

# DETERMINANTES DO DESMATAMENTO NOS MUNICÍPIOS DA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA: UMA ANÁLISE ECONOMETRICA ESPACIAL

Ivan Augusto Cecilio e Silva<sup>1</sup>  
Gésia Coutinho Marcelino<sup>2</sup>  
José Luiz Parré<sup>3</sup>

## Área 4: Economia Agrária e Ambiental

**Resumo:** Nos últimos anos, tem sido crescente o desmatamento na região amazônica, tendo ultrapassado 9.000 km<sup>2</sup> por ano. Usando dados *cross-section* para 761 municípios no ano de 2017, este artigo tem por objetivo mensurar, através da econometria espacial, o impacto de fatores condicionantes ao desmatamento na Amazônia Legal, e identificar a presença de *spillovers* espaciais. A variável dependente estudada é área desmatada, e as variáveis explicativas, selecionadas com base na revisão de literatura, são a área de floresta preexistente, área colhida de lavoura, rebanho bovino, multas por ato de infração contra a flora, densidade demográfica, educação e renda. Há evidências de dependência espacial para todas as variáveis analisadas. Foram encontrados 43 municípios considerados *outliers* superiores, ou seja, casos graves de incremento no desmatamento. Evidencia-se uma região crítica de *clusters* do tipo Alto-Alto e Baixo-Alto na fronteira entre os estados de Rondônia, Mato Grosso e Amazonas, assim como no estado do Pará. O modelo de defasagem espacial estimado (SAR) comprova o efeito de transbordamento espacial. A maioria das variáveis tiveram coeficiente positivo nas regressões (contribuindo para elevação do desmatamento), exceto área de lavoura (não significativo) e educação (coeficiente negativo, tendência de redução no desmatamento).

**Palavras-chave:** Meio Ambiente. Amazônia. Desmatamento. Econometria espacial.

**Abstract:** In recent years, deforestation in the Amazon region has been increasing, having exceeded 9,000 km<sup>2</sup> per year. Using cross-section data for 761 municipalities in 2017, this article aims to measure, through spatial econometrics, the impact of deforestation conditioning factors in the Legal Amazon, and to identify the presence of spatial spillovers. The dependent variable studied is deforested area, and the explanatory variables, selected based on the literature review, are the pre-existing forest area, crop area, cattle herd, fines for infringement against flora, demographic density, education and income. There is evidence of spatial dependence for all variables analyzed. 43 municipalities were found to be superior outliers, that is, severe cases of increased deforestation. A critical region of High-High and Low-High clusters is evident on the border between the states of Rondônia, Mato Grosso and Amazonas, as well as in the state of Pará. The estimated spatial lag model (SAR) proves the spatial spillover effect. Most variables had a positive coefficient in the regressions (contributing to the increase in deforestation), except for crop area (non-significant) and education (negative coefficient, tendency to reduce deforestation).

**Keywords:** Environment. Amazon. Deforestation. Spatial econometrics.

**Classificação JEL:** C21. Q57. O13.

---

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas da Universidade Estadual de Maringá.  
E-mail: ivanaugustocs@gmail.com.

<sup>2</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas da Universidade Estadual de Maringá.  
E-mail: geh.coutinho@gmail.com

<sup>3</sup> Professor Titular do Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas da Universidade Estadual de Maringá.  
E-mail: jlparre@uem.br.

## 1 INTRODUÇÃO

O desflorestamento representa uma das maiores questões mundiais sobre o uso da terra, comprometendo o equilíbrio do planeta, em seus diversos elementos, incluindo os ecossistemas, a economia e toda a sociedade. Atualmente, segundo um relatório da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2018), a área florestal mundial diminuiu de 31,6% para 30,6% entre 1990 e 2015, o relatório enfatizou que o desmatamento ainda é alto, embora tenha se abrandado nos últimos tempos, principalmente na América Latina, na África Subsaariana e no Sudeste da Ásia. Para além disso, de acordo com as Nações Unidas, a degradação de florestas é a segunda principal causa das mudanças climáticas mundiais — perde apenas para a queima de combustíveis fósseis — e é responsável por quase 20% das emissões de gases estufa no mundo.

Muitos são os fatores, apontadas pela literatura pertinente, acerca das causas do desmatamento. Desde aspectos endógenos como as condições edafoclimáticas, a aspectos relacionados à ação antrópica como a expansão do agronegócio, o crescimento urbano, os movimentos populacionais, e as atividades ilegais - queimadas e exploração de áreas de conservação para fins pessoais (especulação fundiária), por exemplo.

A expansão do agronegócio é considerada uma das principais causas do aumento do desmatamento no mundo. A prática agrícola, por meio das produções em escala industrial, e a pecuária, por meio do aumento dos pastos extensivos, fomentam o desmatamento em vários países do mundo (FAO, 2019). O Brasil perdeu 53.8 milhões de hectares de cobertura arbórea entre 2001 e 2018, correspondendo a uma redução de 10% da área florestal desde 2000; estima-se que 66% desta perda ocorreu devido a fatores de urbanização e de agropecuária para fins comerciais, considerando, predominantemente a área da Amazônia Legal<sup>4</sup>, entretanto, os dados também consideraram a extensão da Mata Atlântica e do Cerrado brasileiro (GFW, 2019)<sup>5</sup>. No total, aproximadamente 789.000 Km<sup>2</sup> da cobertura florestal da Amazônia já foram perdidos, o que corresponde a cerca de 20% de toda floresta (MMA, 2019).

A proposta deste estudo é mensurar o impacto de fatores condicionantes ao desmatamento na área da Amazônia Legal, e identificar a presença de *spillovers* espaciais. Além desta introdução (primeira seção), o artigo é composto por mais quatro partes. A seção dois apresenta uma revisão da literatura empírica acerca das causas do desmatamento nas florestas, especialmente, a Amazônia brasileira. A seção três traz os aspectos metodológicos da pesquisa, a descrição das variáveis, bem como os métodos econométricos utilizados no modelo. A quarta seção expõe e discute os resultados. Por fim, na quinta e última seção são apresentados os principais resultados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Amazônia: Histórico de ocupação, desmatamento e políticas ambientais

A Amazônia é, historicamente, um território disputado para exploração de recursos naturais. Essa característica remonta ao período colonial, quando Portugal e Espanha iniciaram expedições a fim de explorar as riquezas naturais da região. Porém, o desmatamento do bioma<sup>6</sup> Amazônico tornou-se um tema tratado nas esferas nacionais e internacionais mais de um século depois.

<sup>4</sup> A região da Amazônia Legal abrange os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Rondônia, Roraima, Tocantins, Pará e parte do Maranhão (porção a oeste do Meridiano 44°), estendendo-se por 5,2 milhões de km<sup>2</sup>, o equivalente a 61% do território nacional (SUDAM, 2019).

