



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SOCIEDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SOCIEDADE

MATHEUS GAMA DE ALMEIDA

**CRESCIMENTO ECONÔMICO E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO PARÁ À LUZ
DA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL ENTRE OS ANOS DE 2002 A 2018**

SANTARÉM -PARÁ
2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

A447c Almeida, Matheus Gama de
Crescimento econômico e degradação ambiental no Pará à luz da Curva de Kuznets Ambiental entre os anos 2002 a 2018 / Matheus Gama de Almeida – Santarém, 2022.
83 p. : il.
Inclui bibliografias.

Orientador: João Roberto Pinto Feitosa
Coorientador: Abner Vilhena de Carvalho
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, Instituto de Ciências da Sociedade, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Sociedade.

1. Curva de Kuznets Ambiental. 2. Crescimento econômico. 3. Degradação Ambiental. 4. Emissão de CO². 5. Desmatamento. I. Feitosa, João Roberto Pinto, *orient.* II. Carvalho, Abner Vilhena de, *coorient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 333.7098115

Bibliotecária-Documentalista: Mary Caroline Santos Ribeiro CRB2/566



Universidade Federal do Oeste do Pará
Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação Tecnológica
Instituto de Ciências da Sociedade
Programa de Pós-graduação em Ciências da Sociedade
Mestrado Acadêmico em Ciências da Sociedade



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ao trigésimo primeiro dia do mês de maio do ano de dois mil e vinte de dois, às 9h, no campus Tapajós sala 210B, instalou-se a banca examinadora de dissertação de mestrado do aluno **Matheus Gama de Almeida**. A banca examinadora foi composta pelos professores Dr. Abner Vilhena de Carvalho, Coorientador-UFOPA, examinador interno, Dr. Jarsen Luiz Castro Guimarães-UFOPA, Dr. Claudir Oliveira-UFOPA, examinador externo, e João Roberto Pinto Feitosa, UFOPA, **orientador**. Deu-se início a abertura dos trabalhos, por parte do(a) Orientador(a), que, após apresentar os membros da banca examinadora e esclarecer a tramitação da defesa, passou de imediato ao mestrando para que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada “**Crescimento Econômico e Degradação Ambiental no Pará à Luz da Curva de Kuznets Ambiental entre os anos de 2002 a 2018**”, marcando um tempo de 30 minutos para a apresentação. Concluída a exposição, o Prof. João Roberto Feitosa, presidente, passou a palavra aos examinadores, para argüirem o candidato. Após as considerações sobre o trabalho em julgamento, **foi Aprovado a dissertação do Matheus Gama de Almeida**, conforme as normas vigentes na Universidade Federal do Oeste do Pará. A versão final da dissertação deverá ser concluída no prazo de trinta dias, contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante na folha de correção anexa, sob pena de o candidato não obter o título se não cumprir as exigências acima. Para efeito legal segue a presente ata assinada pelo professore orientador, e pelos professores avaliadores e pelo mestrando.

Prof. Dr. João Roberto P. Feitosa

Orientador

Prof. Dr. Abner Vilhena de Carvalho

Coorientador

Prof. Dr. Jarsen Luis Castro Guimarães

Examinador interno

Prof. Dr. Claudir Oliveira

Examinador externo

Matheus Gama de Almeida

Mestrando



Emitido em 31/05/2021

CERTIDÃO OU ATA DE DEFESA Nº 7/2021 - ICS (11.01.08)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 02/06/2022 11:07)

ABNER VILHENA DE CARVALHO

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

ICS (11.01.08)

Matrícula: ###066#6

(Assinado digitalmente em 02/06/2022 16:10)

CLAUDIR OLIVEIRA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

ICED (11.01.07)

Matrícula: ###356#5

(Assinado digitalmente em 02/06/2022 10:59)

JARSEN LUIS CASTRO GUIMARAES

DIRETOR - TITULAR

ICS (11.01.08)

Matrícula: ###905#5

(Assinado digitalmente em 02/06/2022 11:08)

JOAO ROBERTO PINTO FEITOSA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

CMNPEF (11.01.07.13.01)

Matrícula: ###500#4

(Assinado digitalmente em 02/06/2022 11:00)

MATHEUS GAMA DE ALMEIDA

DISCENTE

Matrícula: 2019#####4

Visualize o documento original em <https://sipac.ufopa.edu.br/documentos/> informando seu número: **7**, ano: **2021**, tipo: **CERTIDÃO OU ATA DE DEFESA**, data de emissão: **02/06/2022** e o código de verificação: **0a20dc3220**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Paulo e Maria José, por todo amor e dedicação oferecidos ao longo de todos esses anos, por não medirem esforços para me apoiar e terem sido meu suporte em um dos momentos mais desafiadores da minha vida.

As minhas queridas irmãs, Maria Luise e Paula, por me aturarem todos os dias e por todo companheirismo.

Ao meu mestre da vida, Dr. Daisaku Ikeda, pelas suas preciosas orientações que me fizeram acreditar no infinito potencial que a minha vida possui e que me trouxe até aqui.

Ao meu amado avô materno, Zé, “In Memoriam”, a minha avó materna, Iraneide, ao meu avô paterno, Paulo, por todo carinho e apoio oferecido num momento fundamental da minha vida.

Aos meus companheiros de prática da fé Caelen, Daiyuki, Milton, Paulo e Josefa, pelo carinho e incentivos oferecidos.

Aos meus amigos Fernanda, Brenda, Amanda, Adriane, Carol, Camila, Élton e Andressa por estarem ao meu lado, me ouvirem e me acolherem quando ficava um pouco mais difícil.

Aos meus amigos de classe por terem sido os melhores companheiros de turma.

Ao meu orientador, João Feitosa, e ao co-orientador, Abner Carvalho, por todo incentivo e apoio na realização dessa dissertação.

RESUMO

O aumento da degradação ambiental ocasionada pelo crescimento econômico se tornou o cerne de muitos debates na história recente. Em 1991, os economistas Grossman e Krueger propuseram que a relação existente entre essas duas variáveis geraria, por si só, uma melhoria ao meio ambiente, ocasionando uma curva no formato de “U” invertido, conhecida como Curva Kuznets Ambiental (CKA). Neste ensejo, o objetivo geral deste trabalho delimitou-se em analisar se uma relação no formato proposto pelos autores existe entre o crescimento econômico e a degradação ambiental para o estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018. Para se atingir tal objetivo, foram desenvolvidos dois modelos por meio da técnica de dados em painel, empregando estimações por Mínimos Quadrados Ordinários para o modelo de efeitos fixos em ambos os casos. O modelo 1 utilizou como variável dependente a emissão de CO₂ e o modelo 2 o desmatamento, e, nos dois modelos, o PIB *per capita* foi a variável independente. Destaca-se que foram testadas a hipótese da CKA em seus formatos quadrático (“U” ou “U” invertido) e cúbico (“N” ou “N” invertido). Os resultados encontrados no primeiro modelo descartam a possibilidade da relação entre a emissão de CO₂ e o PIB *per capita* ser cúbica entre os anos de 2002 e 2018 no estado do Pará, indicando a existência de uma curva quadrática com a concavidade virada para cima. Em outras palavras, apesar de ter se observado inicialmente uma redução na emissão de CO₂, ela voltaria a crescer após a curva chegar ao seu ponto de mínimo, nesse caso, igual a R\$ 15.531,70. No segundo modelo, o formato cúbico também não foi significativo, evidenciando, para a relação desmatamento e PIB *per capita*, uma CKA como na proposta original, em forma de “U” invertido. Assim, embora no início tenha havido um aumento no desmatamento provocado pelo crescimento da renda, ao se atingir o ponto de máximo da curva, igual a R\$ 12.415,44, esse mesmo movimento do crescimento econômico estaria proporcionando uma redução no processo de desmatamento no recorte temporal adotado no estudo. Nesse sentido, os resultados não nos dão evidências para inferir acerca da existência da CKA, pelo menos não no seu formato original, para o estado do Pará entre os anos de 2002 e 2018.

Palavras-chave: Curva de Kuznets Ambiental. Crescimento Econômico. Degradação Ambiental. Emissão de CO₂. Desmatamento.

