

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

LUCAS MORALES

ANÁLISE DA TRANSIÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA LEGAL

Sorocaba
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

LUCAS MORALES

ANÁLISE DA TRANSIÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA LEGAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, para obtenção do título/grau de bacharel em Ciências Econômicas.

Orientação: Prof. Dr. Cassiano Bragagnolo

Sorocaba
2023

Morales, Lucas

ANÁLISE DA TRANSIÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA
LEGAL / Lucas Morales -- 2023. 40f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus
Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Cassiano Bragagnolo

Banca Examinadora: Cassiano Bragagnolo, Henrique Ryosuke

Tateishi, Mariusa Momenti Pitelli

Bibliografia

1. Transição Florestal. 2. Amazônia Legal. 3. Desmatamento.

I. Morales, Lucas. II. Título

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano
CRB/86979

LUCAS MORALES

ANÁLISE DA TRANSIÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA LEGAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, para obtenção do título/grau de bacharel em Ciências Econômicas.
Universidade Federal de São Carlos.

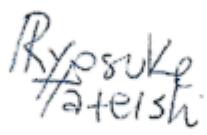
Sorocaba, 28 de março de 2023

Orientador



Prof. Dr. Cassiano Bragagnolo

Examinador



Prof. Me. Henrique Ryosuke Tateishi

Examinador



Profª. Dra. Mariusa Momenti Pitelli

DEDICATÓRIA

*Àqueles que me acompanharam
nesta jornada e engrandeceram o meu ser.*

AGRADECIMENTOS

A todo corpo docente e equipe da UFSCar, gostaria de expressar minha profunda gratidão. Mesmo com todas as adversidades enfrentadas por todos durante os últimos anos, vocês proporcionaram conhecimento e apoio inestimáveis para mim.

Agradeço o Prof. Dr. Cassiano Bragagnolo pelas ideias, comentários, orientação e apoio que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradecimentos para todos os amigos que fiz durante a graduação e que continuarão comigo pelo resto da vida. Vocês tornaram essa jornada mais leve.

Gostaria também de estender minha sincera gratidão à minha família pelo amor e apoio inabaláveis durante meus estudos. Seu constante incentivo, compreensão e sacrifícios têm sido a força motriz por trás do meu sucesso.

Agradeço à pessoa que sempre esteve presente para me apoiar: Julia, te adoro.

A todos que me acompanharam nesta jornada, muito obrigado.

RESUMO

MORALES, Lucas. Uma análise sobre a transição florestal na Amazônia Legal. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2023.

A floresta Amazônica é de crucial importância para o equilíbrio ambiental mundial e para a economia brasileira, mas encontra-se em um estado de progressivo desmatamento que afeta sua influência. O desmatamento é ocasionado por diversos fatores que incluem o crescimento econômico, a expansão do setor agrícola, a expansão da pecuária, a extração de madeira e o investimento em infraestrutura. A implementação da região político administrativa em conjunto com o Plano de Ações para a Prevenção e o Controle do Desmatamento da Amazônia Legal (PPCDam) tiveram significativos impactos na redução das taxas do desmatamento. Todavia, incrementos líquidos na cobertura florestal não são observados de forma constante na região e se dão majoritariamente pela expansão de florestas secundárias em detrimento de florestas primárias. As florestas secundárias apresentam menor biodiversidade, podendo causar perdas significativas na complexidade do ecossistema local, prejudicando espécies de fauna e de flora. A teoria da transição florestal busca analisar o fenômeno de longo prazo no qual o declínio da área de florestas é substituído pela regeneração florestal, tendo-se assim uma curva de TTF com formato semelhante a “U”. Essas mudanças na cobertura florestal estão relacionadas a alocação ótima do uso da terra pelos agentes, que pode ser afetada por políticas, falhas de mercado e fatores externos. Desta forma, utilizou-se do modelo de dados em painel para identificar os principais fatores determinantes nas mudanças da proporção de área florestal para os municípios da Amazônia Legal no período de 2005 a 2020. Para isso, verificou-se diferentes indicadores demográficos, econômicos e de políticas ambientais. Os resultados obtidos pela pesquisa indicam que os indicadores de PIB per capita provocam, a longo prazo, uma contribuição com o aumento da proporção florestal, enquanto a densidade demográfica, a proporção de PIB agrícola e o valor médio de multas são negativamente relacionados com as áreas florestais. Verificou-se, portanto, a possibilidade de uma curva em formato de “U” como indicado pela teoria de transição florestal.

Palavras-chave: Amazônia. Amazônia Legal. Teoria da Transição Florestal. Desmatamento

ABSTRACT

The Amazon Rainforest is of crucial importance for global environmental balance and the Brazilian economy, but it is in a state of progressive deforestation that affects its influence. Deforestation is caused by several factors including economic growth, agricultural expansion, livestock expansion, timber extraction, and investment in infrastructure. The implementation of the political-administrative region together with the Action Plan for the Prevention and Control of Deforestation in Legal Amazon (PPCDam) have had significant impacts on reducing deforestation rates. However, net increments in forest cover are not consistently observed in the region and occur mostly through the expansion of secondary forests at the expense of primary forests. Secondary forests have lower biodiversity and can cause significant losses in the complexity of the local ecosystem, harming species of fauna and flora. The forest transition theory seeks to analyze the long-term phenomenon in which the decline in forest area is replaced by forest regeneration, resulting in a TTF curve with a U-shaped pattern. These changes in forest cover are related to the optimal allocation of land use by agents, which can be affected by policies, market failures, and external factors. Thus, panel data model was used to identify the main determining factors in the changes in the proportion of forest area for the municipalities in the Legal Amazon from 2005 to 2020. Different demographic, economic, and environmental policy indicators were examined. The research results indicate that per capita GDP indicators contribute in the long term to an increase in forest proportion, while population density, agricultural GDP proportion, and average fine value are negatively related to forest areas. Therefore, the possibility of a U-shaped curve as indicated by the forest transition theory was observed.

Keywords: Amazon. Legal Amazon. Forestal Transition Theory. Deforestation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Amazônia Legal - 2021.....	11
Figura 2 – Taxa de desmatamento na Amazônia Legal	16
Figura 3 – Processo de transição florestal e a evolução da cobertura em cada fase	19
Figura 4 - Mudanças no uso da terra durante a transição florestal.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Participação de cada setor no valor adicionado bruto (em %)	15
Tabela 2 – Estatísticas descritivas das variáveis do modelo econométrico	29
Tabela 3 – Regressores para proporção de cobertura florestal	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TTF - Teoria da Transição Florestal

CAK - Curva Ambiental de Kuznets

PIB – Produto Interno Bruto

FLEGT – Forest Law Enforcement, Governance and Trade

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PRODES – Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