<sup>5</sup> O conjunto de dados de perda de cobertura arbórea é uma colaboração entre a Universidade de *Maryland*, *Google*, *USGS* e *NASA*, e usa imagens do satélite *Landsat* para mapear a perda de cobertura arbórea anual com uma resolução de 30 x 30 metros (GFW, 2019).

<sup>6</sup> O bioma Amazônico percorre do Oceano Atlântico às encostas orientais da Cordilheira dos Andes, até 600 metros de altitude, perpassando seis países da América do Sul, sendo aproximadamente 69% pertencentes ao Brasil, distribuídas em diversos Estados da Federação, com aproximadamente 25.474.365 habitantes (IBGE, 2019b).

A porção amazônica presente no território brasileiro é também chamada de Amazônia Legal<sup>7</sup>. Ao longo da história, a região passou por períodos de crescimento intenso, especialmente durante o ciclo da borracha entre meados do século XIX e início do século XX. Mas foi entre os anos 1960 e 1970, durante o Regime Militar, que a modernização econômica colocou a região amazônica no centro do debate nacional sobre ocupação territorial e exploração de riquezas. Sob o *slogan* “Integrar para não entregar”, os governos militares fizeram projetos de infraestrutura e programas para ocupar e controlar a região, como políticas de incentivos fiscais, crédito rural e estímulo à migração para que a demanda de projetos mineradores, agropecuários e madeireiros que se instalavam na Amazônia fosse atendida. A “Marcha para o Oeste” viabilizou a implantação de projetos agropecuários, de colonização e expansão do agronegócio em regiões de fronteira, o que fez com que empresas de grande porte dominassem de modo ostensivo a política de terras executada pelo governo federal (MACHADO, 2009).

Na década de 1980 a recessão econômica impossibilitou que os recursos públicos e privados mantivessem os programas de desenvolvimento amazônico, contribuindo para a queda da taxa de desmatamento nos anos de 1990 e 1991. Entretanto, com a recuperação econômica após a implantação do Plano Real, em 1994, o desmatamento voltou a crescer (MARTINS; BARROS; JUNIOR, 2010).

Nos anos 2000, verificou-se a dinamização econômica da Amazônia Legal, propiciada pelo crescimento da agropecuária, da atividade madeireira e pelo polo industrial de Manaus. Em especial, a agropecuária expandiu-se em termos de área ocupada, do volume de produção e da alta de preços, principalmente da carne nos mercados internacionais (GOMES et al., 2012). A partir de 2004, ano em que a taxa de desmatamento atingiu o maior valor histórico, entrou em vigor o Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal – PPCDAM (BRASIL, 2004). Suas metas fazem parte do Plano Nacional de Mudanças Climáticas - PNMC, que prevê a redução de 80% do desmatamento da Amazônia Legal até 2020 (BRASIL, 2008c). No âmbito do Ministério do Meio Ambiente, o Plano Amazônia Sustentável (PAS) foi criado tendo como diretrizes estratégicas o desenvolvimento sustentável, a diversidade sociocultural e ecológica e a redução das desigualdades regionais; o PAS também apresenta operações de combate ao desmatamento ilegal e à grilagem de terras públicas (BRASIL, 2008b).

Infelizmente, a implantação de estratégias de desenvolvimento econômico fundamentadas no discurso de ocupação da Amazônia e na exploração predatória de recursos naturais, gerou uma infinidade de conflitos na região. As discussões levantadas tendem a ignorar a compreensão de que as populações ribeirinhas, quilombolas, indígenas, rurais e urbanas são parte das complexas estruturas sociais que fomentaram historicamente a ocupação da região. O modelo implantado não logrou promover o progresso econômico e social, favoreceu a concentração de renda e socialização dos prejuízos. No campo ambiental, essas estratégias têm promovido a supressão de vegetação e aumentado a pressão sobre as florestas nativas e povos e comunidades tradicionais.

Ainda que os programas de monitoramento tenham sido essenciais, as taxas de desmatamento na Amazônia tem aumentado nos últimos anos: em 2016 foi 40% maior que a média dos anos 2011-2015; em 2017 foi 17% maior que a média dos anos 2012-2016; em 2018 foi 24% maior do que a média entre 2013-2017 (NOGUEIRA; OSOEGAWA; ALMEIDA, 2019). Este cenário tende a se agravar, uma vez que a política atual apresenta graves retrocessos, impunidade aos crimes ambientais, grandes projetos de infraestrutura planejados para a Amazônia e falhas nos acordos para regulação da pecuária – o setor produtivo que mais contribui para o desmatamento da Amazônia e é associado à grilagem de terras públicas (GREENPEACE et al., 2017).

## 2.2 Causas do desmatamento na Amazônia

Em meio à ampla literatura sobre o desmatamento, o grande desafio dos trabalhos é encontrar as razões para sua ocorrência. Embora alguns autores apontem enfaticamente para fatores específicos, como

---

<sup>7</sup> A Amazônia Legal teve seu recorte geográfico definido em 1953, ano em que também foi criada a Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia - SPVEA, com o objetivo de coordenar o povoamento e desenvolvimento da região (BRASIL, 1953). A Lei Federal nº 5.173, de 27 de outubro de 1966, extingue a SPVEA e cria a Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia - SUDAM (BRASIL, 1966).

a construção e pavimentação de estradas ou outras melhorias da infraestrutura, o avanço da pecuária ou até mesmo o crescimento populacional, pode-se constatar que os fatores são múltiplos e todos estão plenamente relacionados.

Além da busca pelas causas do desmatamento, um desafio adicional nos trabalhos empíricos é a mensuração do seu impacto na geração do desmatamento. É notável a grande heterogeneidade em relação ao impacto de diferentes causas sobre o desmatamento, fazendo-se necessário um controle rígido, através de melhorias na governança dos recursos naturais, na forma de políticas públicas ambientais e também medidas repressivas, tais como licenças, fiscalizações e multas.

### 2.2.1 Densidade populacional

O crescimento do contingente populacional certamente é um fator de pressão sobre o meio ambiente, à medida que é um elemento de aumento da intensidade de uso dos recursos naturais. Assim, quanto maior o contingente populacional e quanto maior a densidade demográfica, espera-se maior desmatamento da área do município.

Pfaff (1997), ao analisar os determinantes do desmatamento na Amazônia brasileira para o período de 1970 a 1988, considerando a densidade populacional, construção de estradas, crédito e a qualidade do solo como variáveis de controle, concluiu que o aumento da densidade rodoviária e a qualidade do solo estão associados a maiores desmatamentos. Referente à densidade populacional, o autor mostra, através de um modelo econométrico, que as primeiras pessoas a entrarem em um município terão mais impacto sobre o desmatamento que o mesmo número de pessoas adicionais a um município já densamente povoado, o que sugere a importância da distribuição espacial da população.