ABSTRACT

The increase in environmental degradation caused by economic growth has become the focus of many debates in recent history. In 1991, the economists Grossman and Krueger proposed that the relationship between these two variables would generate, by itself, an improvement to the environment, causing an inverted "U" shaped curve, known as the Environmental Kuznets Curve (EKC). In this context, the general objective of this study was to analyze whether there is a relationship in the format proposed by the authors between economic growth and environmental degradation for the state of Pará between the years 2002 and 2018. To achieve this objective, two models were developed using the panel data technique, employing Ordinary Least Squares estimations for the fixed effects model in both cases. Model 1 used CO₂ emission as the dependent variable and model 2 used deforestation, and, in both models, the GDP *per capita* was the independent variable. It is noteworthy that the EKC hypothesis in its quadratic ("U" or inverted "U") and cubic ("N" or inverted "N") formats were tested. The results found in the first model rule out the possibility of the relationship between CO₂ emission and GDP *per capita* being cubic between the years 2002 and 2018 in the state of Pará, indicating the existence of a quadratic curve with the concavity turned upward. In other words, although a reduction in CO₂ emissions was initially observed, it would grow again after the curve reached its minimum point, in this case equal to R\$ 15.531,70. In the second model, the cubic format was not significant either, showing, for the deforestation and GDP *per capita* relationship, a EKC as in the original proposal, in the form of an inverted "U". Thus, although at the beginning there was an increase in deforestation caused by the growth in income, when the maximum point of the curve was reached, equal to R\$ 12.415,44, this same movement of economic growth would be providing a reduction in the process of deforestation in the time frame adopted in the study. In this sense, the results do not give us evidence to infer about the existence of the EKC, at least not in its original format, for the state of Pará between the years 2002 and 2018.

Keywords: Environmental Kuznets Curve. Economic Growth. Environmental degradation. CO₂ emissions. Deforestation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de Kuznets.....	19
Figura 2 - Curva de Kuznets Ambiental.....	22
Figura 3 - Possíveis formatos da Curva de Kuznets Ambiental.....	47
Figura 4 - <i>Box Plot</i> da Emissão de CO ₂ (t) nos municípios do estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018.....	50
Figura 5 - <i>Box Plot</i> do Total Desmatado Anualmente (Km ²) nos municípios do estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018.....	54
Figura 6 - <i>Box Plot</i> do PIB <i>per capita</i> (reais) nos municípios do estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018.....	57
Figura 7 - Curva de Kuznets Ambiental nos municípios do estado do Pará entre 2002 e 2018: Emissão de CO ₂ x PIB <i>per capita</i>	61
Figura 8 - Curva de Kuznets Ambiental nos municípios do estado do Pará entre 2002 e 2018: Desmatamento x PIB <i>per capita</i>	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição das variáveis das empregadas.....	38
Quadro 2 - Resultados da Função Estimada na Regressão da CKA.....	46
Quadro 3 - Modelo 1: testes para escolha do modelo em painel.....	58
Quadro 4 - Modelo 2: testes para escolha do modelo em painel.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva da emissão de CO ₂ (t) nos municípios do estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018.....	49
Tabela 2 - Estatística descritiva do Total Desmatado Anualmente (Km ²) nos municípios do estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018.....	52
Tabela 3 - Estatística descritiva do PIB <i>per capita</i> (reais) dos municípios do estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018.....	55
Tabela 4 - Resultado da regressão para o Modelo 1 de efeitos fixos.....	59
Tabela 5 - Resultado da regressão para o Modelo 1.1 de efeitos fixos.....	59
Tabela 6 - Testes ajustes para o Modelo 1.1.....	60
Tabela 7 - Resultado da regressão para o Modelo 2 de efeitos fixos.....	63
Tabela 8 - Resultado da regressão para o Modelo 2.1 de efeitos fixos.....	64
Tabela 9 - Testes ajustes para o Modelo 2.1.....	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

AP	reas Protegidas
ARDL	Autoregressive Distributed Lag
CKA	Curva de Kuznets Ambiental
EA	Efeitos Aleatórios
EF	Efeitos Fixos
GEE	Gases do Efeito Estufa
GEMS	Global Environmental Monitoring System
Imazon	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
M1	Modelo 1
M2	Modelo 2
NAFTA	North American Free Trade Agreement
Prodes	Programa de Avaliação do Desflorestamento na Amazônia Legal
SAD	Sistema de Alerta de Desmatamento
SDO	Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio
Seeg	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases do Efeito Estufa do Observatório do Clima
Ufopa	Universidade Federal do Oeste do Pará

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL: CRESCIMENTO ECONÔMICO E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL	18
2.1 Referencial teórico	18
2.1.1 Curva de Kuznets	18
2.1.2 Curva de Kuznets Ambiental	20
2.2 Revisão de literatura	25
2.2.1 Renda x Emissão de Gases do Efeito Estufa	26
2.2.2 Renda x Desmatamento	32
3 METODOLOGIA	36
3.1 Área de estudo	36
3.2 Base de dados	37
3.3 Estimação via dados em painel	40
3.4 Modelo econométrico	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1 Análise descritiva	48
4.2 Aplicação do modelo econométrico	57
4.2.1 Modelo 1: Emissão de CO ₂ e PIB <i>per capita</i>	57
4.2.2 Modelo 2: Desmatamento e PIB <i>per capita</i>	62
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS	72
APÊNDICE	78

1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas a humanidade vem acompanhando um grande progresso em diversos âmbitos, proporcionado em grande parte pelos avanços tecnológicos. No campo econômico, não foi diferente. Grandes corporações nasceram; assim como foram desenvolvidas novas atividades econômicas e comerciais; surgiram e foram aprimorados alguns bens e serviços; além de vários outros acontecimentos. No entanto, ao mesmo tempo que essas mudanças vieram acontecendo, a degradação do meio ambiente também cresceu a passos largos.

Apesar de esse tema ter ganhado relevância a partir da segunda metade do século passado, precisamos voltar um pouco mais no tempo até ao que talvez tenha sido o pontapé inicial para todas essas transformações nas relações sociais e nas bases técnicas - a Revolução Industrial. A partir dela, constatamos elementos marcantes de alteração profunda na vida dos homens entre si e com o meio ambiente, mas, principalmente, que os problemas ambientais globais emergiram em função dos padrões industriais vigentes (FRANCO; DRUCK, 1998).

Naturalmente, a interligação dessas duas esferas foi inevitável, visto que a matéria-prima presente nos processos industriais advém da natureza e esses, por sua vez, são responsáveis pela maior parte das emissões de gases do efeito estufa. Assim, o aumento da degradação ambiental provocada pelo crescimento econômico se tornou o cerne de muitos debates, inclusive dos economistas Grossman e Krueger (1991). Os quais propuseram que a relação entre a degradação do meio ambiente e o crescimento econômico gera por si só uma qualidade de vida ambiental depois que se atinge um determinado ponto de inflexão.

Em outras palavras, os autores acreditavam que os níveis de poluição aumentariam durante o período inicial do crescimento econômico dos países, porém cairiam gradualmente à medida que eles fossem se tornando mais ricos, o que seria representado por uma curva no formato de “U” invertido. Essa relação ficou conhecida como Curva de Kuznets Ambiental, nome este derivado do estudo seminal de Simon Kuznets (1955) - o qual relacionou a desigualdade de renda e o crescimento econômico.

No presente estudo, o foco será o da curva que abarca a perspectiva ambiental e o recorte geográfico será o estado do Pará. A razão dessas escolhas encontra-se

no fato desse estado concentrar vários tipos de vegetação, ter uma rede hidrográfica dividida em múltiplas bacias e estarem sendo realizadas um leque variado atividades econômicas nessa região. Além disso, conforme o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases do Efeito Estufa do Observatório do Clima - Seeg (2021), o estado, que faz parte da Amazônia Legal, está sempre entre as unidades federativas que mais desmatam e emitem gases do efeito estufa no Brasil.

De acordo com o Seeg (2021), o Brasil lançou na atmosfera 2,17 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2e}) em 2019, enquanto o PIB nacional no mesmo ano subiu apenas 1,1%. Isso indica que as emissões no país, ao contrário da maioria dos grandes países, estão desconectadas do crescimento econômico. E o estado do Pará contribuiu com 18,4% do total dessas emissões, sendo o estado que lidera o *ranking* dos mais emissores e os setores responsáveis por esse volume de emissões são, em ordem decrescente: mudança de uso da terra, agropecuária e a energia.