DETER - Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real

SUDAM - Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia

PPCDAm - Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática

IGP-DI – Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna

ln – Logaritmo Natural

BIC – Critério de Informação Bayesiano

AIC – Critério de Informação de Akaike

MMA - Ministério do Meio Ambiente

SUMÁRIO

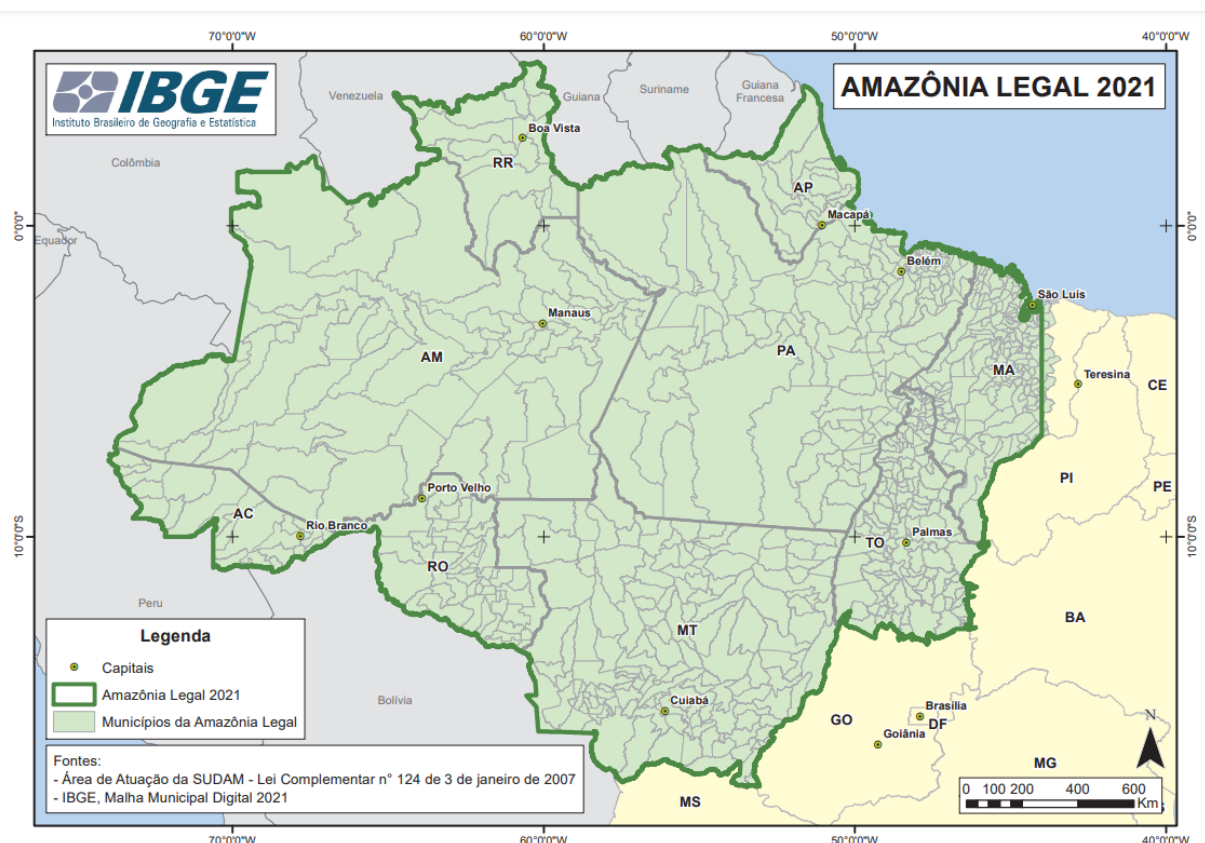
1 INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 BREVE CARACTERIZAÇÃO DA AMAZÔNIA LEGAL	15
2.2 O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA.....	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1 CURVAS DE KUZNETS AMBIENTAL	18
3.2 TEORIA DA TRANSIÇÃO FLORESTAL.....	18
3.3 VALOR DO USO DA TERRA	21
3.4 PERDAS OCULTAS.....	23
4 METODOLOGIA	25
4.1 MODELOS ECONOMETRÍCOS	25
4.2 MODELO EMPÍRICO	26
4.3 DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS E FONTE DOS DADOS	27
5 RESULTADOS.....	29
5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS	29
5.2 MODELOS ECONOMETRÍCOS	29
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	32
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é a maior área remanescente de floresta tropical do mundo, abrangendo diversos países da América Latina¹, com uma extensão territorial superior a 6,7 milhões de km² (IBGE, 2021). Sendo assim, o bioma é considerado de essencial importância para o equilíbrio ambiental global.

A Amazônia Legal é uma área reconhecida pela Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), criada com o Art. 1º da Lei Complementar nº 124 de 03 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007) com o intuito de promover o desenvolvimento econômico e ambiental da Amazônia e integrá-lo a base produtiva econômica nacional. A área inclui os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, e Mato Grosso, além de partes do Maranhão. O Território engloba cerca de 59% da área terrestre total do Brasil, englobando além de trechos do bioma Amazônico, áreas de transição com outros biomas (SUDAM, 2022).

Figura 1. Amazônia Legal - 2021



Fonte: IBGE (2021).

¹ Estes países são Brasil, Peru, Bolívia, Equador, Colômbia e Venezuela.

A redução da cobertura vegetal é um processo ligado à expansão urbana. A criação de assentamentos é uma atividade que demanda recursos provenientes das florestas, como madeira, e a conversão do espaço geográfico ocupado originalmente pela cobertura vegetal. Desta forma, países em desenvolvimento apresentariam elevadas taxas de desmatamento devido à expansão de áreas agrícolas e assentamentos sobre suas florestas (MATHER, 1992).

Para reduzir as taxas de desmatamento na Amazônia, foram criadas diversas políticas e leis de combate ao desmatamento, como o Plano de Ação para a Prevenção e o Controle do Desmatamento da Amazônia legal (PPCDAm), criado em 2004 (MMA, 2022), e o Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), criado em 1988 (INPE, 2022). Ademais, acordos de responsabilidade econômico-ambiental foram criados de forma a combater o desmatamento, sendo um dos principais a Moratória da Soja. O acordo criado em 2006, entre produtores, ONGs e o próprio governo, tinha como mastro a proibição da compra de Soja proveniente de áreas recém desmatadas (GIBBS *et al*, 2015).

Ao longo dos últimos anos, pode-se perceber uma tendência de redução do desmatamento entre os países em desenvolvimento com áreas de florestas tropicais (CALABONI, 2017). Tal situação pode ser observada na Amazônia em alguns estados brasileiros (PRODES, 2022). Todavia, esta redução no desmatamento, mesmo quando acompanhada pelo reflorestamento ou rejuvenescimento de matas nativas, resulta ainda em uma redução da cobertura vegetal e/ou da biodiversidade do local (ROSA, 2021).

A Teoria da Transição Florestal (TTF) descreve a relação entre a cobertura vegetal, seja ela composta por florestas primárias, secundárias ou outros tipos de vegetação, e o desenvolvimento econômico, este geralmente medido pela renda *per capita* de uma região. Após determinado período de degradação florestal haveria um momento de transição no qual as taxas de desmatamento seriam superadas pelos ganhos de área florestal, resultando em ganhos líquidos de cobertura vegetal (SARAIVA, 2017).

Este processo é descrito através de quatro fases principais que estão intrinsicamente ligadas ao estágio de desenvolvimento econômico da região. Inicialmente, na fase I, tem-se florestas intactas com baixas taxas de desmatamento, pois ainda não há atividade econômica desenvolvida naquela região. Na fase II tem-se a expansão das atividades agrícolas e com elas elevadas taxas de desmatamento para suprir a necessidade por recursos naturais e espaço. Na fase III, com a redução das áreas florestais e a consolidação da agricultura, ocorre uma estabilização do desmatamento. Por fim, na fase IV, espera-se que mudanças no contexto político, no modelo produtivo e sociais fomentem a regeneração das florestas e a diminuição do desmatamento, podendo resultar em ganhos líquidos de vegetação. (ANGELSEN, 2007).

O uso da terra e de recursos florestais dependem de uma variedade de fatores. Estes incluem a demanda pelos recursos em si, a urbanização, modernização agrícola, os custos relacionados a sua extração e as políticas governamentais vigentes (BARBIER, 2010). A distância aos principais centros urbanos também é fator determinante na alocação de terras para diferentes finalidades (THÜNEN, 1826, apud SULLIVAN, 2012). Neste contexto, é crucial levar em conta como a escassez de recursos florestais afeta o valor da terra e, por consequência, as atividades realizadas nela. Isso pode limitar ou permitir a alocação de áreas para a preservação e reflorestamento, bem como influenciar a incidência de desmatamento, especialmente em áreas próximas a centros urbanos ou em zonas de expansão agrícola onde os valores da terra são elevados (HYDE, 2017).

Cabe destacar que apesar da relevância do tema, poucos estudos se dedicaram a avaliar empiricamente a existência de uma relação entre a TTF e a dinâmica de desmatamento na Amazônia Legal brasileira. Além disto, até onde se sabe, os poucos estudos dedicados ao assunto existentes na literatura utilizaram dados menos atualizados do que os empregados na análise aqui proposta.

Autores como Saraiva (2017) e Saraiva *et al.* (2020) exploram a influência de políticas públicas e do desenvolvimento econômico nas florestas secundárias e no desmatamento no bioma Amazônico, utilizando modelos estimados através do método de dados em painéis. Ambos os trabalhos utilizam como fonte a plataforma TerraClass para o desmatamento e a área de vegetação secundária, analisando até o ano de 2014.

Desta forma, o presente trabalho buscará analisar a evolução da cobertura vegetal na Amazônia Legal no período 2005 a 2020. Para isso, buscar-se-á traçar uma Curva baseada na Teoria da Transição Florestal para a região por meio de métodos econométricos de dados em painel, utilizando dados mais recentes do que os empregados anteriormente na literatura. Com isto, pretende-se identificar os principais indicadores socioeconômicos e políticos que impactaram na cobertura vegetal da região.

Espera-se, portanto, encontrar uma curva semelhante à proposta pela TTF, com formato de “U”. Assim sendo, se pretende estimar modelos com variáveis significantes para a relação da cobertura florestal com a renda *per capita*, bem como a presença de outras variáveis explicativas para o fenômeno, conforme será detalhado na seção de metodologia.

Assim, o trabalho foi dividido em sete seções. A primeira é a introdução, que é seguida de uma breve revisão da literatura sobre o tema. Na terceira seção é apresentado o referencial teórico sobre o tema. A quarta seção apresenta a metodologia utilizada, explicitando a fonte dos dados e os fundamentos dos modelos econométricos empregados. A quinta seção apresenta os

resultados obtidos que em seguida, na sexta seção, serão discutidos. Por fim, a seção sete apresentará as considerações finais acerca dos resultados da pesquisa. Desta forma, tem-se uma aplicação empírica do modelo de teoria da transição florestal em conjunto com as teorias em que se baseia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BREVE CARACTERIZAÇÃO DA AMAZÔNIA LEGAL

Com mais de 27 milhões de habitantes em 2022 (IBGE, 2023), a Amazônia Legal é uma região político administrativa instituída pelo governo brasileiro com o intuito de reunir regiões com problemas econômicos, políticos e sociais semelhantes para fomentar seu desenvolvimento econômico e social, integrando seus municípios na base econômica nacional.