### 2.2.2 A expansão da pecuária e a agricultura

A pecuária na Amazônia era praticamente inexpressiva antes da década de 1950. Visando estabelecer uma “presença brasileira” local, aumentar o contingente populacional e inibir a “cobiça” internacional sobre a região, a partir da década de 1970, o governo federal priorizou o estabelecimento da atividade pecuária na Amazônia (PÁDUA, 2000). O crescimento do rebanho bovino na Amazônia Legal estimula o crescimento econômico da região, mas também gera preocupações e efeitos ambientais (ARIMA; BARRETO; BRITO, 2005).

Andersen e Reis (1997) desenvolveram um modelo de desflorestamento e desenvolvimento econômico para a Amazônia Legal baseando-se nos determinantes da demanda por terra agrícola, isto é, nas interações entre dinâmicas de população, urbanização, crescimento de mercados locais, preços da terra e políticas de governo. O modelo foi utilizado para avaliar os diferentes instrumentos das políticas de desenvolvimento entre 1970 e 1985. Segundo os autores, a quantidade de terras desflorestadas seria determinada, em sua maior parte, pela demanda por novas terras agrícolas.

De acordo com Brandão, Rezende e Marques (2006), há elementos que apontam nitidamente para o fato que a soja desloca a pecuária para novas áreas, com provável efeito de desmatamento adicional. Isso pode ser observado pelo fenômeno da redução do rebanho bovino nos principais municípios produtores de soja, porém com o aumento do rebanho nas regiões fronteiriças, com destaque (no caso de Mato Grosso) para os municípios das regiões de fronteira móvel. Particularmente para o Estado do Mato Grosso, análises indicam que o incremento da cultura da soja é responsável por 50% das taxas de desmatamento das áreas onde essa monocultura foi implementada.

Por fim, Ferreira e Coelho (2015) apontaram variações nas taxas de desmatamento no período de 1999-2011 associadas a oscilações nos preços das commodities e as políticas governamentais implementadas. Estes autores constataram a existência de uma relação direta entre os preços agrícolas e as taxas de desmatamento.

### 2.2.3 Repressão ao desmatamento

A redução do desmatamento requer não apenas comando e controle, mas também desenvolvimento regional, regulação fundiária, um conjunto de políticas públicas, e especialmente fiscalização, componente necessário nesse conjunto. No Brasil, a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605, 1998) e o Decreto 6.514/2008, determinam que as infrações às normas ambientais, podem ser punidas através de diversas sanções administrativas, tais como: advertência, multa simples, multa diária, apreensão ou destruição dos objetos da infração, suspensão de venda, embargo ou demolição de obra, suspensão parcial ou total das atividades, e medida restritiva de direitos (BRASIL, 1998; 2008a).

Para Schmitt e Scardua (2015), a fiscalização busca induzir a mudança do comportamento das pessoas por meio da coerção e do uso de sanções, pecuniárias e não-pecuniárias, de modo a evitar novos danos ambientais e promover a dissuasão, que se constitui um indicador de resultado da fiscalização. Por outro lado, Margulis (1996) afirma que, de modo geral, a fiscalização ambiental se constitui um sistema ineficaz de penalidades. Os infratores muitas vezes preferem enfrentar o (baixo) risco de serem surpreendidos pela fiscalização e em seguida enfrentar multas, porque estas ou não são cobradas de todo (ou minimizadas) ou então são geralmente baixas demais para induzir de fato investimentos em controle.

Segundo Brito e Barreto (2006), apenas 2% dos infratores foram criminalmente punidos em uma amostra de 55 casos judiciais contra infração ambiental no setor florestal no Pará entre 2000 e 2003. Alguns problemas podem ser identificados, como: erro de preenchimento dos autos de infração; deficiência da base de dados e demora nos procedimentos de investigação e defesa, inadimplência no pagamento das parcelas de multas, entre outros.

### 2.2.4 O PIB *per capita* e a renda

Segundo Diniz et al. (2009), o crescimento econômico, medido pela evolução do PIB *per capita*, indica que o conjunto das atividades econômicas do Estado está crescendo, inclusive aquelas que promovem o desmatamento. Assim, o ciclo de crescimento no município, com uma disponibilidade maior de renda, cria um efeito indutor a fim de permitir novos investimentos, para gozar das externalidades (efeitos externos) criadas por esses próprios investidores, incentivando o desmatamento.

Mais recentemente, ao avaliar os impactos do comércio internacional no desmatamento, Faria e Almeida (2016) identificaram que, à medida que a abertura ao comércio na Amazônia aumenta, o desmatamento também aumenta e, adicionalmente, foi observado que a produção de soja e gado de corte impulsionam o desmatamento na região, assim como os de direitos de propriedade também têm um impacto significativo no desmatamento. Além disso, à medida que o PIB *per capita* aumenta, o desmatamento se expande, de acordo com os resultados obtidos pelos autores, ou seja, um aumento da renda, conseqüentemente, aumenta o nível de desmatamento.

### 2.2.5 Detecção do desmatamento em áreas críticas

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), realiza desde 1988, o monitoramento na Amazônia, com o objetivo de quantificar os desmates de áreas com vegetação nativa e, dessa forma, ter embasamento para as ações de fiscalização, controle e combate aos desmatamentos ilegais. E, para fazer essa observação são utilizados três tipos de sistemas: o Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (Prodes), o Detecção de Desmatamento em Tempo Real (Deter), e o TerraClass, que mapeia o uso da terra após o desmatamento, em parceria com a Embrapa.

Devido sua importância biológica e vastidão territorial, o Bioma da Amazônia possui diversas unidades de conservação (UCs) estaduais, federais e municipais. Segundo Araújo et al. (2017), entre 2012 e 2015 as 50 UCs mais desmatadas na área da Amazônia Legal (16% do total de UCs) representam uma área perdida de 229,9 mil hectares de floresta (97% da área desmatada em UCs nesse mesmo período). Essas UCs em regiões críticas estão em área de expansão da fronteira agropecuária e sob influência de grandes projetos de infraestrutura (rodovias, hidrovias, portos e hidrelétricas), principalmente

nos estados do Pará e de Rondônia, que concentraram a maior parte do desmatamento detectado no período, 49,8% e 38,9%, respectivamente (ARAÚJO et al., 2017).

### 2.2.6 Educação e Desenvolvimento Humano

A relação entre o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHm) e o desmatamento é comumente explicada por umas das variáveis que o compõe: a educação. Arraes, Mariano e Simonassi (2012) encontraram que, quanto maior o IDH dos municípios, maior a probabilidade da Amazônia Legal apresentar menores taxas de desmatamento. Segundo os autores, a variável IDHm mostrou possuir um efeito positivo e estatisticamente significativo para redução da degradação ambiental nos municípios da Amazônia Legal. Ademais, observou-se, pela ótica da educação, a importância desta na determinação das taxas de desmatamento, sugerindo que municípios que apresentam níveis educacionais mais elevados desmatam menos e preservam mais o meio ambiente.