Segundo o Fonseca *et al.* (2021), o Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) detectou 276 quilômetros quadrados de desmatamento na Amazônia Legal em dezembro de 2020, um aumento de 10% em relação ao mesmo período do ano anterior. Dentre o total desmatado, 46% ocorreu no Pará, sendo o estado com maior área desmatada. Além disso, dentre os 10 municípios críticos que mais desmataram na Amazônia Legal, 7 são do Pará. O estado também apresenta o maior número de Área Protegidas (AP), no ranking de Ameaça e Pressão¹ por desmatamento segundo dados de novembro de 2020 a janeiro de 2021 (IMAZON, 2021).

Diante do exposto, busca-se, neste trabalho, responder o seguinte questionamento: com as especificidades que o estado apresenta, como o crescimento econômico se relacionou com a degradação ambiental entre os anos de 2002 a 2018?

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho circunscreve-se em analisar se uma relação na forma de “U” invertido existe entre o crescimento econômico e a degradação ambiental para o estado do Pará no período compreendido entre 2002 e 2018.

Por sua vez, os objetivos específicos delimitam-se em: modelar uma CKA para o Pará utilizando como *proxies* para o crescimento econômico e a degradação ambiental, respectivamente, a renda *per capita* e a emissão de CO₂, para os anos de

¹ O Imazon (2021) aponta como ameaça o risco iminente de acontecer desmatamento no interior de uma área protegida. E o termo pressão indica a ocorrência do desmatamento dentro da AP.

2002 a 2018; modelar uma CKA para o Pará usando a renda *per capita* e o desmatamento como *proxies* para o crescimento econômico e a degradação ambiental, respectivamente, também para os anos de 2002 a 2018; analisar o comportamento da degradação ambiental e do crescimento econômico no estado no recorte temporal proposto; e, por último, avaliar os formatos de ambas as CKA propostas.

Para se atingir tais objetivos, será inicialmente realizada a estatística descritiva para cada uma das três variáveis, apresentando a média, mediana, mínimo, máximo e o coeficiente de variação de cada uma delas, além de seus respectivos gráficos *Box Plot*, os quais são relevantes para avaliação da variabilidade das variáveis e as suas trajetórias.

Em seguida, serão realizados dois modelos distintos, conforme especificado acima. Será aplicada uma técnica de regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para um dos seguintes modelos: *pooled*, efeitos aleatórios (EA) e efeitos fixos (EF). A seleção dos modelos mais apropriados para dados em painel será por meio dos testes de Chow, Breusch-Pagan e Hausman. Serão empregadas como *proxies* a emissão de CO₂ e o desmatamento como variáveis dependentes de cada um dos modelos e o PIB *per capita* como independente nos dois.

Por fim, serão descritos os modelos e apresentadas as curvas de Kuznets ambiental para ambos a fim de indicar o formato que cada uma possui em razão das diferentes variáveis adotadas. Destaca-se que o estudo será realizado para 143 municípios paraenses, ficando de fora apenas o município de Mojuí dos Campos, o qual não possui dados para os 17 anos englobados pelo estudo, em função de sua criação ter se dado dentro desse intervalo temporal.

Para realizar as estimações dos modelos de regressão será utilizado o software *Gretl* (acrônimo para *GNU Regression, Econometrics and Time-series Library*). O qual, conforme Andrade (2013), é um pacote estatístico livre e multiplataforma desenvolvido, principalmente, para ser usado em pesquisas do campo econométrico. Ademais, ele possui uma interface intuitiva e amigável, permitindo a aplicação de uma vasta gama de técnicas econométricas de uma maneira relativamente simples, ele também possibilita realizar estimações das seguintes classes de modelos: séries temporais, variáveis instrumentais, outros modelos lineares, modelos não-lineares, estimações robustas e sistemas de equações simultâneas.

Ressalta-se que a utilização de dois modelos econométricos para analisar a relação entre a degradação ambiental e o crescimento econômico é essencial, pois possibilitará uma avaliação entre os resultados encontrados separadamente. Além disso, será também um produto novo entre os trabalhos acerca da CKA para a região, visto que a maioria dos trabalhos utilizam apenas o desmatamento como *proxy* da degradação ambiental em função da disponibilidade dos dados.

O presente trabalho, além de trazer essa *proxy* representando a variável ambiental, também apresenta a emissão de CO₂, o que concede ao estudo um ar de inovador. Ademais, essa diferenciação decorre da divergência na natureza das variáveis e por uma ser uma parte do processo de degradação do meio ambiente (desmatamento) e a outra ser a consolidação desse (emissão de gases do efeito estufa).

Assim, os resultados do estudo darão umaluz sobre como o crescimento econômico e a degradação do meio ambiente vieram se relacionando no Pará ao longo dos 17 anos que o estudo abarca, bem como será possível avaliar o avanço de cada uma das variáveis (desmatamento, emissão de CO₂ e PIB *per capita*). Essa avaliação é substancial para entender se a dinâmica de crescimento econômico do estado vem promovendo a melhora ou não na qualidade de vida ambiental - como exposta pela hipótese da CKA.

Nesse sentido, a discussão da Curva de Kuznets Ambiental no contexto paraense é relevante, pois, a partir dos desdobramentos de estudos como esse, pode-se decidir acerca da necessidade ou não da criação ou fortalecimento de políticas públicas para a região, instigando o debate sobre o papel desempenhado pelo Estado. Além do mais, o estudo permitirá aperceber de maneira mais concreta a relação entre as duas variáveis e poderá ser um embasamento para a elaboração de políticas que sejam eficientes e eficazes para a região.

Além deste capítulo introdutório, o trabalho está dividido em mais quatro capítulos, sendo o segundo de cunho teórico-revisionista, o terceiro metodológico, o quarto empírico e o quinto conclusivo. O segundo capítulo consiste em uma revisão da literatura acerca da hipótese da CKA, explorando desde os estudos iniciais - que conceberam o conceito -, até os desdobramentos mais contemporâneos. O terceiro capítulo refere-se aos aspectos metodológicos, trazendo consigo algumas considerações a respeito do estado do Pará, apresentando brevemente dados geográficos, econômicos e populacionais. Ademais, abarca a base de dados e a

análise econométrica que será utilizada para alcançar o anseio primordial da pesquisa. O penúltimo capítulo traz os resultados encontrados com os modelos e as discussões. E, por fim, o quinto, as considerações finais que encerram o trabalho.

2 CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL: CRESCIMENTO ECONÔMICO E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

Este capítulo é dedicado ao estado da arte da Curva de Kuznets Ambiental, o qual permitirá a compreensão do tema. Nesse sentido, o capítulo apresentará brevemente os aspectos teóricos da Curva de Kuznets (1955) que precedeu e deu origem à Curva de Kuznets Ambiental (1991), a qual fundamentará as discussões no presente estudo. Em seguida, serão revisados os trabalhos empíricos já realizados sobre a hipótese da CKA em vários recortes espaço-temporais, utilizando diferentes métodos.

Ressalta-se que, por fins metodológicos e para subsidiar as discussões que se realizarão, serão separados em dois grupos os estudos da revisão de literatura, fazendo diferença entre os que utilizaram a emissão de gases do efeito estufa como *proxy* da degradação ambiental e os que usaram o desmatamento. Essa divisão se dá em função, primeiramente, da natureza divergente das variáveis e, segundo, por uma delas ser uma parte do processo de degradação do meio ambiente (desmatamento) e a outra ser a materialização desse (emissão de gases do efeito estufa).

2.1 Referencial teórico

2.1.1 Curva de Kuznets

A relação entre distribuição de renda e desenvolvimento econômico vem sendo pesquisada há mais de meio século e a origem desse interesse é o estudo seminal de Simon Kuznets. Essa discussão se iniciou com a realização do discurso de Kuznets, em sua posse presidencial na Associação Econômica Americana, em dezembro de 1954. Em março do ano seguinte, o discurso foi adaptado e publicado como artigo, intitulado “*Economic Growth and Income Inequality*”.