Correspondendo a cerca de 10% do PIB nacional, os dados do Produto Interno Bruto (PIB) para os estados da Amazônia Legal demonstram a importância de cada setor econômico na região. Nacionalmente, a participação de cada setor na composição do valor adicionado bruto se comportou da seguinte maneira em 2020: Agropecuária 6,59%; Indústria 22,51%; Serviços 53,51% e setor público 17,49%. Na Região da Amazônia Legal no mesmo ano, conforme demonstrado na Tabela 1, é possível perceber uma maior participação da agropecuária e da indústria quando comparado com as parcelas nacionais: 14,74% na agropecuária; 27,15% na indústria; 36,08% em serviços e 22,04% no setor público (IBGE, 2023).

Comparando a participação de cada setor nos estados com a média nacional, percebe-se uma maior participação da agropecuária para todos os estados da Amazônia Legal, com exceção do Acre, Amapá e Amazonas. A indústria teve uma participação menor que a média nacional em quase todas as Unidades Federativas, com exceção do Amazonas. O setor público demonstrou relevância para a região, com participação maior que a média nacional para todos os estados exceto Mato Grosso. Por fim, o setor de serviços apresentou menor relevância relativa que para a média nacional em toda região (IBGE, 2023).

Tabela 1 – Participação de cada setor no valor adicionado bruto (em %)

Setor	AC	AP	AM	MA*	MT	PA	RO	RR	TO	BR
Agropecuária	6,6%	2,0%	5,3%	12,6%	28,8%	10,0%	14,9%	6,9%	20,3%	6,6%
Indústria	8,1%	12,4%	37,3%	19,6%	17,3%	42,5%	17,9%	11,7%	11,2%	22,5%
Serviços	44,5%	37,7%	36,3%	41,8%	39,0%	28,5%	41,2%	36,3%	39,6%	53,5%
Público	40,8%	48,0%	21,1%	26,0%	14,8%	19,0%	26,0%	45,0%	28,9%	17,5%

Nota: * Maranhão, apenas os 181 municípios que fazem parte da Amazônia Legal.

Fonte: IBGE (2020).

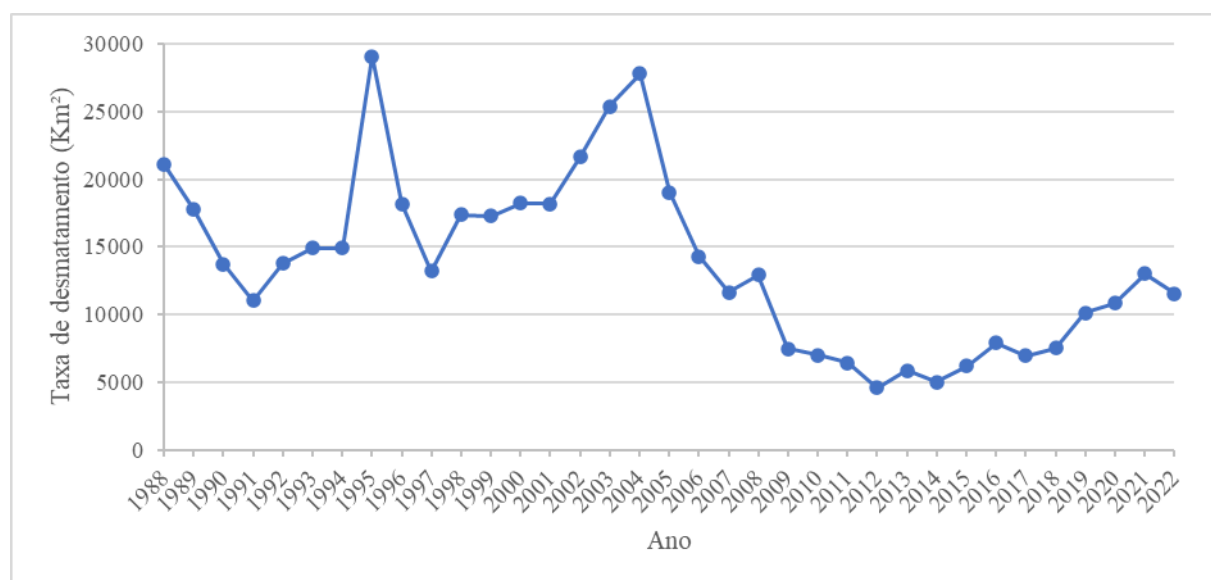
A região é marcada por uma alta heterogeneidade na densidade demográfica. As regiões com maiores populações estão localizadas majoritariamente em capitais de estados e áreas próximas. Já as regiões de menor densidade demográfica são caracterizadas por povoados rurais dispersos. As regiões remotas e de difícil acesso são marcadas por unidades de conservação ambiental e terras indígenas. A depender do momento da expansão agrícola, os

povoamentos podem exercer alta ou baixa pressão sobre as florestas da região (SARAIVA, 2020).

2.2 O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA

A região amazônica apresenta altos níveis de desmatamento desde o século XIX. Políticas de colonização, expansão da fronteira agrícola e incentivos fiscais são alguns dos fatores determinantes para a evolução dos níveis do desmatamento na região (SARAIVA, 2017). Ao longo dos últimos anos pode-se observar uma redução na taxa de desmatamento na Amazônia legal (Figura 2), todavia esta não é acompanhada pelo aumento da cobertura florestal (SARAIVA, 2017)

Figura 2. Taxa de desmatamento na Amazônia Legal.



Fonte: Próprio autor com dados do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES) (2022).

Saraiva (2017) e Perz e Skole (2013) analisaram a dinâmica do desflorestamento da Amazônia Legal demonstrando que a redução das florestas primárias ocorre em concomitância com o reflorestamento, através da expansão de florestas secundárias. Aguiar *et al* (2007) e Ometto *et al* (2011) demonstraram que os principais condutores do desmatamento são ligados à uma ampla variedade de fatores socioeconômicos, institucionais, tecnológicos e demográficos. A expansão de rebanhos, do plantio de soja e da fronteira agrícola, o surgimento de estradas e a quantia de áreas de proteção ambiental são alguns dos determinantes para os níveis de desflorestamento da região (PERZ;SKOLE, 2013).

Existem projetos e programas vinculados ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que monitoram o desmatamento e a cobertura florestal no bioma Amazônico e na Amazônia Legal, tais como: Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES); Sistema de Detecção de Desmatamentos em Tempo Real (DETER) e o TerraClass.

O PRODES utiliza imagens de satélite de sensoriamento remoto para monitorar o desmatamento de florestas primárias na Amazonia Legal e tem como principal objetivo estimar a taxa anual de desmatamento da região. A consulta para os dados e resultados obtidos pelo projeto estão disponíveis na plataforma TerraBrasilis. (INPE, 2022).

O DETER é um sistema de apoio a fiscalização que mapeia a supressão e degradação ambiental na Amazônia Legal. O sistema produz diariamente avisos de alteração na vegetação para áreas via imagens por satélite e indicam áreas totalmente desmatadas ou em processo de degradação florestal. Seu principal objetivo é provisionar aos órgãos de fiscalização ambiental recursos para serem utilizados em suas ações. Assim como no PRODEs, os dados e resultados obtidos estão disponíveis na plataforma TerraBrasilis (INPE, 2022).

O projeto TerraClass utiliza as imagens mapeadas e publicadas pelo PRODES para produzir mapas sistêmicos com o intuito de qualificar o desflorestamento da Amazônia Legal, investigando os motivos e causas para o desmatamento. O projeto considera e distingue diferentes classes de uso do solo, incluindo a diferenciação de florestas primárias e secundárias (INPE, 2019). O projeto mapeou informações referentes ao período de 2004 a 2014 e no momento encontra-se paralisado para a Amazônia Legal.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CURVAS DE KUZNETS AMBIENTAL

O trabalho empírico realizado por Grossman e Krueger (1991) buscou encontrar evidências para entender a relação entre o crescimento econômico e o nível de degradação ambiental de um país, dando início ao estudo da relação proposta pela Curva Ambiental de Kuznets (CAK). Os estudos acerca do tema vieram se expandindo desde então. Dentre as obras que abordam o tema, os trabalhos realizados por Panayotou (1993), Holtz-Eakin e Selden (1995) e Schmalensee (1998) investigam a relação de modo paralelo à proposta inicial de Simon Kuznets na década de 1950.

Inicialmente, os estudos dirigidos por Kuznets buscaram entender a relação entre a renda *per capita* e a desigualdade de renda em uma nação, dando origem a chamada Curva de Kuznets. A hipótese era de que, inicialmente a desigualdade de renda em uma nação aumentaria conforme se aumentava a renda *per capita*. Após um certo ponto, a relação iria se inverter, com a desigualdade diminuindo conforme o aumento da renda *per capita*, gerando assim uma curva em formato de “U” invertido.