Resultados semelhantes foram encontrados por Loening e Markussen (2003), ao verificar as causas para o desmatamento e a perda da biodiversidade na Guatemala e concluir que um dos parâmetros mais importantes para se diminuir o desmatamento seria o nível de educação, mostrando uma relação negativa entre educação e desmatamento. Uma explicação plausível para a relação negativa entre o IDH, representado pelo nível educacional, e maiores taxas de desmatamento seria o fato de que indivíduos que apresentam níveis mais elevados de educação possuem maior conscientização do impacto que o desmatamento acarreta. Além disso, esses indivíduos têm melhor capacidade de desenvolver técnicas que tornem o impacto da agricultura e da pecuária sobre a floresta menos prejudicial.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Econometria espacial

A localização geográfica é um fator relevante para o meio ambiente. Deste modo, optou-se neste trabalho pela utilização do ferramental da econometria espacial afim de estudar o fenômeno do desmatamento. Almeida (2012, p. 16) define que “a econometria espacial é um ramo da econometria, tendo como escopo especificar, estimar, testar e prever modelos teóricos, influenciados pelos efeitos espaciais, usando dados em corte transversal ou em painel”.

Segundo Tobler (1970), a Primeira Lei da Geografia descreve a dependência (autocorrelação) espacial ao enunciar que todas as coisas estão relacionadas com todas as outras, mas as mais próximas estão mais relacionadas do que as mais distantes. Em econometria espacial, a matriz de pesos espaciais torna possível verificar o grau de interação entre as variáveis a partir de critérios de vizinhança. Estes critérios podem ser contiguidade (matriz Torre, Bispo ou Rainha), distância linear, distância inversa, quantidade de k-vizinhos, entre outros.

Antes da modelagem econométrica-espacial, é recomendado conduzir uma Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), isto é, aplicar um conjunto de técnicas descritivas que permite identificar *outliers* e *clusters* espaciais, auxiliando na especificação do modelo propriamente dito (ALMEIDA, 2012).

Moran (1948) sugeriu uma estatística para verificar a existência de autocorrelação espacial global, testando a hipótese nula da aleatoriedade espacial. Tal estatística, chamada de coeficiente I de Moran, se for significativo e positivo, indica a presença de dependência espacial (autocorrelação) nos dados. Além disso, a visualização gráfica no diagrama de dispersão de Moran permite identificar a tendência dos dados se agruparem no espaço. Essa tendência se manifesta em quatro tipos de associação linear espacial: Alto-Alto, Baixo-Baixo, Alto-Baixo e Baixo-Alto (ALMEIDA, 2012).

Anselin (1995) propôs um *Local Indicator of Spatial Association* (LISA), também chamado I de Moran local, para identificar padrões locais de dependência espacial com significância estatística. Essa análise é importante, pois as estatísticas de autocorrelação global não são capazes de identificar *clusters* ou *outliers* espaciais locais. O mapa de *clusters* reúne as informações do mapa de dispersão de Moran com o mapa de significância de LISA, revelando agrupamentos de dados estatisticamente significativos dos tipos

Alto-Alto, Baixo-Baixo, Alto-Baixo e Baixo-Alto. Este mapa de *clusters* é recomendado tanto para análises univariadas quanto bivariadas e também pode evidenciar *outliers* espaciais locais (ALMEIDA, 2012).

O princípio da heterogeneidade espacial, também conhecido como Segunda Lei da Geografia, diz que quando ocorre instabilidade estrutural através das regiões surgem diferentes respostas nos coeficientes e no padrão de erro aleatório de uma regressão (GOODCHILD, 2004). A heterogeneidade espacial pode ocorrer por erros de medidas nos dados, má especificação do modelo econométrico ou simplesmente por características distintas da estrutura espacial estudada. Desta forma, Almeida (2012, p. 28) destaca que “talvez a solução seja subdividir o conjunto de observações, por exemplo, em Norte-Sul, ou urbano e rural, ou ainda, centro-periferia, dependendo da natureza do fenômeno que está sendo estudado”.

Em muitos casos, o problema da heterogeneidade espacial pode ser evitado antes mesmo da especificação do modelo. Almeida (2012, p. 147) afirma que “a heterogeneidade espacial pode ser antecipada com as técnicas da AEDE em busca de regimes espaciais, instabilidade estrutural ou a detecção de *outliers* nos resíduos de uma regressão”.

Neste trabalho, utiliza-se o Modelo de Defasagem Espacial ou *Spatial Autoregressive Model* (SAR) para capturar o efeito de “vizinhança” do fenômeno em estudo. O critério de decisão para a escolha do modelo SAR foi o teste robusto de Multiplicador de Lagrange (ML), conforme a estratégia de especificação de modelos espaciais<sup>8</sup> proposta por Anselin (2005, p. 199). O modelo SAR informa se a variável dependente  $y$  é influenciada pela própria  $y$ , observada nas regiões vizinhas (defasada espacialmente), sendo dado por:

$$y = \rho Wy + X\beta + \varepsilon \quad (1)$$

em que  $\rho$  é escalar de coeficiente autorregressivo espacial ( $|\rho| < 1$ );  $Wy$  é vetor  $n \times 1$  de defasagem espacial da variável dependente;  $X$  é a matriz  $n \times k$  de variáveis explicativas;  $\beta$  é o vetor  $k \times 1$  de coeficientes de regressão;  $\varepsilon$  é o vetor  $n \times 1$  de erros aleatórios.

### 3.2 Dados e modelo econométrico

Para analisar o desmatamento e seus determinantes, foram utilizados dados em *cross-section* para o ano de 2017. A amostra compreende 761 municípios<sup>9</sup> da Amazônia Legal cujos dados para desmatamento estão disponíveis na base de dados do PRODES/INPE. A Tabela 1 resume os dados utilizados no modelo.

**Tabela 1** – Apresentação das variáveis do estudo

Variável	Descrição	Unidade	Sinal Esperado	Fonte
Y (Desmatamento)	Incremento da área desmatada, intensificada pela área total do município	Proporção (km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> )		PRODES/INPE
X <sub>1</sub> (Floresta)	Área de floresta restante em (t-1), intensificada pela área total do município	Proporção (km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> )	(+)	PRODES/INPE
X <sub>2</sub> (Lavoura)	Área colhida de lavoura permanente e temporária, intensificada pela área total.	Proporção (km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> )	(+)	SIDRA/IBGE
X <sub>3</sub> (Bovino)	Rebanho bovino, intensificada pela área total do município (logaritmo)	Escala logarítmica (cabeças/km <sup>2</sup> )	(+)	SIDRA/IBGE
X <sub>4</sub> (Infração)	Valor das multas distribuídas por auto de infração contra a flora, intensificada pela área total do município (logaritmo)	Escala logarítmica (R\$/km <sup>2</sup> )	(-)	IBAMA
X <sub>5</sub> (Densidade)	Densidade demográfica (logaritmo)	Escala logarítmica (pessoas/km <sup>2</sup> )	(+)	SIDRA/IBGE
X <sub>6</sub> (Educação)	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) - Educação	Índice entre 0 e 1	(-)	ATLAS BRASIL

Continua

<sup>8</sup> O teste ML robusto contra a defasagem espacial foi mais significativo do que o teste ML robusto contra o erro espacial, portanto, apresenta-se apenas o modelo SAR para economizar espaço neste artigo.