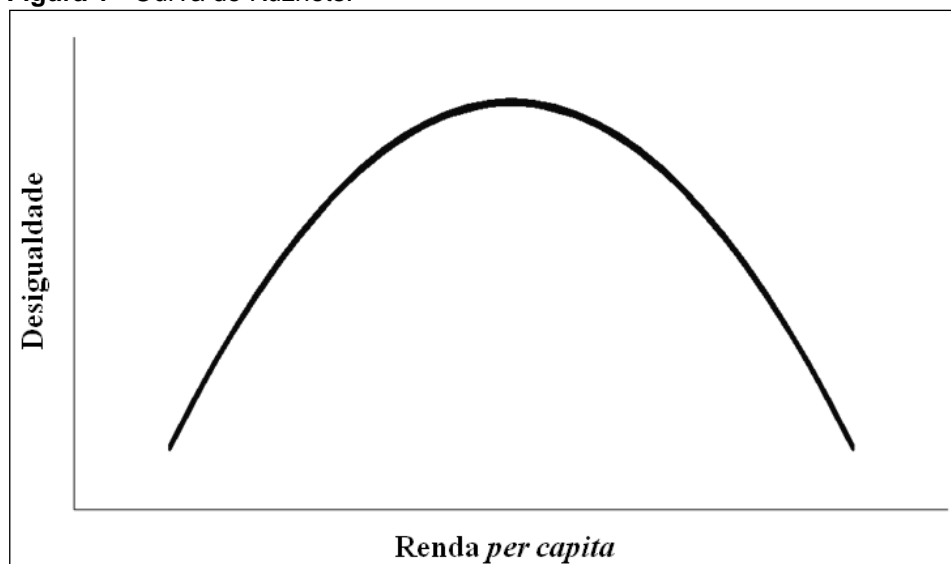
Nesse, o tema principal era a análise das causas das mudanças de longo prazo na distribuição individual da renda, utilizando dados dos Estados Unidos, Inglaterra e Alemanha - países que já eram industrializados. Kuznets guiou sua pesquisa a partir do seguinte questionamento: a desigualdade na distribuição da renda aumenta ou

diminui no decorrer do processo de crescimento econômico de um país? (KUZNETS, 1955, p. 1, tradução nossa).

Isto é, seu interesse era aperceber a desigualdade de renda nos distintos estágios do desenvolvimento econômico e quais seriam os fatores que determinariam o nível secular e as tendências das desigualdades de renda. Ele expôs ainda a dificuldade em abordar esse campo de estudo por conta da falta de definição e uma escassez incomum de dados.

Kuznets afirmou que a relação entre crescimento econômico e desigualdade de renda provocaria uma curva no formato de “U” invertido. Assim, essa relação seria crescente nos estágios iniciais da acumulação de capital, mas a partir de determinado patamar, tornar-se-ia decrescente. Em outras palavras, à medida que o crescimento econômico seguisse sua trajetória ascendente, a desigualdade de renda assumiria um curso descendente. Algum tempo depois, essa relação ficou conhecida como curva de Kuznets, fazendo referência ao nome do seu precursor. A Figura 1 ilustra essa relação.

Figura 1 - Curva de Kuznets.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Conforme Rosa (2016), o modelo proposto por Kuznets considerava uma economia de dois setores: agrícola (com produtividade e rendimentos baixos) e industrial (com produtividade e rendimentos altos). A curva de Kuznets seria fruto dessa diferença entre os rendimentos dos dois setores e essas dessemelhanças

provocariam a migração da mão de obra e de recursos da agricultura para o setor industrial e áreas urbanas.

Barbosa *et al.* (2017) expõem que essa atração de migrantes do modo rural para o urbano agravava a desigualdade de renda. Além do mais, ela cresceria de maneira mais rápida porque a produtividade no setor urbano aumentaria de maneira mais acelerada de que no setor rural. Isso explicaria uma maior desigualdade de renda no início e depois uma redução dessa conforme a economia assumisse uma trajetória ascendente.

Esse processo acontece por meio da uniformização gradual da produtividade da mão de obra migrante. Ademais, existem outros fatores que explicam a diminuição da concentração de renda na presença do crescimento, como o aumento da população mais pobre, a melhoria da eficiência e das habilidades dos indivíduos agora estabelecidos na área urbana e as decisões políticas provenientes das demandas por melhorias na distribuição de renda entre os mais pobres (ROSA, 2016).

A proposta de Simon Kuznets foi referência, anos mais tarde, para outros trabalhos com recortes espaciais e temporais diversos. Ela foi testada, confirmada e contestada, e não há como desconsiderar o mérito do trabalho. Além disso, em alguns estudos foi substituído o viés socioeconômico pela seara ambiental. Adaptação qual será adotada a partir daqui, pois sustentará as discussões no presente trabalho.

2.1.2 Curva de Kuznets Ambiental

Os debates acerca da questão ambiental fazem parte da história recente e são demarcadas por alguns acontecimentos. De acordo com Oliveira (2009), o primeiro marco seria o livro “Primavera Silenciosa” (1962), da bióloga Rachel Louise Carson, publicado nos Estados Unidos, que alertava sobre os efeitos do uso de pesticidas no sistema reprodutivo de pássaros. O segundo seria o relatório “Limites do Crescimento” (1972). Esse declarava que os níveis de industrialização deveriam ser mantidos juntamente com os níveis de poluição e exploração de recursos naturais correntes à época, de outro modo os recursos seriam esgotados e a única solução seria o crescimento zero, em prol da sobrevivência do planeta.

O marco seguinte seria a Conferência de Estocolmo (1972), que ocorreu na intenção de debater a relação do homem com o meio ambiente, além de discutir questões relativas ao marco anterior. A autora ressalta a participação ativa do Brasil,

o qual trazia a ideia de que a pobreza era degradadora dos recursos ambientais, opondo-se ao discurso de não-crescimento como solução (OLIVEIRA, 2009).

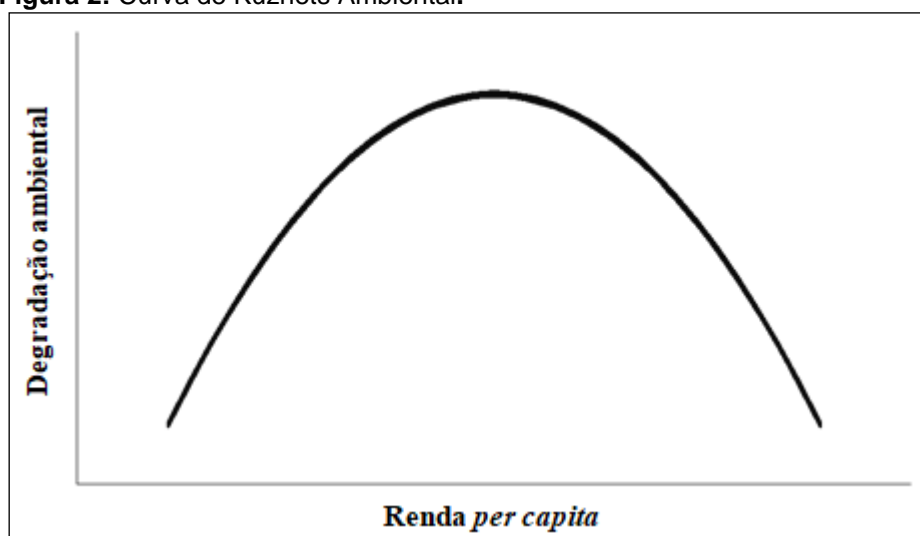
Consoante Oliveira (2009), o quarto marco seria o relatório “Nosso Futuro Comum” (1991), também conhecido como relatório de Brundtland. Esse defendia o crescimento econômico apoiado em práticas que conservassem e expandissem a base de recursos naturais a fim de atender as necessidades presentes sem comprometer as das gerações futuras -conceito de desenvolvimento sustentável. E por fim, o seria a Conferência Rio-92, na qual foi reafirmado o conceito emerso no marco anterior e foram produzidos muitos resultados positivos como: a Agenda 21, um acordo para negociar uma convenção mundial sobre a desertificação; e a declaração de Princípios para o Manejo Sustentável de Florestas, entre outros.

Conforme observado acima, a segunda metade do século XX é marcada pela preocupação com o meio ambiente, em virtude da sua degradação, fruto do uso exacerbado dos recursos naturais e de sua poluição. No entanto, com o progresso dos estudos alusivos ao crescimento econômico e o meio ambiente, surge uma nova concepção a respeito. Da qual, de acordo com ela, a riqueza de um país se harmonizaria de maneira sustentável com o meio ambiente.

Esse conceito surgiu no ano de 1991, quando Grossman e Krueger relacionaram o crescimento econômico com a degradação do meio ambiente, afirmando a existência de uma curva no formato de “U” invertido, a qual ficou conhecida como Curva de Kuznets Ambiental pela sua similaridade à curva obtida pelo economista Simon Kuznets em 1955 -que relacionou o crescimento econômico e a desigualdade de renda. Cabe destaque aos trabalhos seminais de Shafik e Bandyopadhyay (1992) e Panayotou (1993), nos quais foi levantada também a hipótese de uma relação não linear no formato de um “U” invertido entre a degradação ambiental e o nível de renda.