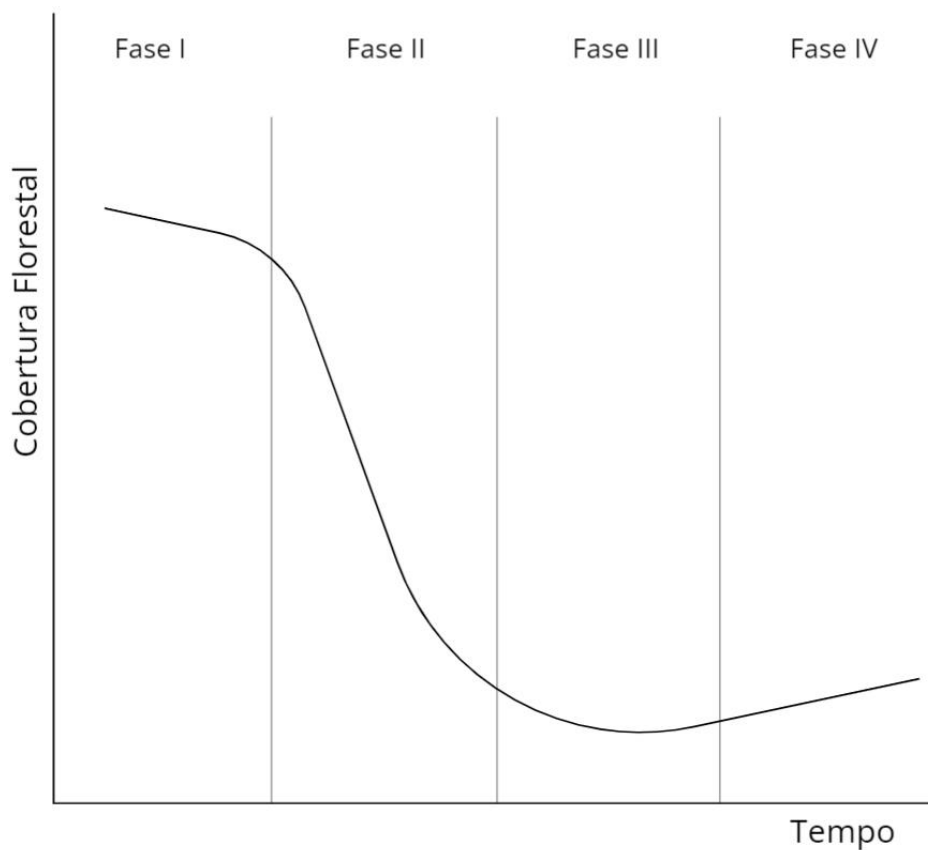
A Curva Ambiental de Kuznets explorou a relação entre degradação ambiental e a renda *per capita* de uma nação e foi assim nomeada devido a sua semelhança com a curva original. Em um primeiro estágio, a CAK é crescente, já que os estágios iniciais da industrialização estão relacionados com aumentos nos níveis de poluição, uma vez que a população e os governos estão mais interessados na geração de postos de trabalho e de renda do que em questões ambientais. Além disso, a regulamentação ambiental e as instituições são muito precárias, as comunidades são pobres e não dispõem de recursos para pagar pelo “abatimento” dos danos ambientais. No 2º estágio, a CAK é decrescente, já que com o aumento de renda, a produção industrial se torna menos poluente, a qualidade ambiental passa a ser mais valorizada pela população, as leis e as instituições se tornam mais eficientes para a obtenção de um meio ambiente com maior qualidade ambiental, gerando assim o formato empírico de U-invertido observado para a curva.

3.2 TEORIA DA TRANSIÇÃO FLORESTAL

O termo transição florestal foi inicialmente proposto por Mather (1992) e refere-se à mudança nas características de uso da terra que abrange um período de constante redução da cobertura florestal seguido de um período em que predomina a expansão de florestas. De forma

similar ao que ocorre na CKA, que indica uma relação entre desenvolvimento econômico e poluição no formato de “U” invertido, a Teoria da Transição Florestal (TTF) indica a existência de uma relação com uma curva em formato de “U” entre a cobertura florestal e o desenvolvimento econômico. De acordo com Barbier *et al.* 2017, essa transição se refere as mudanças de longo prazo que ocorrem nas florestas e na sociedade em seu entorno e descrevem o período em que o declínio da área da floresta é substituído pela recuperação florestal. A curva que representa a transição pode ser explicada em 4 fases distintas, conforme apresentado na figura 3.

Figura 3. Processo de transição florestal e a evolução da cobertura em cada fase



Fonte: Baseado em Angelsen (2007).

A fase I descreve o período no qual as florestas se encontram sem ou com pouca interferência externa devido as reduzidas atividades humanas e baixa densidade demográfica. Ela permanece nessa fase até que o avançar das atividades econômicas e humanas cause o declínio na cobertura florestal, entrando na segunda fase (CALABONI, 2017).

Na fase II encontra-se o aumento da urbanização, que fomenta atividades extrativistas, e a expansão de atividades primárias que compõe a base econômica. Neste período aumenta-se

a demanda por bens agrícolas para consumo e para exportação, o que aumenta a demanda pelo solo cultivável para a expansão das fronteiras agrícolas, reduzindo a cobertura florestal (CALABONI, 2017).

A fase III conta com a menor concentração de cobertura florestal devido ao grande desmatamento ocorrido anteriormente. Nela, tem-se uma estabilidade na relação entre as florestas e a fronteira agrícola, estando relacionada principalmente a fatores econômicos e geográficos, como a redução da rentabilidade do solo, mudanças demográficas e alterações no valor relativo da terra (CALABONI, 2017).

A quarta e última fase (fase IV) é marcada por mudanças no quadro social, político-econômico, que promovem a preservação das florestas, seja, por exemplo, pela valorização dos cidadãos à métodos ambientalmente sustentáveis ou por políticas internas e externas. Esse novo cenário resulta em aumentos líquidos na cobertura florestal total, dado principalmente por florestas secundárias e pela regeneração natural e ativa das matas (CALABONI, 2017).

Assim como na CKA, a curva que descreve o processo da TTF busca explorar a evolução de um cenário ambiental em decorrência do crescimento e do desenvolvimento econômico. Ambas possuem estágios no qual essa relação se dá ora de maneira positivamente relacionada e ora de forma negativamente relacionada. Ademais, ambas exploram mecanismos similares, como a sociedade, a economia e os métodos produtivos.

A transição é dada como um processo natural, com estudos indicando que países como a França e o Brasil já apresentam aumentos líquidos em sua área florestal (MATHER, 1992). Todavia, os mecanismos para a ocorrência dessa mudança são específicos para cada região e época, sendo interpretado de diversas formas por diferentes autores.

De acordo com Rudel et al (2005), a transição florestal pode ser desencadeada através de dois principais fatores: a escassez de recursos florestais e o desenvolvimento econômico de uma nação. O primeiro fator supõe que a escassez de produtos florestais e ambientais fomente a transição florestal, pois, conforme os produtos vão se esgotando, ocorre o aumento de seus preços e uma necessidade de maior cobertura florestal para cobrir a demanda, resultando assim no plantio e no reflorestamento das áreas. O segundo mecanismo supõe que a migração da população rural para áreas urbanas devido ao desenvolvimento econômico resulte na regeneração natural de áreas marginais anteriormente desmatadas para o uso agrícola.

Para Lambim e Meyfroidt (2010), as vias para a transição florestal são fundamentalmente relacionadas a dois grupos: o primeiro é o aumento da apreciação e demanda por bens e serviços naturais ocasionado pela redução destes e o segundo grupo é caracterizado por mudanças econômicas externas, como a globalização, urbanização ou o desenvolvimento,

que afetam a lógica do uso da terra para um viés menos favorável a agricultura que ocasiona a recuperação natural das florestas.

Segundo Mather e Needle (2000) e Grainger (2008), os níveis de cobertura florestal podem variar ao longo da transição florestal. Isso pode ocorrer por mudanças nas condições e políticas vigentes que causam oscilações nos níveis de cobertura florestal e pelo deslocamento da produção agrícola para áreas mais férteis, o que promove o reflorestamento das áreas menos produtivas (NEEDLE; MATHER, 2000). Ainda, forças do mercado madeireiro podem promover de forma desigual tanto o plantio quanto o desmatamento em diferentes regiões do país (GRAINGER, 2008).

A Amazônia tem suas particularidades no que diz respeito a transição florestal. Seu processo de uso da terra está ligado a diversos fatores socioeconômicos e biofísicos que promovem mudanças nas atividades econômicas de modo cíclico. No curto prazo, áreas florestais são desmatadas para dar espaço a fronteira agrícola. No médio prazo, ocorre o abandono de áreas agrícola devido a degradação do solo ou rotação, o que promove o surgimento de florestas secundárias, naturalmente ou por reflorestamento. No longo prazo, as florestas secundárias são desmatadas para que seu solo seja incorporado novamente no sistema produtivo. (PERZ; SKOLE, 2003a *apud* SARAIVA et al, 2020).

3.3 VALOR DO USO DA TERRA

O uso da terra por agentes econômicos leva em consideração seu valor relativo. As decisões quanto a alocação das áreas para os diferentes usos da terra tem base comparativa e apresentam caráter dinâmico, transformando-se ao longo do tempo.