<sup>9</sup> Para o município de Mojuí dos Campos (PA), acrescentou-se uma estimativa para indicadores não disponíveis, sendo esta equivalente à média dos 5 municípios limítrofes (Santarém, Uruará, Prainha, Alenquer e Belterra).

				Conclusão
Variável	Descrição	Unidade	Sinal Esperado	Fonte
X <sub>7</sub> (Renda)	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) - Renda	Índice entre 0 e 1	(+)	ATLAS BRASIL

Fonte: Elaboração própria com dados de PRODES/INPE<sup>10</sup>, SIDRA/IBGE<sup>11</sup>, IBAMA<sup>12</sup>, ATLAS BRASIL<sup>13</sup> e IBGE<sup>14</sup>.

Anselin (2005) destaca que variáveis extensivas apresentam tendência à correlação espúria com a área ou população total da região. Assim, o mais correto é intensificar estas variáveis, dividindo-as por um indicador de intensidade - neste trabalho, optou-se por intensificar as variáveis Y, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> e X<sub>4</sub> com base na área total do município.

Além disso, optou-se por logaritmizar as variáveis X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub> e X<sub>5</sub> para tornar sua interpretação comparável em relação à variável dependente<sup>15</sup>. Para logaritmizar a variável X<sub>4</sub> foi necessário empregar um dispositivo de comutação na base de dados: 442 observações de multa no valor de R\$ 0,00 transformaram-se em 442 observações de multa no valor simbólico de R\$ 1,00. Desta forma, foi possível converter os valores para a escala logarítmica.

As variáveis X<sub>6</sub> e X<sub>7</sub>, disponíveis apenas para o ano de 2010, foram adotadas como *proxies* para o nível de renda e educação dos municípios em 2017. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) foi calculado pela PNUD Brasil, IPEA e Fundação João Pinheiro, com base nos dados do Censo Demográfico 2010 do IBGE. A dimensão Educação do IDHM é uma composição de indicadores de escolaridade da população adulta e de fluxo escolar da população jovem. A dimensão Renda do IDHM considera a renda *per capita* da população (ATLAS BRASIL, 2019).

O modelo econométrico, de regressão linear múltipla, adotado neste estudo pode ser descrito como:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + u \quad (2)$$

em que  $\alpha$  é o intercepto (constante);  $\beta_1$  é o coeficiente de regressão associado a X<sub>1</sub>,  $\beta_2$  é o coeficiente de regressão associado a X<sub>2</sub>, e assim por diante;  $u$  é o termo de erro aleatório.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, resume-se na Tabela 2 a análise descritiva das variáveis que compõem o modelo.

**Tabela 2** – Estatísticas descritivas das variáveis em estudo

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Observações
Y (Desmatamento)	0,0000	0,0524	0,0014	0,0032	761
X <sub>1</sub> (Floresta)	0,0000	0,9859	0,2507	0,2746	761
X <sub>2</sub> (Lavoura)	0,0000	1,2210	0,0546	0,1329	761
X <sub>3</sub> (Bovino)	-5,0880	2,2320	1,0120	0,9696	761
X <sub>4</sub> (Infração)	-5,0880	5,0880	-1,0440	2,6667	761
X <sub>5</sub> (Densidade)	-1,1231	3,4329	0,7933	0,6325	761
X <sub>6</sub> (Educação)	0,2070	0,7520	0,5077	0,0883	761
X <sub>7</sub> (Renda)	0,4000	0,8000	0,5973	0,0731	761

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

<sup>10</sup>Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. Acesso em 20 nov. 2019.

<sup>11</sup>Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em 20 nov. 2019.

<sup>12</sup>Disponível em: <http://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/quantidade-de-multas-ambientais-distribuidas-por-bens-tutelados>. Acesso em 20 nov. 2019.

<sup>13</sup>Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>. Acesso em 03 dez. 2019.

<sup>14</sup>Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=downloads>. Acesso em 20 nov. 2019.

<sup>15</sup>Apesar de Y não estar em log, é uma taxa (proporção) que representa o percentual de incremento da área desmatada em cada município no ano de 2017, em relação a área total.



Testaram-se diferentes configurações de matrizes espaciais e os resultados obtidos na Tabela 3 indicam que as matrizes tipo 5-vizinhos e tipo Rainha obtiveram maior valor para estatística I de Moran. Como os modelos de regressão por defasagem espacial (SAR) requerem pesos simétricos, optou-se pela matriz de contiguidade binária do tipo Rainha.

**Tabela 3** – Matrizes de pesos espaciais e valores encontrados da estatística I de Moran

Tipo de Matriz	I de Moran	p-valor*
5 vizinhos	0,335509	0,001
Rainha	0,333370	0,001
7 vizinhos	0,330886	0,001
Torre	0,328026	0,001
10 vizinhos	0,288494	0,001

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: \*A pseudossignificância empírica é baseada em 999 permutações aleatórias.

Com base na contiguidade do tipo Rainha, apresentam-se na Tabela 4 os valores de estatística univariada e bivariada para I de Moran. O I de Moran univariado foi positivo e estatisticamente significativo para todas as variáveis analisadas. Isso indica a presença de autocorrelação espacial, ou seja, as observações de todas as variáveis estão associadas espacialmente, sendo influenciadas pelas observações da mesma variável nas regiões vizinhas.

O I de Moran bivariado indica autocorrelação espacial positiva de Y (Desmatamento) com X<sub>1</sub> (Floresta), X<sub>3</sub> (Bovino), X<sub>4</sub> (Infração) e X<sub>7</sub> (Renda). A variável X<sub>6</sub> (Educação) apresentou autocorrelação espacial negativa com Y (Desmatamento), enquanto as variáveis X<sub>2</sub> (Lavoura) e X<sub>5</sub> (Densidade) não apresentaram autocorrelação espacial estatisticamente significativa com Y (Desmatamento). Esse resultado indica que o desmatamento em uma região é tem autocorrelação positiva com a área de floresta, rebanho bovino, infrações ambientais e renda nas regiões vizinhas. Ao mesmo tempo, o desmatamento de uma região tem autocorrelação negativa com o nível educacional dos vizinhos mas não é afetado pela área de lavoura e densidade populacional destes vizinhos.