Stern (2004) conceitua a CKA como uma relação hipotética entre vários indicadores de degradação ambiental e renda *per capita*. A qual nos estágios iniciais do crescimento da economia, a degradação e a poluição irão aumentar, mas quando atingir um nível de renda *per capita* (que irá variar para os diferentes indicadores) a tendência se inverte, de modo que em níveis de renda elevados o crescimento econômico promove uma melhora ao meio ambiente, caracterizando uma curva no formato de “U” invertido, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2: Curva de Kuznets Ambiental.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

No entanto, quando um país extremamente pobre obtém um crescimento, a poluição no início cresce pelo fato de os aumentos na produção gerarem emissões de poluentes e porque o país, devido a sua pobreza, não tem como prioridade o controle da degradação do meio ambiente. A partir do momento que o país adquire um determinado grau de afluência, a promoção da qualidade de vida ambiental se torna prioridade. “Se esse efeito renda é forte o suficiente, causará o declínio da poluição” (CARVALHO; ALMEIDA, 2010, p. 589).

Nesse sentido, um dos aspectos mais relevantes no contexto da CKA são os mecanismos que explicam essa inversão da trajetória positivamente inclinada para uma negativamente inclinada, ou seja, esse “declínio da degradação”. Os pioneiros Grossman e Krueger (1991) explanam a inversão da curva pelos diferentes efeitos que o crescimento econômico gera no meio ambiente - efeito escala, efeito composição e efeito técnica.

Os autores explicam que é útil distinguir esses três mecanismos pelos quais uma mudança na política de comércio e de investimento estrangeiro pode afetar o nível de poluição e a taxa de esgotamento dos recursos ambientais. O primeiro deles é o efeito escala, que consiste em: quando há uma menor regulamentação do comércio e do investimento, ocorre uma expansão da atividade econômica, aumentando assim a quantidade total de poluição gerada. Por exemplo, na indústria de caminhões, a medida em que há uma expansão do comércio, há um aumento na demanda por serviços de transporte, sem que haja qualquer alteração nas práticas do transporte rodoviário, assim o aumento da atividade contribuirá para a deterioração

da qualidade do ar, devido ao aumento da queima de combustível fóssil (GROSSMAN; KRUEGER, 1991).

O segundo é o efeito composição, o qual significa que quando há uma menor regulamentação do comércio, os países se especializam mais nos setores em que gozam de vantagem competitiva e se essa deriva em grande parte de diferenças na regulamentação ambiental, então o efeito composição da regulamentação comercial mais frouxa será prejudicial ao meio ambiente. Nesse sentido, cada país tenderá a se especializar mais nas atividades em que seu governo não regula fortemente. Por outro lado, se as fontes de vantagem comparativa internacionais são mais tradicionais, apresentam diferenças no volume de fatores de produção e tecnologia, então as implicações do efeito composição sobre o meio ambiente são ambíguas, pois a flexibilização do comércio levará cada país a transferir recursos para os setores em que são feitos o uso intensivo de seus fatores de produção e o efeito disso sobre o nível de poluição vai depender se atividades mais poluentes expandem ou contraem no país em que o controle da poluição é mais rigoroso.

Por fim, o efeito técnica consiste em quando não é mais necessário produzir com os mesmos métodos de uma regulamentação menos rígida tanto do comércio quanto dos investimentos estrangeiros. Nesse caso, existem pelo menos duas razões para acreditar que a poluição pode cair, especialmente em um país menos desenvolvido. Primeiro, os produtores estrangeiros não transferem tecnologias modernas para uma economia em que são relaxadas as restrições ao investimento externo, pois reflete uma falta preocupação com as questões ambientais. Segundo, e talvez mais importante, se o afrouxamento da regulamentação do comércio gerar um aumento nos níveis de renda, então o corpo político pode exigir um ambiente mais limpo como uma expressão de aumento da riqueza nacional. Assim, padrões de poluição mais rigorosos e a aplicação mais estrita das leis existentes podem ser uma resposta política natural ao crescimento econômico (GROSSMAN; KRUEGER, 1991).

Assim, quando se analisa a CKA a partir desses três efeitos, observa-se que a relação entre renda e degradação ambiental é explicada pelo fato do efeito escala superar os demais, o que acontece nas primeiras fases do crescimento de um país. A relação inversa entre renda e degradação é explicada pela prevalência dos efeitos composição e técnica sobre o efeito escala - o último é, possivelmente, o mais relevante - e ele ocorre no caso de países mais avançados. Ou seja, o impacto negativo do efeito escala tende a prevalecer nos estágios iniciais do crescimento

econômico, sendo, posteriormente, compensado ao longo do processo de desenvolvimento do país pelos outros dois efeitos, os quais tendem a reduzir os níveis da degradação do meio ambiente (ÁVILA; DINIZ, 2015).

Outros autores explicam que existem alguns fatores que podem explicar a trajetória da curva, a partir de uma eventual desaceleração da poluição, são eles: (I) elasticidade-renda positiva para a qualidade do meio ambiente - à medida que a renda aumenta as pessoas prezam mais pela proteção ambiental; (II) mudanças na composição da produção e do consumo; (III) aumento dos níveis de educação e consciência ambiental; e (IV) sistemas políticos mais abertos. Ou seja, a trajetória de desenvolvimento da poluição tende a refletir as forças de mercado e as mudanças na regulamentação governamental (SELDEN; SONG, 1994).

Esses quatro fatores, que podem causar a desaceleração da poluição, fazem parte dos estágios de desenvolvimento (SHAFIK; BANDYOPADHYAY, 1992; SELDEN; SONG, 1994; GROSSMAN; KRUEGER, 1995). O qual, em seu estágio inicial, seria caracterizado pela mudança de uma economia do campo para uma industrializada, assim esse crescimento econômico imprimiria uma pressão cada vez maior sobre o meio ambiente, devido a criação e ampliação da atividade industrial. O segundo estágio seria marcado pelo amadurecimento da sociedade e também da infraestrutura industrial - o que, além de atender as necessidades básicas, impulsionaria setores menos intensivos em recursos e poluição. Por último, no estágio final do desenvolvimento, quando o crescimento econômico não mais afetasse de forma negativa o meio ambiente, haveria um deslocamento entre os ambos.

E, embora as discussões acerca dos mecanismos que explicam a trajetória da CKA sejam relevantes, o ponto principal por trás da hipótese é se seria possível que o crescimento econômico fosse compatível com a sustentabilidade ambiental ou, em outras palavras, se seria possível existir uma estratégia de desenvolvimento sustentável sem a necessidade de requerer drásticas mudanças na economia. Tendo sua validade comprovada não haveria necessidade de sacrificar o crescimento econômico em função de preocupações com o meio ambiente (CARVALHO, 2013).

Por esse motivo, inúmeros estudos foram realizados desde o seu surgimento, realizando uma ampla testagem da hipótese. Entretanto, os resultados obtidos foram diversos e ela é cercada de críticas. No estudo posterior ao que expuseram a sua hipótese inicial da CKA, Grossman e Krueger (1995) assumiram que nada garante que se dê sozinha a trajetória em “U” invertido. Os autores ressaltam que políticas

ambientais adequadas têm papel fundamental para que se alcance o ponto de inflexão na trajetória da degradação.

No ano seguinte, Stern, Common e Barbier (1996) examinaram criticamente a hipótese da curva a partir dos estudos realizados até então, argumentando que ela é sensível às variáveis e aos métodos escolhidos. O artigo identifica problemas metodológicos nas estimativas da CKA, pois os modelos usados na década de 1990 não consideravam variáveis e problemas econométricos importantes. Segundo Silva e Soares (2019), um exemplo dessa falha seria que a não inclusão na modelagem das variáveis que representam o comércio internacional e o consumo de energia pode causar enviesamento e inconsistência nas estimativas.

Anos mais tarde, Stern (2004) endossou sua crítica, afirmando que evidências mostravam que os países em desenvolvimento estavam abordando questões ambientais, às vezes adotando padrões de países desenvolvidos com um curto intervalo de tempo e às vezes tendo um desempenho melhor do que alguns países ricos, e que os resultados do CKA tinham uma base estatística muito fraca. O autor reforça que pode existir uma relação entre o crescimento econômico e a degradação ambiental na forma de “U” invertida entre alguns poluentes e a renda. No entanto, isso deve ser testado usando os novos modelos de decomposição e fronteira e dados de painel rigorosos e estatísticas de séries temporais.