Durante o processo de transição florestal, as alocações da terra estão baseadas no valor competitivo desta. A diminuição da base florestal costuma ter em conjunto uma expansão da fronteira agrícola no país. Já quando ocorre o aumento líquido de florestas, espera-se ter uma redução das áreas agrícolas. Estas mudanças estão relacionadas aos benefícios relativos que os agentes têm com a alocação de terra, estes que variam de acordo com diversos fatores. Sinais do mercado madeireiro, a preferência pela preservação de ecossistemas, leis de proteção ambiental, infraestrutura e, de modo geral, os custos de oportunidade e da conversão agrícola são alguns dos fatores que influenciam a tomada de decisão quanto a alocação do uso da terra. (BARBIER et al, 2010)

Os agentes podem optar pela preservação ambiental caso os benefícios marginais se encontrem maiores para esta do que aqueles para a transformação da área para agropecuária. O preço da madeira e os benefícios trazidos pelo ecossistema podem tornar atrativa a produção de

madeira e a conservação ambiental para os agentes. O custo de oportunidade da conversão de florestas para terra agrícola aumenta conforme a área florestal diminui e a escassez de produtos advindos das florestas aumenta.

Em relação a tomada de decisão quanto ao uso da terra, uma alocação eficiente seria atingida quando os benefícios marginais da produção de madeira e os benefícios da conservação ambiental fossem equivalentes ao benefício marginal da produção agrícola em área convertida. (BARBIER; BURGUER, 1997 *apud* SARAIVA 2017).

A dinâmica da cobertura florestal e do uso da terra são dependentes dos valores competitivos utilizados na tomada de decisão. Todavia, esses valores podem se diferenciar dos valores ótimos devido a falhas de mercados, políticas e demais fatores externos, que podem fomentar uma conversão excessiva de áreas florestais para espaços agrícolas e adiar o processo de transição florestal no país (BARBIER et al, 2010)

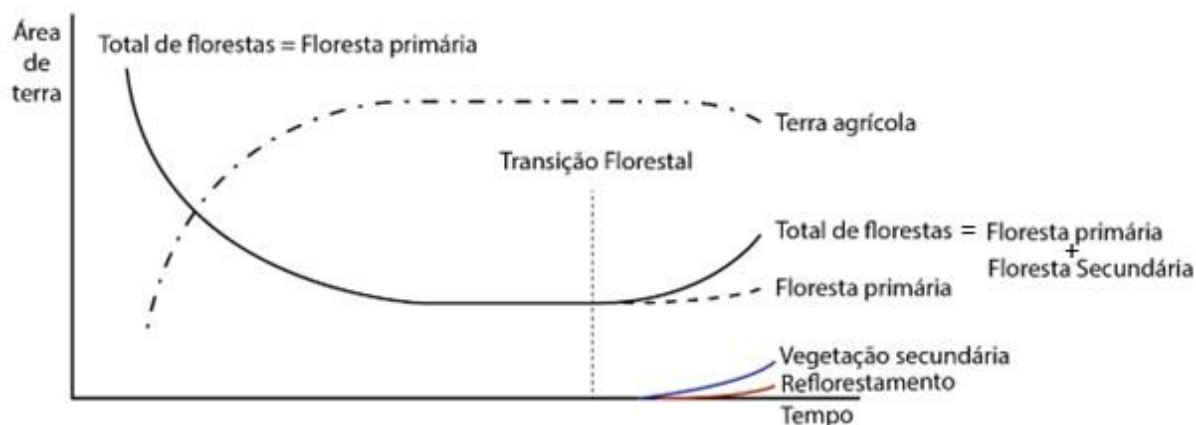
Um exemplo de fator que provoca aumento no desmatamento e o adiamento da transição florestal é a presença de infraestruturas de transporte. A construção de estradas permite um menor custo de transporte para as regiões e diminui conseqüentemente o custo de conversão das áreas florestais para terras agrícolas. (WEINHOLD E REIS, 2008)

Por outro lado, algumas políticas podem ser efetivas para reduzir o desmatamento e acelerar o processo de transição. A restrição de crédito rural para áreas fora da legislação ambiental desincentiva o desmatamento ilegal e aumenta o custo de oportunidade da conversão florestal para área agrícola (ASSUNÇÃO et al 2015).

O uso do solo durante o período de transição florestal é dinâmico, podendo ser dividido em duas principais fases: a primeira fase é referente a diminuição da cobertura florestal, estando ligada a transição do uso de terra. Esta parte está caracterizada pela conversão de áreas de floresta primária para o uso na agricultura e agropecuária. Assim, a expansão de áreas de pastagem e a demanda por alimentos e *commodities* causariam uma pressão ambiental sobre as áreas de florestas, ocasionando uma expansão da área agrícola e um declínio da área florestal (BARBIER et al., 2010).

A segunda fase é referente a recuperação da área florestal. Nela, o processo de desenvolvimento do país levaria ao aumento na demanda por madeira e por serviços ambientalmente positivos, ocasionando a ascensão da área de florestas através de florestas secundárias e a diminuição do espaço agrícola, estabilizando a cobertura florestal. Ainda, ocorre também a regeneração de áreas previamente desmatadas de forma natural (BARBIER et al., 2010).

Figura 4. Mudanças no uso da terra durante a transição florestal.



Fonte: Baseado em Barbier et al (2010)

3.4 PERDAS OCULTAS

O surgimento de novas florestas e o aumento líquido na cobertura vegetal representam indicadores quantitativos relacionados a área florestal. É necessário atentar-se não somente a quantidade de florestas existentes, mas também a qualidade destas.

O período de transição florestal pode ocorrer em conjunto com perdas na biodiversidade, extinção de espécie e alterações na qualidade das florestas. O desmatamento de florestas mais antigas impacta diversas espécies de seres vivos que requerem um habitat mais maduro para sobrevivência e não conseguem se adaptar nas florestas secundárias, jovens, que surgem em seu lugar. A capacidade de absorção de gás carbônico também é inferior em florestas secundárias quando comparado com as florestas primárias. (ROSA et al, 2021)

As florestas jovens nem sempre surgem de forma uniforme ou semelhante as florestas primárias. A fragmentação de florestas também facilita a invasão de espécies exóticas que podem prejudicar o a fauna e a flora original das florestas (ROSA et al, 2021). Os novos padrões de distribuição ou isolamento das árvores e florestas geram alterações nos habitats presentes nas matas e causam impactos sobre a biodiversidade do local. (GIBSON et al, 2011).

Conforme evidenciado por Ellwanger et al (2020), o desmatamento promove diversas mudanças no clima, hábitat e distribuição de matas na região amazônica, fatores que podem causar impactos na saúde da população e contribuir para a disseminação agentes infecciosos e animais para localidades próximas aos seres humanos. A recuperação e o reflorestamento de áreas degradadas é uma forma de aliviar essas mudanças, todavia, além de não ser tão eficiente quanto a conservação das florestas originais (ELLWANGER et al, 2020), o reflorestamento

requer grande organização e planejamento para ser executado de forma eficiente e sem impactos indesejados no meio ambiente (BUSTAMANTE et al, 2019).

4 METODOLOGIA

4.1 MODELOS ECONOMÉTRICOS

Utilizando os dados selecionados, aplicar-se-á um modelo econométrico utilizando o método de dados em painel para testar a hipótese proposta pelo estudo, buscando investigar o fenômeno relacionando-o às diferentes variáveis analisadas. Este modelo permite observar dados empilhados com observações de séries temporais (anos analisados no modelo) e de seção cruzada (municípios) (GUJARATI; PORTER, 2011). As vantagens na utilização deste modelo incluem a maior precisão na estimativa devido a maior quantidade de observação causada pela combinação entre o tempo de cada indivíduo e a possibilidade de identificar mudanças estruturais na relação entre a variável dependente e as explicativas (MARQUES, 2010).

A forma matricial da equação utilizada neste trabalho pode ser representada de acordo com a expressão (1) (GUJARATI; PORTER, 2011).

$$F_{it} = \alpha_i + x'_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Em que i representa os municípios da Amazônia Legal; t representa os anos do período temporal analisado; α_i são os efeitos particulares de cada município, constante ao longo do tempo; β é o vetor linha dos parâmetros das variáveis; x'_{it} é o vetor coluna das variáveis do município i no ano t ; ε_{it} é o erro da regressão; e F é o total de áreas florestais no município i e ano t . Os efeitos α_i descrevem um conjunto de variáveis individuais e estruturais de cada município que não variam ao longo do tempo. Estes podem ser fatores climáticos, do mercado consumidor, condições ambientais, entre outros. Assim, os modelos² representados pelas expressões (2) e (3) são analisados.

$$F_{it} = \alpha_i + \beta_1\gamma_{it} + \beta_2\gamma_{it}^2 + \beta_3D_{it} + \beta_4M_{it} + \beta_5A_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$F_{it} = \alpha_i + \beta_1\gamma_{it} + \beta_2D_{it} + \beta_3M + \beta_4A_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Na qual γ_{it} corresponde ao PIB *per capita* no município i e ano t ; D_{it} é a densidade demográfica no município i e ano t ; e M é o valor da multa por área desmatada no município i no ano t . Nesse caso, para se encontrar a curva convexa semelhante a TTF, deve-se obter na equação (2) $\beta_1 < 0$ e $\beta_2 > 0$, indicando assim retornos decrescentes para a variável no início que, após um ponto ótimo, tornam-se crescentes.