**Tabela 4** – Estatística I de Moran das variáveis em estudo

Variável	I de Moran univariado	p-valor*	I de Moran bivariado**	p-valor*
Y (Desmatamento)	0,333370	0,001		
X1 (Floresta)	0,787173	0,001	0,179658	0,001
X2 (Lavoura)	0,597385	0,001	-0,004431	0,420
X3 (Bovino)	0,756568	0,001	0,093223	0,001
X4 (Infração)	0,421556	0,001	0,209007	0,001
X5 (Densidade)	0,658621	0,001	-0,010572	0,232
X6 (Educação)	0,493651	0,001	-0,080263	0,001
X7 (Renda)	0,611491	0,001	0,071412	0,001

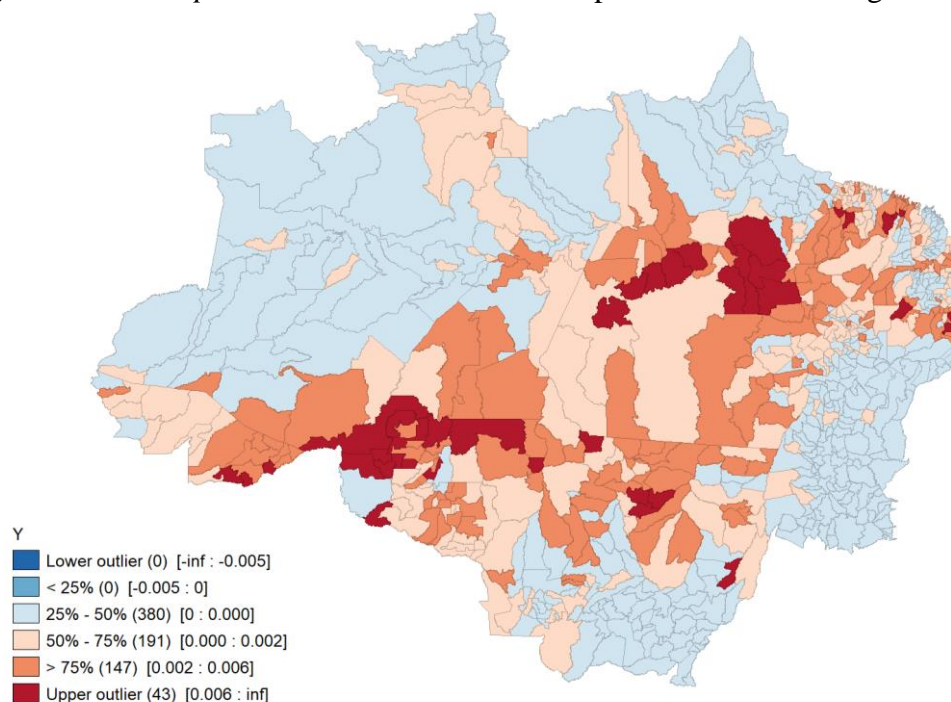
Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: \*A pseudossignificância empírica é baseada em 999 permutações aleatórias.

\*\*Entre a variável explicada Y e as variáveis explicativas defasadas espacialmente.

A Figura 1 apresenta detecção de *outliers* para variável Y (Desmatamento), por meio da ferramenta *boxmap* com *hinge* igual a 3.0. Observa-se que, para o ano de 2017, não houveram *outliers* inferiores para o incremento da área desmatada nos municípios da Amazônia Legal. Foram identificados 43 municípios considerados *outliers* superiores, ou seja, casos graves de incremento no desmatamento. Destes, 3 estão localizados no Acre, 12 em Rondônia, 7 no Mato Grosso, 13 no Pará e 8 no Maranhão.

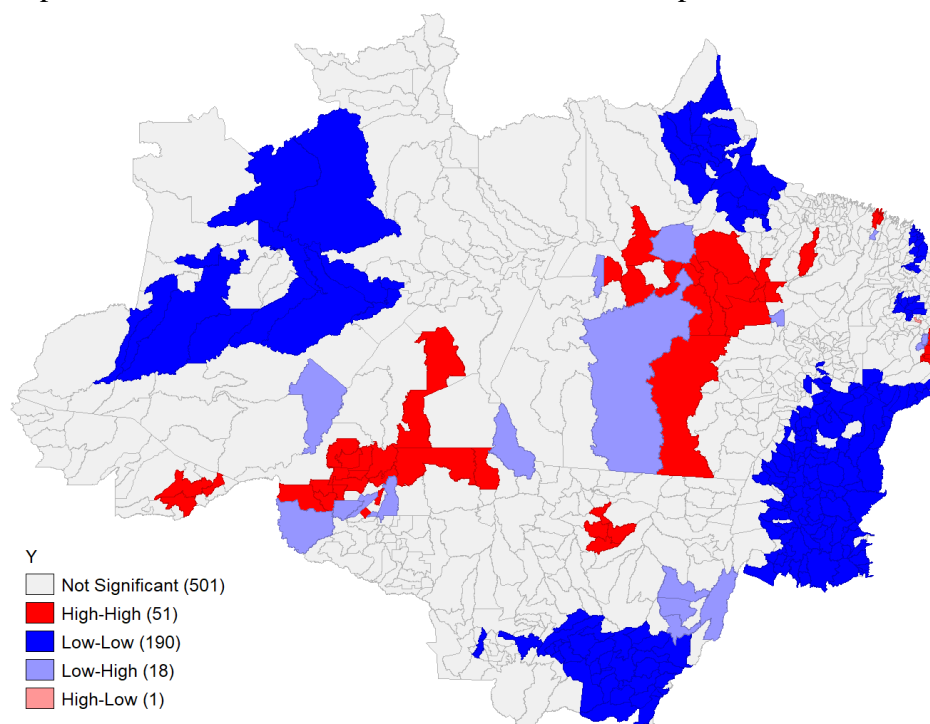
**Figura 1** – *Boxmap* do desmatamento nos municípios da Amazônia Legal em 2017



Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

A Figura 2 confirma o fenômeno espacial do desmatamento, consolidando *clusters* estatisticamente significativos do tipo Alto-Alto (bolsões de alto desmatamento) e Baixo-Alto (bolsões de transição) principalmente na região localizada no centro da Amazônia Legal. Evidencia-se claramente uma região crítica na fronteira entre os estados Rondônia, Mato Grosso e Amazonas, assim como em uma parte extensa do estado do Pará. Revela-se também, *clusters* do tipo Baixo-Baixo (bolsões de baixo desmatamento) no sul do Mato Grosso, Tocantins, Sul do Maranhão, Amapá e Noroeste do Amazonas.