As críticas, em sua maioria, consistem na parametrização do modelo, levantando um pressuposto do comportamento ambiental e da falta de análises de séries temporais. Outra questão forte é que a abordagem se reduz praticamente à forma reduzida, o que não permite estabelecer relações de causalidade, apenas correlações, ou seja, é possível apenas dizer que a renda assume um comportamento que se relaciona com a emissão de poluentes no formato da CKA. A solução seria um embasamento histórico sólido dos dados. Ademais, outra grande parte das críticas se dão em função do formato de “N” encontrado em alguns estudos para a relação renda-degradação, isto é, a degradação ambiental voltaria a crescer em níveis maiores da renda, não se sustentando no longo prazo (BRITO, 2012).

2.2 Revisão de literatura

A partir das discussões iniciadas em 1990, inúmeros trabalhos surgiram utilizando a proposta da CKA, aplicando a hipótese para outros países ou suas regiões

(GROSSMAN; KRUEGER, 1991; SHAFIK; BANDYOPADHYAY, 1992; PANAYOTOU, 1993; SELDEN; SONG, 1994). A maior parte das diferenças variam entre as metodologias adotadas, as técnicas econométricas, as *proxies* para degradação ambiental e os diversos recortes espaciais e temporais analisados.

Na presente revisão de literatura, serão divididos em dois grupos os estudos, fazendo diferença entre os que utilizaram a emissão de gases do efeito estufa como *proxy* da degradação ambiental e os que usaram o desmatamento. Essa divisão se dá em função: (a) da natureza divergente das variáveis; e (b) por uma delas ser uma parte do processo de degradação do meio ambiente (desmatamento) e a outra ser a materialização desse (emissão de gases do efeito estufa).

2.2.1 Renda x Emissão de Gases do Efeito Estufa

Em seu estudo seminal, Grossman e Krueger (1991) mostraram os efeitos da diminuição das barreiras comerciais sobre a degradação ambiental, de maneira que os impactos da regulação da *North American Free Trade Agreement* (NAFTA) para os Estados Unidos e Canadá incidiriam em um aumento da especialização em atividades intensivas em capital humano e físico e na geração de “tecnologias limpas”. Em síntese, o benefício líquido em nível global ocasionaria uma massiva movimentação das atividades econômicas “mais sujas” para lugares de produção altamente regulamentados (ROCHA; KHAN; LIMA, 2013).

Eles estimaram uma curva a partir do dióxido de enxofre (SO₂), da fumaça negra e de partículas suspensas usando dados do *Global Environmental Monitoring System* (GEMS) para várias cidades de 42 países. Para isso, consideraram as variáveis em nível e outros termos que mensuravam aspectos de localidade, densidade populacional e comércio internacional, além das variáveis renda e seus respectivos termos ao quadrado e ao cubo. O ponto de inflexão da curva encontrado pelos autores foi quando a renda atingiu algo em torno de US\$ 5.000 para os poluentes. Ademais, no caso do material particulado suspenso no ar esse valor seria ainda menor. Contudo, os autores verificaram que quando os níveis de renda alcançavam entre US\$ 10.000 e US\$ 15.000, os níveis de poluentes voltavam a subir (CASTRO, 2017).

No ano seguinte, o estudo realizado por Shafik e Bandyopadhyay (1992) ampliou o tamanho da amostra, abrangendo 149 países, do ano de 1960 a 1990.

Dados esses que levaram os autores à conclusão de que quando começaram a serem alcançados os níveis de renda de \$3.000,00 - \$4.000,00, os níveis de concentração de dióxido de enxofre e de outros poluentes tenderam a cair. Os autores afirmam que a evidência sugeriu que é possível superar os problemas ambientais, porém não haveria nada de automático nas políticas; e investimentos deveriam ser feitos para reduzir a degradação ambiental.

Nas estimativas realizadas por Selden e Song (1994), seu modelo contou com uma amostra de 30 países, englobando os anos de 1973 a 1984. Além disso, o método utilizado foi o de dados em painel para quatro tipos de poluentes atmosféricos, são eles: dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NO_x) e partículas suspensas no ar (SPM). Os autores encontraram suporte substancial para a hipótese da CKA no formato de “U” invertido, fornecendo assim uma confirmação independente de achados anteriores. Eles ressaltaram que os *turning points* em seu estudo são maiores que dos anteriores, como pode ser observado em suas tabelas - \$8.709 para SO₂; \$5.963 para CO; \$11.217 para NO_x; e, \$10.289 para SPM.

No âmbito nacional das pesquisas sobre a CKA, os autores Fonseca e Ribeiro (2004) estão entre os pioneiros. Em seu trabalho, eles utilizaram a variável “percentual de áreas estaduais preservadas” dos 26 estados brasileiros e o Distrito Federal, o logaritmo da renda *per capita*, o logaritmo da escolaridade média, uma *proxy* para participação social (aqui percentual de votos brancos e nulos) e o índice de Gini; para os anos de 1985, 1990, 1995 e 2000. Os coeficientes foram significativos como esperados, indicando uma Curva Ambiental de Kuznets. Entretanto, os autores alertam que não podemos “relacionar tal resultado a algum ‘automatismo’, ou entender o processo de evolução da qualidade ambiental como um resultado direto do crescimento da economia” (p. 15). Eles ainda destacaram em suas considerações finais que apesar da renda influenciar na mudança de atitude das pessoas, seriam necessárias outras ações para melhorar a qualidade de vida ambiental.

Utilizando um recorte temporal maior, Lucena (2005) empregou em seu artigo o método de séries temporais para analisar o Brasil de 1970 a 2003. A partir dos resultados encontrados, o autor afirmou que a CKA para o país era inconclusiva, pois, no caso do CO₂, as evidências apontaram para uma reta positivamente inclinada, embora tenha ressaltado que é importante não descartar a possibilidade de que o país estivesse na parte ascendente da curva para essa variável. No caso do consumo energético *per capita*, ainda que as evidências mostrassem que o país estava

seguindo na direção prevista pela hipótese da CKA, haveriam diversos fatores de incerteza que impediriam realizar inferências sobre o comportamento futuro da relação investigada.

O artigo de Arraes, Diniz e Diniz (2006) se diferencia dos demais por ter trazido uma contribuição relacionada à explicação dos fatores que estão envolvidos com o desenvolvimento econômico. Nesse sentido, a partir de dados de vários países, nos anos de 1980, 1985, 1990, 1995 e 2000, os autores verificaram que as variáveis que indicam o desenvolvimento sustentável possuíam uma relação pequena com o PIB *per capita* dos países para gerar uma curva no formato proposto pela teoria. Entretanto, o “U” invertido seria descrito somente para as variáveis CO₂ e taxa de mortalidade no modelo “*cross section*” e CO₂ no modelo com dados em painel. As outras variáveis escolhidas tomaram outros formatos, que não o de “U” invertido, demonstrando um comportamento que sugere que os déficits diminuiriam com a renda até certo nível, para então crescer, ou senão, apresentar um movimento periódico. Assim, não estaria havendo convergência das economias dos países em direção ao desenvolvimento sustentável.

A fim de investigar acerca da existência da CKA global e se o Protocolo de Kyoto, como política global, influenciou no seu formato, Carvalho (2008) utilizou uma amostra de 167 países, entre 2000-2004, com um modelo de efeitos fixos com dependência espacial. Destaca-se que foi acrescentada uma variável *dummy* representando os países que aderiram ao Protocolo, assim como também foram adicionadas as variáveis: nível do comércio, consumo de energia e densidade populacional. Os resultados apontaram uma curva no formato de “N”, tendo assim dois pontos de inflexão: US\$ 12.262,44 e 27.083,33. A autora ressalta que 80% da amostra não possuía renda acima do ponto de inflexão calculado, demonstrando que a maioria dos países ainda estaria na parte ascendente da curva, indicando o grande impacto que o CO₂ provoca a nível global e que há pouco incentivo para as nações terem atitudes unilaterais para reduzir o nível das emissões.