² Os modelos apresentados neste trabalho são baseados naqueles elaborados por Saraiva, 2017.

No modelo de efeitos fixos, o intercepto (α_i) varia para cada município e permanece constante ao longo do tempo, para isso pressupõe-se que ele esteja correlacionado com as variáveis explicativas. O modelo de efeitos aleatórios pressupõe que a heterogeneidade de cada município (α_i) não esteja correlacionada com as variáveis explicativas, assumindo então que ela esteja distribuída aleatoriamente entre os municípios (GUJARATI; PORTER, 2011).

O teste de Hausman (1978) permite escolher entre o modelo de efeitos fixos e o modelo de efeitos aleatórios. A rejeição da hipótese nula no teste indica que os interceptos estão provavelmente correlacionados com um ou mais regressores, demonstrando que o modelo de efeitos fixos é preferível (GUJARATI; PORTER, 2011).

O teste de Breusch-Pagan (Breusch e Pagan, 1979) indica se é preferível utilizar o modelo de regressão com dados empilhados (*pooled*) em detrimento do modelo de efeitos aleatórios. A rejeição da hipótese nula do teste indica que é preferível utilizar o modelo de efeitos aleatórios (GUJARATI; PORTER, 2011).

O teste de Chow (1960) compara se há igualdade nas inclinações e nos interceptos para todos os modelos, caracterizando o modelo de dados empilhados (*pooled*). A rejeição da hipótese nula do teste indica a preferência pelo modelo de efeitos fixos em detrimento do modelo de dados empilhados (GUJARATI; PORTER, 2011).

4.2 MODELO EMPÍRICO

O modelo empírico do trabalho foi estruturado com a utilização da proporção de floresta em relação a área municipal como variável dependente. A variável servirá para indicar a evolução da cobertura florestal ao longo dos anos em análise. Utilizou-se dados do período de 2005 até 2020.

A teoria da transição florestal propõe a mudança da cobertura florestal de acordo com o desenvolvimento econômico e com o valor relativo do uso da terra entre a floresta e atividades agrícolas. As mudanças de longo prazo que ocorrem nas florestas do país são advindas do valor de preservação das florestas em relação ao valor de áreas agrícolas. O desenvolvimento da sociedade pode causar diferentes impactos no preço dos produtos florestais dependendo de seu estágio. No início do desenvolvimento econômico de uma nação, o aumento da demanda por comida gera um maior valor relativo ao solo agrícola, que é utilizado para produzir estes alimentos, em relação ao solo utilizado para madeira e florestas. Todavia, a escassez de produtos florestais e a excessiva conversão agrícola podem fazer com que o valor das terras florestais ultrapasse o valor da terra agrícola. (BARBIER et al, 2010).

Para o modelo empírico foram selecionadas variáveis explicativas relacionadas a fatores socioeconômicos, demográficos e de políticas públicas. As variáveis foram: PIB *per capita*, valor adicionado agropecuário (proporção), população e valor médio de multas ambientais.

Como fatores socioeconômicos, o PIB *per capita* busca entender como o desenvolvimento econômico geral da região impacta na cobertura florestal, enquanto a proporção do valor adicionado agropecuário em relação ao valor adicionado total busca apontar os efeitos do setor agrícola em específico sobre as florestas.

O fator demográfico, representado pela população, busca explorar os impactos da densidade demográfica sobre as florestas. Por fim, o valor médio de multas ambientais busca analisar a eficiência desta política pública na preservação e recuperação ambiental das florestas.

De modo semelhante a curva ambiental de Kuznets, a TTF pode apresentar pontos ótimos em relação ao desenvolvimento econômico, alterando assim o formato da curva. Assim, a curva pode ser semelhante a um “U”, com um ponto ótimo no qual o desenvolvimento passa a positivamente relacionado a proporção florestal, e com o formato semelhante a um “N” invertido, no qual existem dois pontos ótimos e a curva passa, no segundo ponto, a apresentar novamente uma relação negativamente relacionada entre o desenvolvimento e a proporção florestal (BERGH, 1998). O trabalho irá, devido às limitações temporais, testar somente a hipótese da curva em formato de “U”.

4.3 DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS E FONTE DOS DADOS

As variáveis utilizadas no trabalho foram selecionadas para explicar diferentes efeitos sobre a cobertura florestal. Assim, buscou-se detectar fatores socioeconômicos, demográficos, de uso de terra e de políticas públicas. Algumas variáveis foram apresentadas em forma de logaritmo natural para amenizar possíveis distorções causadas pela magnitude dos dados.

Para a variável dependente, foi utilizada a variável de proporção de floresta, que representa a área florestal em relação a área total do município. Para tal utilizaram-se valores divulgados pelo INPE através do Programa de Monitoramento da Amazônia e demais biomas (PRODES). Dentre os municípios da Amazônia Legal, o projeto mapeou e categorizou as informações de 760 municípios devido as limitações de tamanho para classificação via satélite. Assim, a proporção de área de floresta corresponde a toda área florestal remanescente no município sobre a área total do município, conforme a expressão (4).

$$\text{Proporção de área florestal} = \frac{\text{Área florestal remanescente do município}}{\text{Área total do município}} \quad (4)$$

A variável densidade demográfica refere-se à população residente sobre a área dos municípios de cada ano. Para os anos de 2007 e 2010 utilizou-se os valores de população fornecidos pelo Censo Demográfico enquanto nos demais anos utilizou-se a estimativa da população residente dos municípios realizada pelo IBGE. Os valores estão disponíveis no Sistema IBGE de recuperação automática (SIDRA).

A variável é representada pela expressão (5).

$$\text{Densidade demográfica} = \frac{\text{População residente}}{\text{Área total do município}} \quad (5)$$

O produto Interno Bruto *per capita* de cada município foi utilizado em sua forma linear e elevada à segunda potência para testar a relação da variável e o formato da curva da TTF. Os dados foram obtidos do IBGE através do SIDRA e corrigidos pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade interna (IGP-DI) de forma a atualizar os valores para os preços de 2020.

A variável se refere a divisão do PIB do município por sua população e é expressa em mil reais. A variável segue a forma de logaritmo natural e é representada de acordo com a expressão (6).

$$\ln \text{ PIB per capita} = \ln \left(\frac{\text{PIB}}{\text{População}} \right) \quad (6)$$

O PIB agropecuário (proporção) é obtido dividindo o valor adicionado bruto da agropecuária de cada município pelo seu valor adicionado bruto total. Ambos os dados foram obtidos através do SIDRA e a variável é representada pela expressão (7).

$$\text{Proporção de PIB agropecuário} = \frac{\text{Valor adicionado bruto agropecuário}}{\text{Valor adicionado bruto total}} \quad (7)$$

Por fim, o valor médio de multas foi calculado dividindo-se o valor total de multas quitadas e baixadas de cada município pela sua área desmatada no ano. Os valores das multas foram obtidos através do IBAMA e corrigidos pelo IDP-DI de forma a atualizá-los para preços de 2020. Os dados referentes a área de desmatamento foram obtidos através do PRODES. Utilizou-se a forma de logaritmo natural para a variável e a adicionou-se o valor um para as variáveis que podem assumir valor zero. A expressão (8) representa os valores utilizados no estudo para esta variável.

$$\ln \text{ valor médio de multas} = \ln \frac{(1+\text{valor das multas})}{(1+\text{área de desmatamento})} \quad (8)$$

5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os principais resultados do trabalho. Assim, primeiro busca-se realizar uma análise descritiva exploratória das variáveis utilizadas para a elaboração do modelo. Então, discutir-se-á os resultados dos modelos econométricos suas implicações empíricas.

5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

A análise descritiva dos utilizados para a elaboração do modelo econométrico está apresentada a seguir (Tabela 2). A análise contempla a média municipal dos dados utilizados para os anos de 2005 a 2020, tendo sido excluídos os municípios que não apresentaram cobertura florestal em determinado ano.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas das variáveis do modelo econométrico

Variável	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo
Proporção de floresta	0,2675	0,2895	1,0820	0,0000	0,9908
Proporção PIB Agrícola	0,2602	0,1578	0,6065	0,0008	0,8856
ln PIB per capita	2,6759	0,6827	0,2551	1,1107	6,3820
ln Densidade Demográfica	1,7658	1,4630	0,8285	-3,2414	7,9707
ln valor médio de multa	0,1430	3,3854	23,6809	-6,7782	18,1439

Fonte: Resultados da pesquisa.