**Figura 2** – Mapa de *clusters* LISA do desmatamento nos municípios da Amazônia Legal em 2017



Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Inicialmente, estimou-se o modelo clássico de regressão linear por MQO, sem correção para dependência espacial. Testou-se a hipótese de ausência de autocorrelação espacial e verificou-se que os testes Multiplicador de Lagrange (ML) para defasagem e para o erro eram estatisticamente significativos. Sendo assim, é recomendado optar por modelos que considerem o efeito espacial. A versão robusta dos testes ML apontam que o modelo mais adequado seria o de defasagem espacial (SAR). O teste Jarque-Bera para normalidade dos erros foi estatisticamente significativo, rejeitando-se a hipótese nula para distribuição normal. Neste caso, em que há não-normalidade dos erros, o método de estimação mais adequado é o mínimo quadrados em dois estágios (MQ2E). Apresentam-se na Tabela 5 os resultados dos dois modelos de regressão estimados, o clássico estimado por MQO (1) e o SAR por MQ2E (2).

**Tabela 5 – Resultado dos modelos estimados**

Parâmetros	Y (Desmatamento)	
	(1)	(2)
X <sub>1</sub> (Floresta)	0,0022*** (0,0005)	0,0012** (0,0006)
X <sub>2</sub> (Lavoura)	-0,00003 (n.s.) (0,0009)	-0,0002 (n.s.) (0,0008)
X <sub>3</sub> (Bovino)	0,0007*** (0,0001)	0,0005*** (0,0002)
X <sub>4</sub> (Infração)	0,0002*** (0,00005)	0,0002*** (0,00005)
X <sub>5</sub> (Densidade)	0,0006*** (0,0002)	0,0004* (0,0002)
X <sub>6</sub> (Educação)	-0,0127*** (0,0020)	-0,0095*** (0,0021)
X <sub>7</sub> (Renda)	0,0071*** (0,003)	0,0047* (0,0025)
$\alpha$ (Constante)	0,0022* (0,0011)	0,0020* (0,0011)
Wy (Y Defasado)		0,3885*** (0,1415)

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: (1) modelo clássico estimado por mínimos quadrados ordinários (MQO).

(2) modelo SAR estimado por mínimos quadrados em dois estágios (MQ2E).

\*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01; (n.s.) = não significativo.

À primeira vista, os dois modelos apresentam resultados similares para as variáveis em comum. Tanto o modelo (1) de regressão linear clássica quanto o modelo (2) de defasagem espacial apresentaram coeficientes estatisticamente significativos para todas as variáveis, com exceção de X<sub>2</sub>. Os sinais esperados foram confirmados, com exceção da variável X<sub>4</sub> (valor das multas) que apresentou sinal positivo no resultado da regressão. Este resultado indica que o valor das multas aplicadas não é condição suficiente para que haja redução no desmatamento, embora seja intuitivo assumir que regiões com maior desmatamento sofram mais multas.

Para o modelo (2), o coeficiente de defasagem espacial Wy se mostrou estatisticamente significativo e positivo, confirmando a hipótese da dependência espacial para o desmatamento.

Interpretando os coeficientes da regressão (2) podemos notar que:

- 100% de cobertura florestal (X<sub>1</sub>) no período t-1 levaria a uma tendência de elevação de 0,12% no desmatamento (Y);
- Um aumento de 1% no rebanho bovino (X<sub>3</sub>) levaria a uma tendência de elevação de 0,05% no desmatamento (Y);

- Um aumento de 1% nas multas por infrações contra a flora ( $X_4$ ) é acompanhado por uma tendência de elevação de 0,02% no desmatamento (Y);
- Um aumento de 1% na densidade demográfica ( $X_5$ ) levaria a uma tendência de elevação de 0,04% no desmatamento (Y);
- Um aumento de 1 ponto no IDHM Educação ( $X_6$ ) levaria a uma tendência de redução de 0,95% no desmatamento (Y);
- Um aumento de 1 ponto no IDHM Renda ( $X_7$ ) levaria a uma tendência de elevação de 0,47% no desmatamento (Y);
- 100% de desmatamento nos vizinhos ( $W_y$ ) levaria a uma tendência de elevação de 38,85% no desmatamento (Y) do local observado.

Portanto, constata-se que o modelo estimado mostra o papel significativo da educação para redução do desmatamento na Amazônia Legal, superior ao efeito danoso das demais variáveis estudadas. Ademais, a variável área de lavoura não apresentou significância estatística nesta explicação para o desmatamento. Também, observa-se que o desmatamento tem efeito transbordamento espacial expressivo, como indicado no modelo (2) pelo coeficiente positivo da variável defasada espacialmente ( $W_y$ ).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de desflorestamento da Amazônia tem sido frequentemente debatido nas cearas nacionais e internacionais devido a sua relevância climática, socioeconômica e política. Dados recentes indicam que a área desmatada aumenta ano após ano, nos aproximando cada vez mais do ponto do não retorno, em que as mudanças no ecossistema se tornaram irreversíveis.

Este trabalho teve como objetivo investigar os determinantes do desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira, por meio de uma abordagem econométrica-espacial. Os resultados da AEDE evidenciaram regiões críticas - bolsões de alto desmatamento e de transição para alto - na fronteira entre os estados de Rondônia, Mato Grosso e Amazonas, assim como uma parte extensa do estado do Pará. Também se destacou a elevação do desmatamento relacionado às variáveis: área de floresta preexistente, rebanho bovino, multas por infrações contra a fora, densidade demográfica e renda. A área de lavoura não foi estatisticamente significativa mas o maior nível de educação da população nos municípios esteve associado a uma tendência de redução no desmatamento. Por fim, comprovou-se o efeito de transbordamento espacial do desmatamento, o impacto exercido sobre os municípios vizinhos.

De modo geral, os resultados obtidos nesse estudo reforçam a necessidade da formulação de políticas públicas que possibilitem processos de produção sustentáveis e que sejam capazes de reverter a tendência de desenvolvimento econômico via desmatamento. É importante que tais políticas sejam baseadas em dados atualizados e honestos, para que seja possível atuar de forma efetiva nas regiões mais críticas. Assim como, o cumprimento das leis ambientais regulatórias, visando principalmente, o fortalecimento da base estrutural do órgão ambiental, responsável pela fiscalização, tornado está mais efetiva a fim de limitar a expansão do desflorestamento.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se uma abordagem mais ampla do espaço Amazônico, agregando, além da Amazônia Legal, as regiões da Amazônia Ocidental, Oriental e Continental. Além disso, recomenda-se ampliar a análise para outros anos, bem como, testar a defasagem espacial de outras variáveis explicativas, além do desmatamento (modelo SDM).

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. **Econometria Espacial Aplicada**. 1. ed. São Paulo: Alinea, 2012.

ANDERSEN, E.; REIS, E. Deforestation and Government Policy in the Brazilian Amazon: an Econometric Analysis. **Texto para discussão IPEA**, n. 513, Rio de Janeiro, 1997.

ANSELIN, L. Local indicators of spatial association – LISA. **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995.

ANSELIN, L. **Exploring Spatial Data with GeoDaTM: a Workbook**. University of Illinois, Urbana-Champaign, 2005.