Outro resultado importante encontrado pela autora foi o coeficiente negativo e significativo estatisticamente para a variável *dummy*. Esse resultado demonstrou a grande importância dos acordos entre as nações para se reduzir as emissões de gases do efeito estufa, ou seja, o crescimento econômico por si só não extinguiria a necessidade de políticas mitigadoras das emissões. Ademais, as evidências da existência da CKA global seriam muito fracas, o que indicaria que dificilmente os

países iriam conseguir atingir a parte descendente da curva. Ou seja, seria necessário que os países tivessem um compromisso com a redução dos gases do efeito estufa para que os acordos internacionais sejam eficazes (CARVALHO, 2008).

O estudo de Jalil e Mahmud (2009) testou a curva de Kuznets ambiental para a China no período de 1971–2005, empregando dados de séries temporais. A hipótese CKA foi examinada sob a estrutura *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) com a emissão *per capita* de dióxido de carbono (CO₂) como um indicador das condições ambientais. Os resultados empíricos sugeriram a existência da CKA para emissão de CO₂ e também indicaram que o consumo de energia é outro determinante significativo da emissão de CO₂. Os autores afirmaram que o fato de os resultados empíricos encontrarem evidências significativas para a existência da CKA foi encorajador, pois mostrou que o 11^o quinquênio da China, que objetivava reduzir as emissões de CO₂, teve algum impacto no controle da degradação ambiental. No entanto, eles alertam que esses resultados foram baseados em dados agregados e devem ser interpretados com alguma cautela, pois existem diferenças significativas nos padrões de crescimento das províncias chinesas.

Para analisar a relação entre a renda e as emissões de CO₂ com uma amostra de 187 países para o ano de 2004, Carvalho e Almeida (2010) regrediram a variável dependente contra o PIB *per capita*, o PIB *per capita* ao quadrado, as exportações *per capita*, o consumo de energia *per capita* e uma *dummy* para indicar os países que ratificaram o Protocolo de Kyoto - como a autora havia feito em estudo anterior (ver CARVALHO, 2008). Os resultados indicaram que a poluição seguiu a trajetória proposta pela teoria, entretanto quando os autores adicionaram ao modelo uma forma cúbica do PIB *per capita* constataram que o aumento contínuo da renda não garantiu uma melhora automática ao meio ambiente, o que sugeriu a necessidade da formulação de políticas públicas e acordos internacionais para auxiliarem nessa melhoria.

Além do mais, assim como em dois anos antes (CARVALHO, 2008), nesse estudo o coeficiente encontrado foi altamente significativo da variável *dummy*, sugerindo mais uma vez que aqueles países que ratificaram o Protocolo de Kyoto reduziram suas emissões de CO₂. Em função do formato da curva ser “N”, os autores chamam atenção para a importância de políticas públicas para mitigar a emissão de CO₂, pois em níveis altos da renda as emissões voltaram a crescer. Ademais, seria necessário que cada país se comprometesse a reduzir suas emissões conforme sua

participação no total delas. E o ideal seria que os países que não ratificaram o Protocolo de Kyoto o fizessem, pois isso poderia ter um impacto positivo na “redução das emissões de CO₂ e sobre o combate ao aquecimento global” (CARVALHO; ALMEIDA, 2010, p. 611).

No âmbito nacional, entre os trabalhos com recorte temporal mais abrangente - 1980-2006 - estão Cunha e Scalco (2013), que objetivavam estudar a relação entre crescimento econômico e emissão de CO₂, procedida do consumo de derivados do petróleo. Apesar de não ter sido possível estimar a CKA, os autores estimaram um modelo VEC e, a partir da elasticidade encontrada, pôde-se inferir que a elevação de 1% no PIB, aumentaria em 7,32%, as emissões de CO₂. Eles ressaltaram que esse resultado confirmou a hipótese do efeito escala - o crescimento econômico geraria aumentos da emissão de poluentes - e contestou uma hipótese da teoria pertinente ao tema sobre o efeito composição - ao passo que a economia migraria da produção de bens manufaturados para a produção de serviços, a velocidade da degradação ambiental reduziria -, pois não foi possível observar esse fenômeno nos resultados.

No intento de analisarem os impactos ambientais oriundos do nível de tecnologia existentes nos países, Rocha, Khan e Lima (2013) realizaram um estudo empírico a partir da CKA sobre o nível tecnológico e a emissão de poluentes. Para isso, utilizaram uma amostra de 102 países, entre 1960-2000 e estimaram uma regressão com o método de dados em painel, relacionando a emissão de poluentes com a Produtividade Total dos Fatores - PTF. E os resultados indicaram a existência da relação na forma “U” invertido. Os autores afirmaram que o início do crescimento econômico foi marcado pelo uso de tecnologias sujas, pois elas provinham a base tecnológica necessária para gerarem inovações e permitirem a transição para tecnologias limpas. Assim, as regulações ambientais poderiam gerar um choque nas economias que estão buscando avanço, ocasionando um distanciamento tecnológico entre elas e as nações mais desenvolvidas.

A fim de analisar o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável a partir da Curva de Kuznets Ambiental, Queiroz, Rocha e Queiroz (2014) buscaram encontrar evidências da CKA no Brasil entre os anos de 2002 a 2010, para isso utilizaram o método *cross-section*, utilizando as variáveis PIB e Consumo de Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (SDO) por tipo de substância. Os autores encontraram uma curva no formato de “U” e verificaram que o nível de substâncias obteve nos anos iniciais um nível menor, mas a partir do crescimento do

PIB, houve também um crescimento no nível de emissão das SDO, gerando uma maior degradação ambiental, o que foi de encontro com o proposto pela teoria.

Para estimar a CKA para um conjunto de 144 países, no período 1990-2010, Catalán (2014) utilizou a técnica de dados em painel e como *proxy* da degradação ambiental usou o nível de emissões CO_2 *per capita* e do crescimento econômico a *proxy* utilizada foi o PIB *per capita*, o qual foi mensurado em dólares dos Estados Unidos a preços de 2005. O autor constatou que a relação entre as variáveis é ajustada a uma curva em forma de N, o que indica que os países com baixa renda *per capita* tendem a aumentar as emissões *per capita* e, conseqüentemente, a degradação ambiental, pois a exploração dos recursos naturais é realizada com tecnologias ineficientes e a extração de recursos naturais excede sua conservação.

Além disso, o autor ressalta que em países com altos níveis de renda a redução das emissões também é interrompida, possivelmente porque as oportunidades para reduzir as emissões estão diminuindo. Além disso, há uma transferência dos processos de produção que geram emissões, de países de maior renda para países que não aplicam regulamentos ambientais rígidos (CATALÁN, 2014).

Com intuito também de compreender a proposta da CKA nos países do BRICS, Castro (2017) relacionou a renda *per capita* e as emissões *per capita* de CO_2 no período de 1971-2011. O autor utilizou a metodologia econométrica de cointegração para dados em painel e incluiu mais três variáveis explicativas, entre elas uma *dummy* que admitiu valor 1 a partir de 2005 para capturar as implicações do Protocolo de Quioto. Castro (2017) destacou que apesar dos resultados de sua dissertação terem indicado a existência de uma CKA para os países do BRICS, ele não descartava a importância da formulação e implementação de políticas ambientais adequadas para amortizar o nível de emissões provenientes deste bloco. Não obstante, essas políticas não podem se tornar um entrave para o crescimento econômico destes países, levando em consideração que após ser superado o ponto de inflexão da CKA, o aumento da renda *per capita* provoca uma redução das emissões de CO_2 .

O trabalho realizado por Avelino (2018) relacionou o PIB *per capita* e variáveis que estão, principalmente, associadas as emissões de gases do efeito estufa, pois seu objetivo foi avaliar se indicadores municipais de saúde de morbimortalidade apresentavam uma relação com o crescimento econômico semelhante à CKA no formato de “U” invertido ou “N”. Assim, o autor realizou estimações econométricas para dados em painel a partir do método de efeitos fixos para os municípios brasileiros

referentes ao período de 1999 a 2012. Entre os resultados alcançados, o autor enfatizou as evidências de uma relação degradação-renda no formato de “U-invertido” para a morbidade e no formato “N” para a mortalidade por doenças associadas à poluição do ar. Embora a relação não tenha sido clara para doenças associadas ao saneamento básico, conforme o autor afirmou.

Com o objetivo de analisar a relação entre o crescimento econômico e o meio ambiente para o Brasil, Santos (2019) dividiu sua pesquisa em três etapas, utilizando em cada uma delas uma verificação específica. Primeiro, examinou o volume de emissões de CO₂ resultantes do processo de crescimento econômico; segundo, verificou a aplicabilidade da CKA para o país no período de 1996 até 2015, considerando o PIB e as emissões de CO₂, respectivamente, como fator do crescimento econômico e como variável ambiental; por último, investigou a aplicabilidade da CKA no Brasil no período entre 1996 até 2016, com o Investimento Estrangeiro Direto (IED) e as emissões de CO₂ de setores produtivos específicos, respectivamente, como *proxies* do crescimento econômico e da variável ambiental.