Á proporção de floresta nos municípios representa em média, 26,75% da área total da Amazônia legal. A distribuição se encontra de forma desigual entre os estados, sendo concentrada principalmente nos estados do Amazonas e do Acre

As variáveis socioeconômicas são representadas pela proporção do PIB agrícola e pelo PIB *per capita*. O PIB agrícola representa, em média, 26% do valor adicionado da região. O PIB *per capita* médio dos municípios foi de R\$19,32 mil anuais.

A densidade demográfica média foi de 24,54 por km² de território da Amazônia Legal. O Valor médio das multas por km² desmatado dentro da Amazônia legal foi de R\$20,531 mil.

5.2 MODELOS ECONOMÉTRICOS

Antes de iniciar a estimação do modelo, foi realizado o teste de Hausman (1978), o teste de Breusch e Pagan (1979) e o teste de Chow (1960) para decidir pelo método de estimação mais adequado. A estatística do teste de Breusch e Pagan (1979) foi de 388 com *p-valor* de 0,00, indicando que é preferível utilizar o modelo de efeitos aleatórios em detrimento do modelo de dados empilhados. O teste de Chow (1960) apresentou estatística de 210,25 e *p-valor* de

0,00, indicando preferência pelo modelo de efeitos fixos em detrimento do modelo de dados empilhados. Por fim, o teste de Hausmann (1978) apresentou qui-quadrado de 74,43 e *p-valor* de 0,00, indicando a preferência pelo modelo de efeitos fixos.

A tabela 3 apresenta os resultados com os regressores determinantes para proporção de área florestal e está dividida de acordo com dois modelos: o modelo (1) representa a proporção de área florestal com a variável *ln PIB per capita* em sua forma linear e elevada ao quadrado; o modelo (2) apresenta somente a variável em sua forma linear. A tabela está dividida em colunas, indicando os coeficientes e os *p-valores* obtidos para os modelos em dados empilhados, efeitos fixos e efeitos aleatórios.

Dentre os modelos de efeitos fixos estimados, o modelo (1) apresentou o Critério de Informação Bayesiano (BIC) com valor de -21631,7 e o Critério de Informação de Akaike (AIC) de -2.811216, enquanto o modelo (2) apresentou BIC de -21621.3 e AIC de -2.812255.

Tabela 3 – Regressores para proporção de cobertura florestal.

Regressores	Modelo (1)			Modelo (2)		
	pooled	Efeito Fixos	Efeitos Aleatórios	pooled	Efeito Fixos	Efeitos Aleatórios
Constante	0,9216 *** (0,00)	-	0,5061 *** (0,00)	0,7727 *** (0,00)	-	0,4424 *** (0,00)
<i>ln PIB per capita</i>	-0,1610 *** (0,00)	-0,0475 *** (0,00)	-0,0487 *** (0,00)	-0,0575 *** (0,00)	-0,0034 (0,19)	-0,00379 (0,14)
$(\ln \text{ PIB per capita})^2$	0,0173 *** (0,00)	0,0074 *** (0,00)	0,0075 *** (0,00)	-	-	-
Proporção PIB Agrícola	-0,4667 *** (0,00)	-0,0987 *** (0,00)	-0,1115 *** (0,00)	-0,4571 *** (0,00)	-0,0988 *** (0,00)	-0,1114 *** (0,00)
<i>ln</i> Valor médio de multas	0,0049 *** (0,00)	-0,0009 *** (0,00)	-0,0009 *** (0,00)	0,0047 *** (0,00)	-0,0010 *** (0,00)	-0,0010 *** (0,00)
<i>ln</i> Densidade demográfica	-0,1083 *** (0,00)	-0,0403 *** (0,00)	-0,0571 *** (0,00)	-0,1072 *** (0,00)	-0,0395 *** (0,00)	-0,0565 *** (0,00)
R ²	0,26099	0,018	0,028	0,2592	0,017	0,026

Nota: *** significativo a 1%; ** significativo a 5%; * significativo a 10%.

Fonte: Resultados da pesquisa.

O PIB *per capita* em sua forma linear apresentou relação negativa com a proporção de cobertura florestal para todos os modelos, demonstrando que à medida que este cresce, a cobertura florestal tende a diminuir. No modelo (2), o regressor para o PIB *per capita*

em sua forma linear não se demonstrou estatisticamente significativo. A Sua forma quadrada se demonstrou estatisticamente significante e positivamente relacionada no modelo (1).

A proporção do PIB agrícola em relação ao PIB total dos municípios apresentou-se negativamente relacionado com a proporção de cobertura florestal nos municípios, ou seja, quanto maior a proporção do PIB agrícola de um município, menor será a cobertura florestal em relação a área total deste. Assim, para o modelo (1) com efeitos fixos, um aumento de 1% na proporção do PIB agrícola em relação ao PIB total provoca uma diminuição, em média, de 0,0987 na proporção da cobertura florestal.

Para os modelos de efeitos fixos e efeitos aleatórios, o regressor do valor médio de multas por km² desmatado no município demonstrou-se estatisticamente significante e negativamente relacionado com a proporção florestal.

A relação encontrada entre a densidade demográfica e a cobertura florestal demonstrou-se negativamente relacionada para todos os modelos. No modelo (1) com efeitos fixos, um aumento de 1% na densidade demográfica resulta, em média, em uma redução de 0,0403 na proporção florestal do município.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os testes de Haumann (1978), Chow (1960) e Breusch e Pagan (1979) demonstraram a preferência pelo modelo de efeitos fixos em detrimento dos modelos de efeitos aleatórios ou de dados empilhados (*pooled*). O modelo (1), que conta com a variável PIB *per capita* em sua forma linear e sua forma elevada à segunda potência, e o modelo (2), que conta somente com a variável em sua forma linear, demonstraram critérios de informação e R^2 muito semelhantes. Todavia, no modelo (2) a variável PIB *per capita* não se demonstrou estatisticamente significativa.

As relações encontradas para as duas formas utilizadas do PIB *per capita* demonstram que inicialmente a variável tende a reduzir a cobertura florestal da região. Essa relação se inverte a partir de um determinado nível, no qual o PIB *per capita* começa a aumentar a cobertura florestal do local. Esse comportamento é indicativo de que, conforme ocorre o desenvolvimento econômico de uma nação ao longo do tempo, a curva de transição florestal da Amazônia Legal tenha formato de “U”, conforme proposto pela TTF.

Para o modelo (1) de efeitos fixos o nível de renda no qual o PIB *per capita* começa a influenciar positivamente a proporção florestal nos municípios é de aproximadamente R\$ 24,532 mil. Assim, em 2020, dos 760 municípios analisados para a Amazônia Legal, 221 se encontram após esse ponto de transição, com influências positivas do PIB *per capita* sob a proporção florestal.

A proporção do PIB agrícola em relação ao PIB total se demonstrou negativamente relacionada a cobertura florestal. Segundo Pfaff e Walker (2010), esse possível *trade-off* entre a atividade agrícola e a cobertura florestal requer uma análise cuidadosa. Os fatores que ocasionaram o aumento do PIB e desta proporção precisam ser levados em consideração.

Inovações tecnológicas que aumentam a produtividade por área de solo utilizada para fins agrícolas podem beneficiar a transição florestal, pois permitem que ocorra um aumento da produção (e conseqüentemente PIB agropecuário) sem que haja conversão de terras florestais. Todavia, caso o aumento do PIB agropecuário e da produção sejam resultados de uma abordagem arcaica, que se utiliza somente da expansão de fronteiras agrícolas devida com a conversão de terras florestais, ocorre uma intensificação do desmatamento e diminuição da cobertura florestal.

O valor das multas apresentou-se negativamente relacionado a cobertura florestal. Desta forma, pode-se inferir que o valor das multas não é suficiente para aumentar a proporção florestal dos municípios, ademais, é evidente que municípios que tenham maiores taxas de desmatamento possuam conseqüentemente mais multas. Os estudos de Silva et al (2020)

demonstraram resultados semelhantes para essa variável aos encontrados na relação entre infrações e desmatamento.

Como explicado por Barbier et al (2010), o aumento da população de uma região tende a aumentar a pressão ambiental devido a demanda por alimentos e commodities, resultando em uma conversão do solo florestal para solo de agropecuária. Esta conversão tende a permanecer até os benefícios da manutenção do solo florestal se igualem ou superarem os benefícios da conversão do solo.

Em síntese, o desenvolvimento econômico da Amazônia Legal é determinante na manutenção da cobertura florestal na região. As autuações ambientais empregadas não se demonstraram capazes de aumentar a cobertura florestal da região. De modo semelhante, a pressão ocasionada pela população e pelo setor agrícola tende a diminuir a cobertura florestal devido aos valores relativos do uso do solo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região da Amazônia Legal apresenta não somente grande importância para o equilíbrio ambiental mundial, mas também uma complexa relação com seus determinantes de desmatamento e cobertura florestal. As formas de controle empregadas para a conservação das florestas incluem a criação de políticas públicas, acordos com o setor privado e fiscalização para as ações ambientais na região. A implementação da região política da Amazonia Legal e do PPCDam causaram drásticos efeitos na conservação florestal ambiental da região, todavia ainda se observa crescentes taxas de desmatamento nos últimos anos.