ARAÚJO, E.; BARRETO, P.; BAIMA, S.; GOMES, M. **Unidades de Conservação mais desmatadas da Amazônia Legal (2012-2015)**. Belém: Imazon, 2017.

ARRAES, R. A.; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.50, n. 1, p. 119-140, 2012.

ARIMA, E.; BARRETO, P.; BRITO, M. **Pecuária na Amazônia: tendências e implicações para a conservação**. Belém: IMAZON, 2005.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL – ATLAS BRASIL. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)**. Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br/2013/pt>. Acesso em: 03 dez. 2019.

BRANDÃO, A. S. P.; REZENDE, G. C.; MARQUES, R. W. C. Crescimento agrícola no período 1999/2004: a explosão da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente. **Economia Aplicada**, v. 10, n. 2, 2006.

BRASIL. Lei nº 1.806, de 6 de janeiro de 1953. **Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia, cria a Superintendência da sua execução e dá outras providências**. Diário Oficial da União, de 7 de janeiro de 1953. Rio de Janeiro, 1953.

BRASIL. Lei nº 5.173, de 27 de outubro de 1966. **Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia; extingue a Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), cria a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), e dá outras providências**. Diário Oficial da União, de 31 de outubro de 1966. Brasília, 1966.

BRASIL. Lei nº 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**. Diário Oficial da União, de 13 de fevereiro de 1998. Brasília, 1998.

BRASIL. **Plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Amazônia legal**. Relatório da Presidência da República, Casa Civil, 2004.

BRASIL. Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008. **Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, de 23 de julho de 2008. Brasília, 2008a.

BRASIL. **Plano Amazônia Sustentável: diretrizes para o desenvolvimento sustentável da Amazônia brasileira**. Ministério do Meio Ambiente, 2008b.

BRASIL. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima**. Brasília: Governo Federal, 2008c.

BRITO, B.; BARRETO, P. A eficácia da aplicação da lei de crimes ambientais pelo Ibama para proteção de florestas no Pará. **Revista de Direito Ambiental**, v. 43, n. 1, p. 35-65, 2006.

DINIZ, M. B.; JUNIOR, J. N. O.; NETO, N. T.; 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**, v. 19, n. 1, p. 121-151, 2009.

FARIA, W. R., ALMEIDA, A. N. Relationship between openness to trade and deforestation: Empirical evidence from the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 121, p. 85-97, 2016.

FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B. Desmatamento Recente nos Estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 1, p.93-108, 2015.

GLOBAL FOREST WATCH (GFW). **Tree Cover Loss in Brazil**. Disponível em: <http://bit.ly/2HekQYD>. Acesso em: 20 nov. 2019.

GOODCHILD, M. The validity and usefulness of laws in geographic information science and geography. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 94, n. 2, p. 300-303, 2004.

GOMES, C. V.; EHRINGHAUS, C.; DUTRA, C. M.; PANTOJA, E.; TONI, F.; SCHIELEIN, J.; HARGRAVE, J.; CARVALHEIRO, K.; ROCHA, L.; NETO, M. A.; RÖPER, M.; ZIPPER, V.; WIRSIG, W. **Oportunidades de Apoio a Atividades Produtivas Sustentáveis na Amazônia**. Subsídio para Debate. Fundo Amazônia, Brasília, 2012.

GREENPEACE; IMAFLORA; AMAZON; INSTITUTO CENTRO DE VIDA; INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL; IPAM; THE NATURE CONSERVANCY; WWF. **Desmatamento zero na Amazônia: Como e porque chegar lá**. Publicação digital, 2017. Disponível em: <https://amazon.org.br/PDFamazon/Portugues/livros/Desmatamento%20zero%20como%20e%20por%20que%20chegar%20la.pdf> . Acesso em: 20 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE/SIDRA. **Área dos municípios**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=downloads>. Acesso em: 20 nov. 2019a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE/SIDRA. **Tabelas estatísticas**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 nov. 2019b.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Multas ambientais distribuídas por bens tutelados**. Disponível em: <http://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/quantidade-de-multas-ambientais-distribuidas-por-bens-tutelados>. Acesso em: 20 nov. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Desmatamento nos municípios – PRODES**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. Acesso em: 20 nov. 2019.

LOENING, L. J.; MARKUSSEN, M. Pobreza, Deforestación y Pérdida de la Biodiversidad en Guatemala. **Discussion Papers**, n. 41, jan. 2003.

MACHADO, L. O. R. Desflorestamento na Amazônia Brasileira: Ação Coletiva, Governança e Governabilidade em Área de Fronteira. **Revista Sociedade e Estudo**, v.24, n.1, p. 115-147, 2009.

MARGULIS, S. A Regulamentação Ambiental: Instrumentos e Implementação. **Texto para discussão IPEA**, n. 437, 1996.

MARTINS, C. E. R.; BARROS, R. P.; JUNIOR, J. N. O. Causas dos Determinantes da Intensidade do Desmatamento na Amazônia Legal: Uma Abordagem Multinomial. In: **XV Encontro Regional de Economia, Fórum BNB de Desenvolvimento**, 2010, Fortaleza. Anais do XV Encontro Regional de Economia, Fórum BNB de Desenvolvimento, v. 1, 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Amazônia**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/824-amaz%C3%B4nia>. Acesso em: 21 nov. 2019.

MORAN, P. A. P. The interpretation of statistical maps. **Journal of Royal Statistical Society**, v. 10, n. 2, p. 243-251, 1948.

NOGUEIRA, C. B. C.; OSOEGAWA, D. K.; ALMEIDA, R. L. P. Políticas desenvolvimentistas na Amazônia: Análise do desmatamento nos últimos 10 anos (2009-2018). **Revista Culturas Jurídicas**, v. 6, n. 13, p. 145–169, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **El estado de los bosques del mundo: Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible**. Roma, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **The State of the World's Forest**. Disponível em: <http://www.fao.org/3/I9535EN/i9535en.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

PÁDUA, J. A. Biosfera, história e conjuntura na análise da questão amazônica. **História, Ciências e Saúde**, v. 6 (suplemento), p. 793-811, 2000.

PFAFF, A. S. P. **What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon? Evidence from satellite and Socioeconomic Data**. Working Paper 1772, 1997.

SCHMITT, J.; SCARDUA, F. P. A descentralização das competências ambientais e a fiscalização do desmatamento na Amazônia. **Revista de Administração Pública**, v. 49, n. 5, p. 1121-1142, 2015.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA (SUDAM). **Legislação da Amazônia**. Disponível em: <http://www.sudam.gov.br/index.php/component/content/article/58-acesso-a-informacao/86-legislacao-da-amazonia>. Acesso: 19 nov. 2019

TOBLER, W. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. **Economic Geography**, v. 46, n. 2, p. 234-240, 1970.