Sendo assim é esperado que a quantidade de processos derivados de autos assim como o tempo médio de cada um desses processos impacte a quantidade de embargos, visto que esses só podem vigorar após a conclusão do processo. Embora a diferença entre a magnitude dos coeficientes seja bastante diminuta, a inclusão de variáveis que medem com maior precisão o tempo de duração de cada processo pode contribuir para uma diferença maior entre esses coeficientes.

## **6 CONCLUSÕES**

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho objetivou avaliar a eficiência do mecanismo de autos de infração considerando separadamente o efeito das multas ambientais e dos embargos ambientais, derivados desses mesmos autos. De acordo com os resultados obtidos o mecanismo de embargos de terras desmatada se mostrou mais eficiente que o mecanismo de aplicação de multas ambientais, o que indica que uma política ambiental que facilite a efetivação desses embargos poderia ser mais eficiente que a política atual, que prioriza a aplicação de multas, que segundo os resultados desse trabalho não contribuem significativamente para a redução do desmatamento. Além disso, a não significância estatística das multas pode estar relacionada com o não pagamento de muitas dessas multas, tal como indicado por (RAJÃO et al., 2021) e (SCHMITT, 2015). Sendo assim, o resultado obtido indica a necessidade do endurecimento da legislação a fim de garantir que as multas aplicadas sejam efetivamente pagas. Caso isso não ocorra, o efeito da aplicação dessas multas terá pouca relevância para o combate ao desmatamento, conforme indicado pelos coeficientes não significativos obtidos em minha análise. Por fim destaco que esse trabalho avalia apenas o efeito da aplicação de multas ambientais, e não o seu pagamento. Não podemos determinar se a diferença observada entre o efeito dos embargos efetivamente implementados e o efeito da aplicação de multas ambientais se dá pois o pagamento da multa impacta menos o agente desmatador do que a aplicação do embargo, ou se essa diferença deriva do não pagamento da multa, da parte do agente desmatador. Para avaliar de maneira mais precisa o efeito das multas efetivamente pagas e avaliar se o impacto dessas multas é superior ou inferior ao impacto dos autos sobre o incremento do desmatamento seria necessário incluir no modelo o valor dessas multas. Assim, seria possível comparar o efeito das multas efetivamente pagas com o efeito dos embargos efetivamente implementados, de modo a distinguir qual dos dois mecanismos associado aos autos de infração é mais eficiente no combate ao desmatamento.

Portanto, este trabalho conclui que o mecanismo de embargos de terras ilegalmente desmatadas contribuiu de maneira mais significativa do que a aplicação de multas ambientais para contenção do incremento do desmatamento na região da Amazônia Legal durante o período observado entre 2008 e 2019. Esse mecanismo

deve ser incentivado e agilizado para que se alcance o resultado esperado de redução do desmatamento na região da Amazônia Legal. Além disso, a aplicação de multas ambientais não se mostrou estatisticamente significativa para explicar o desmatamento. Uma causa provável para esse resultado é o não pagamento de boa parte das multas aplicadas, tal como indicado por (SCHMITT, 2015). Esses resultados indicam que a legislação ambiental deve criar mecanismos novos, ou aprimorar os mecanismos já existentes, para que a área de embargos efetivos aumente nas regiões com fortes pressões para o desmatamento. Além disso, esses mecanismos devem levar em consideração meios para garantir que as multas devidas sejam efetivamente pagas, de modo que o instrumento da aplicação de multas ambientais passe a atuar de maneira significativa no combate ao desmatamento.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, Daniel Furlan et al. Expansion of soybean farming into deforested areas in the amazon biome: the role and impact of the soy moratorium. *Sustainability Science*, Springer, v. 16, n. 4, p. 1295–1312, 2021.
- ANDERSEN, Lykke E. The causes of deforestation in the Brazilian Amazon. *The Journal of Environment & Development*, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 5, n. 3, p. 309–328, 1996
- ANDERSEN, Lykke E; REIS, Eustáquio José. Deforestation, development, and government policy in the Brazilian Amazon: an econometric analysis. [S.I.], 2015.
- ASSUNÇÃO, Juliano; GANDOUR, Clarissa; ROCHA, Rudi. Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: prices or policies? *Environment and Development Economics*, Cambridge University Press, v. 20, n. 6, p. 697–722, 2015.
- BANCEN. Banco Central do Brasil. Estatística Bancária Mensal por Município. Disponível em: <https://www4.bcb.gov.br/fis/cosif/estban.asp?frame=1> Acesso 26/11/2022.
- BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, São Paulo, SP, 15 set. 1965. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l4771.htm#:~:text=%C3%89%20proibido%20o%20uso%20de,e%20estabelecendo%20normas%20de%20precau%C3%A7%C3%A3o.](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm#:~:text=%C3%89%20proibido%20o%20uso%20de,e%20estabelecendo%20normas%20de%20precau%C3%A7%C3%A3o.) . Acesso em: 5 /11/ 2022.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm) Acesso em: 5 /11/ 2022.
- BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 12 fev. 1998. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9605.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm) Acesso em: 5 /11/ 2022.
- CECILIO, Ivan Augusto; MARCELINO, Silva1 Gésia Coutinho; PARRÉ, José Luiz. DETERMINANTES DO DESMATAMENTO NOS MUNICÍPIOS DA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA: UMA ANÁLISE ECONOMÉTRICA ESPACIAL.
- FERRAZ, CM. Measuring the causes of deforestation, agriculture, land conversion and cattle ranching growth: evidence from the Amazon. Brasília: IPEA, 2000.
- HANSEN, Matthew C et al. The fate of tropical forest fragments. *Science Advances*, American Association for the Advancement of Science, v. 6, n. 11, eaax8574, 2020.
- HARGRAVE, Jorge; KIS-KATOS, Krisztina. Economic causes of deforestation in the Brazilian Amazon: a panel data analysis for the 2000s. *Environmental and Resource Economics*, Springer, v. 54, n. 4, p. 471–494, 2013.

---

IBAMA MULTAS AMBIENTAIS - Disponível em : Fiscalização - auto de infração - Autos de infração - IBAMA Acesso 26/11/2022

IBGE (2021) Sistema IBGE de Recuperacao automatica-SIDRA.  
<http://www.sidra.ibge.gov.br/> Acesso 26/11/2022

INSTITUTO NACIONAL DE DADOS ESPACIAIS - Disponível em : Build: 2.0.0.25921 - Visualizador da INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais Acesso 26/11/2022

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA AMAZÔNIA E DEMAIS BIOMAS. Avisos – Bioma Amazônia – Disponível em: [http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal\\_amazon/increments](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/increments) Acesso 26/11/2022

KAIMOWITZ, David; ANGELSEN, Arild. Economic models of tropical deforestation: a review. Cifor, 1998.

PRATES, Rodolfo Coelho. O desmatamento desigual na Amazônia brasileira: sua evolução, suas causas e consequências sobre o bem-estar. 2008. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

RAJÃO, Raoni et al. Dicotomia da impunidade do desmatamento ilegal. Policy Brief, 2021.

REIS, EJ; GUZMÁN, RM. An econometric model of Amazon deforestation Texto para discussão No. 265. IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Rio de Janeiro, 1992.

SCHMITT, Jair. Crime sem castigo: a efetividade da fiscalização ambiental para o controle do desmatamento ilegal na Amazônia, 2015.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. Econometric analysis of cross section and panel data. [S.I.]: MIT press, 2010.