A teoria da transição florestal é um processo dinâmico de longo prazo, no qual o declínio da área florestal é substituído por sua regeneração. Isso está relacionado a fenômenos de tomada de decisão em relação ao valor de uso relativo do solo, buscando-se uma alocação ótima. A tomada de decisão em relação ao uso da terra pode sofrer alterações de acordo com políticas, falhas de mercados e outros fatores, o que pode levar a uma diminuição excessiva nas áreas florestais e atrasar a transição florestal.

O estudo utilizou-se do modelo de dados em painel para verificar os principais determinantes para a proporção florestal na região, utilizando diferentes dados para analisar os fenômenos que podem levar a transição florestal.

Assim, verificou-se que os determinantes da proporção de florestas incluem o PIB *per capita*, densidade demográfica, a proporção do PIB agrícola e o valor médio de multas. Os determinantes demonstram que os indicadores socioeconômicos têm diferentes impactos na cobertura florestal da região. De modo geral, os resultados obtidos indicam que, ao longo do

tempo, é possível obter aumentos na cobertura florestal em conjunto com os indicadores socioeconômicos.

A região não demonstrou ganhos líquidos constantes de cobertura florestal, assim, estando localizada na fase II da curva de transição florestal, pois apesar da certa estabilização da cobertura florestal nos últimos anos, as taxas de desmatamento continuam elevadas e em crescimento.

Com isso, deve-se levar em consideração que a cobertura florestal utilizada no desenvolvimento do trabalho não faz distinção entre florestas primárias e florestas secundárias. O reflorestamento no bioma se dá principalmente através do incremento de florestas secundárias, o que ocasiona uma preocupante perda de complexidade e biodiversidade da fauna e flora do local.

A divulgação dos dados pelo TerraClass referentes ao uso do solo na região da Amazônia Legal estão paralisados até o momento. A retomada da publicação desses dados pode permitir uma análise mais aprofundada quanto as classes uso do solo e da proporção de florestas secundárias na região. Ademais, uma análise com um período temporal maior pode fornecer mais detalhes quanto ao formato da curva e do comportamento das variáveis ao longo do tempo, uma vez que o processo da TTF é dinâmico e ocorre à longo prazo.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. P. D.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S. **Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity.** *Ecological Modelling*, v. 209, n. 2-4, p. 169–188, dez. 2007.
- ANGELSEN, A. **Forest Cover Change in Space and Time:** Combining the Von Thunen and Forest Transition Theories. Washington, World Bank Policy Research Working Paper 4117. 2007.
- ASSUNÇÃO, J. et al. **Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: prices or policies?.** *Environment and Development Economics*, v. 20, n. 6, p. 697–722, 2015.
- BARBIER, E. B.; BURGESS, J. C. **The Economics of Tropical Forest Land Use Options.** *Land Economics*, v. 73, n. 2, p. 174, 1997.
- BARBIER, E. B.; DELACOTE, P.; WOLFERSBERGER, J. **The economic analysis of the forest transition: A review.** *Journal of Forest Economics*, v. 27, p. 10–17, abr. 2017.
- BARBIER, E.B.; BURGESS, J.C.; GRAINGER, A. **The forest transition: towards a more comprehensive theoretical framework.** *Land Use Policy*, v. 27, n. 2, p. 98–107, 2010
- BRASIL. **Lei Complementar nº 124, de 3 de janeiro de 2007.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp124.htm#:~:text=DA%20SUDAM-,Art.,ao%20Ministério%20da%20Integração%20Nacional. Acesso em: 01 de mar. 2023.
- BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. A Simple Test for Heteroskedasticity and Random Coefficient Variation. *Econometrica*. P. 1287–1294, 1979
- BRUYN, S.M; van den BERGH, Jeroen; OPSCHOOR, J.B. **Economic Growth and Emissions:** Reconsidering the Empirical Basis of Environmental Kuznets Curves. *Ecological Economics*. 1998
- BUSTAMANTE, M. M. C. et al. **Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change:** lessons and challenges from Brazil. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 24, n. 7, p. 1249–1270, 2019.

CALABONI, A. **Transição Florestal no estado de São Paulo, Brasil: fatores associados ao desmatamento e recuperação das matas nativas**. 2017. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.

ELLWANGER, J. H. et al. **Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 92, n. 1, 2020.

GIBBS, H.K.; RAUSCH, L.; MUNGER, J.; SCHELLY, I.; MORTON, D.C.; NOOJIPADY, P.; SOARES-FILHO, B.; BARRETO, P.; MICOL, L.; WALKER, N.F. **Brazil's Soy Moratorium**. *Science*, v. 347, n. 6220, 2015.

GIBSON, L. *et al.* **Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity**. *Nature*, v. 478, 2011. p. 378–381

GRAINGER, A. **Difficulties in tracking the long-term global trend in tropical forest area**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 105, n. 2, p. 818–823, 9 jan. 2008.

GROSSMAN, G.; KRUEGER, A. **Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement**. Cambridge, 1991.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 924 p.

MARQUES, L. D. **Modelos Dinâmicos com Dados em Painel: revisão de literatura**. 2010

Hausman, J.A. **Specification Tests in Econometrics**, *Econometrica*, 1251–1271, 1978

HOLTZ-EAKIN, D.; SELDEN, T. M. **Stoking the fires? CO2 emissions and economic growth**. *Journal of public economics*, 57(1), 1995. p. 85-101.

HYDE, W. **The Global Economics of Forestry**. Nova York, RFF Press, 2012. p. 13–93.

IBAMA. **Multas e Autuações**. Disponível em: <https://servicos.ibama.gov.br/ctf/publico/areasembargadas/ConsultaPublicaAreasEmbargadas.php>. Acesso em: 1 mar. 2023.

IBGE - **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>. Acesso em: 5 jan. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Amazônia Legal**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e> Acesso em: dez. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: dez. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Coordenação-Geral de Observação da Terra (DETER)**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/deter/deter>. Acesso em: dez. 2023.

KUZNETS, S. **ECONOMIC GROWTH AND INEQUALITY**. v. 45, n.1, 1955.

MATHER, A. S. The Forest Transition. *Area*, v. 24, n. 4, p. 367–379, 1992.

MATHER, A. S.; NEEDLE. C. L. **The forest transition: a theoretical basis**. *Area*, v. 30, n. 2, 1998. p. 117–124.

MEYFROIDT, P.; LAMBIN, E. F. **Land use Transition: socio-ecological feedback versus socio-economic change**. *Land Use Policy*, 27, 2010. p. 108-118

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br>. Acesso em: dez. 2022.

OMETTO, J. P. et al. A. **Amazon deforestation in Brazil: effects, drivers and challenges**. *Carbon Management*, v. 2, n. 5, p. 575–585, out. 2011.

PANAYOTOU T. **Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development**. 1993. International Labour Office, Geneva.

PERZ, S. G.; SKOLE, D. L. **Secondary Forest Expansion in the Brazilian Amazon and the Refinement of Forest Transition Theory**. *Society & Natural Resources*, v. 16, n. 4, p. 277–294, abr. 2003.

PFAFF, A.; WALKER, R. **Regional interdependence and forest “transitions”**: Substitute deforestation limits the relevance of local reversals. *Land Use Policy*, v. 27, n. 2, p. 119–129, 2010.

PRODES. **Coordenação-Geral de Observação da Terra**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 04 mar 2023.

ROSA, M. R. *et al.* **Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs**. *Science Advances*, v. 7, n. 4, 2021.

RUDEL, T. K. *et al.* **Forest Transition: towards a global understanding of land use change**. *Global Environmental Change*, 15, 2005. p. 23-31.

SARAIVA, M. B. *et al.* **Forest regeneration in the Brazilian Amazon: Public policies and economic conditions**. *Journal of Cleaner Production*, v. 269, 1 out. 2020.

SARAIVA, Márcio Balduino. **Transição florestal no bioma Amazônia: dinâmica e condicionantes socioeconômicos**. 2017. 80f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

SCHMALENSEE, R.; STOKER, T. M.; JUDSON, R. A. **World carbon dioxide emissions: 1950–2050**. *Review of Economics and Statistics*, 80(1), 1998. p. 15-27.

SILVA I. A. C. *et al.* **DETERMINANTES DO DESMATAMENTO NOS MUNICÍPIOS DA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA: UMA ANÁLISE ECONOMÉTRICA ESPACIAL**. 2020.

SUDAM - **Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM)**. Disponível em: <https://www.gov.br/sudam/pt-br>. Acesso em: dez. 2023.

SULLIVAN, A. O. **Urban economics**. 3. ed. Homewood: Irwin, 1996. p. 191–232

TERRABRASILIS. **Geographic Data Platform**. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>. Acesso em: jan. 2023.

TERRACLASS. **INPE/Centro Regional da Amazônia de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php. Acesso em jan. 2023.

WEINHOLD, D.; REIS, E. **Transportation costs and the spatial distribution of land use in the Brazilian Amazon**. *Global Environmental Change*, v. 18, n. 1, p. 54–68, 2008.