Nesse sentido, na primeira etapa, os resultados indicaram que os impactos do crescimento econômicos se alternam, ao longo do tempo, entre negativos e positivos nas emissões de CO₂. Na etapa seguinte, o modelo da CKA não se efetiva estatisticamente, porém o modelo em formato de N se aplica, ou seja, no decorrer do processo de desenvolvimento econômico ocorre a retomada da degradação ambiental. Na etapa final, a aplicabilidade da CKA se apresenta em 4 dos 5 setores da economia verificados. Dessa maneira, é possível atestar, genericamente, uma relação negativa entre os aportes financeiros do IED e a degradação ambiental no Brasil, demonstrando a importância do IED, tanto na economia brasileira, como na preservação de seu meio ambiente (SANTOS, 2019).

2.2.2 Renda x Desmatamento

Expõe-se primeiro o estudo de Panayotou (1993), pois o autor utilizou as emissões de gases do efeito estufa e o desmatamento como *proxies* para a degradação ambiental (ou seja, o estudo se insere nos dois grupos da revisão). Ele adotou uma amostra de 149 países, entre desenvolvidos e em desenvolvimento, com a metodologia de dados em painel e dez indicadores de qualidade ambiental. Os seus resultados apontaram para a evidência que apoia a hipótese da relação no formato de

“U” invertido e eles indicaram que o *turning point* para o desmatamento ocorre entre \$800,00 - \$1.200,00 *per capita* e para as emissões entre \$3.800,00 - \$5.500,00.

Ademais, constatou-se que a degradação ambiental geral é pior em níveis de renda *per capita* abaixo de \$1.000,00. Entre \$1.000,00 e \$3.000,00, tanto a economia como a degradação ambiental sofreriam drásticas mudanças estruturais das áreas rurais às urbanas e do agrícola ao industrial. Uma segunda onda de transformações ocorreria conforme os países fossem ultrapassando a renda de \$10.000,00 *per capita* (haveria a mudança de uma indústria intensiva em energia para uma intensiva em informação/tecnologia). O autor ainda menciona que embora a CKA seja uma realidade empírica, resultado de uma mudança estrutural impulsionada pelo crescimento econômico, ela não seria necessariamente ótima em função dos limites ecológicos que seriam ultrapassados de forma irreversível (PANAYOTOU, 1993).

No que concerne aos estudos da CKA na Amazônia, Oliveira *et al.* (2011) estão entre os mais eminentes pesquisadores, que a fim de analisarem a relação para os 782 municípios da Amazônia Legal mapeados pelo sistema Programa de Avaliação do Desflorestamento na Amazônia Legal (Prodes), utilizaram um modelo para dados em painel com dependência espacial, no período de 2001 a 2006. Eles buscavam identificar se haveria uma relação no formato de “U” invertido entre um indicador de degradação ambiental, a partir da área desmatada anualmente, e o crescimento econômico, representado pelo PIB *per capita*, além de variáveis explicativas adicionais, como: rebanho bovino, culturas agrícolas como soja e cana-de-açúcar, extração vegetal e silvicultura, densidade populacional, crédito rural e área de floresta preexistente.

Segundo os autores, podemos constatar que o produto da relação entre desmatamento e crescimento econômico na região amazônica é uma curva na forma de “N” invertido. Sendo assim, o desmatamento seria decrescente em níveis menores de PIB *per capita*, para depois aumentar à medida que este se eleva, e torna-se decrescente novamente em níveis mais altos (do PIB *per capita*). No entanto, a maior parte dos municípios se encontra na fase ascendente da curva. Nesse sentido, os autores sugerem que alguns fatores podem auxiliar a redução do desmatamento, como: “aumento de produtividade nas áreas desmatadas, fortalecimento institucional para a proteção da floresta e maior consciência ambiental por meio de educação e acesso à informação” (OLIVEIRA *et al.*, 2011, p. 734).

Para testar a hipótese da CKA para 560 municípios da Amazônia Legal entre 2001 e 2008, Brito (2012) utilizou os estimadores Arellano-Bond, a fim de evitar problemas de endogeneidade e de variáveis omitidas. Em seu modelo, o desmatamento foi explicado em função do PIB *per capita* dos municípios e seus termos quadráticos, além de variáveis que indicavam densidade populacional e atividade agropecuária. Os resultados obtidos indicam que a relação entre a degradação e o PIB tem a forma linear para o modelo quadrático e insignificante para o cúbico. No entanto, os testes de Sargan e de Hansen apontam que os instrumentos utilizados não são válidos para o modelo cúbico e no modelo quadrático as variáveis endógenas foram consideradas válidas conjuntamente, porém as instrumentais, não. Por fim, o autor afirma que a CKA seria fundamentalmente macroeconômica, pois quando se analisa do ponto de vista da microeconômica há fatores que dificultam a captação de em termos estatísticos e econométricos.

O trabalho desenvolvido por Pereira (2016) investigou as possíveis motivações para o desflorestamento no estado do Mato Grosso e para isso se fundamentou em duas concepções teóricas: a Curva Ambiental de Kuznets e a Expansão da Fronteira Agrícola. O método utilizado para testar sua hipótese foi o de dados em painel econométrico e a análise abarcou o período entre o ano 2000 e 2012. Assim, os resultados apontaram para um gráfico que teria a forma de um “N” invertido. Em outras palavras, o uso e a ocupação da área ocasionaram certa degradação ambiental, mas não ocorreu crescimento do PIB *per capita*, posteriormente um segundo estágio foi caracterizado pela instalação de atividades econômicas rentáveis e somente em um terceiro momento a degradação ambiental diminuiu.

No anseio de verificar a relação da renda proveniente do Programa Bolsa Verde (PBV) com o desmatamento nos estados da Amazônia Legal, no período 2011-2015, Carvalho *et al.* (2020) utilizaram o instrumental da regressão polinomial com variáveis logaritmizadas para testar a hipótese do “U-invertido e N” da CKA. Conforme a análise dos autores, o processo de desmatamento estaria atrelado à dinâmica de renda oriunda do PBV e o formato encontrado para a curva dessa relação seria o de “N”, corroborando com a revisão bibliográfica apresentada por eles, na qual se entende que o processo de desmatamento na Amazônia Legal não poderia ser explicado apenas pela variação na renda, seriam necessários mecanismos complementares.

Para averiguar a existência da hipótese da CKA na Região de Integração do Baixo Amazonas, Carvalho *et al.* (2020) elaboraram um modelo econométrico com

dados em painel, para o período de 2000-2010, utilizando como proxies para a degradação ambiental e o crescimento econômico, respectivamente, o desmatamento e a renda *per capita*. Em seus resultados, os autores verificaram que não haveriam evidências que corroborassem com as hipóteses teóricas da CKA, pois, embora apresentassem na equação da regressão estimada os sinais esperados para uma CKA com a forma de “N” invertido, os coeficientes da regressão não foram estatisticamente significativos. Em outras palavras, a renda não estaria conectada ao processo de desmatamento na Região de Integração do Baixo Amazonas no período abarcado pelo estudo, considerando somente a dinâmica da hipótese da CKA.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O recorte geográfico que será adotado no presente estudo é o do estado do Pará. O qual, segundo último censo demográfico (IBGE, 2010) realizado, possuía uma população de 7.581.051 habitantes e é o segundo maior estado em extensão territorial do país, correspondendo a 14,64% do território nacional, perfazendo uma área de 1.245.870,798 km². O estado faz parte da região norte do país e é dividido em 144 municípios, tendo fronteiras com os estados: Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Roraima e Tocantins e com dois países: Suriname e Guiana (IBGE, 2019).

A vegetação do estado é caracterizada predominantemente pela floresta Amazônica e, em menor escala, pelos mangues no litoral, campos na ilha de Marajó e cerrado ao sul do estado. Além disso, com uma grande via hidroviária regional, o Amazonas é seu maior rio e entre seus principais afluentes, destacam-se os rios Tapajós, Xingu e Tocantins, na margem direita; e os rios Trombetas, Maicuru, Paru e Jari, na margem esquerda. Próximo à foz do Amazonas encontra-se o rio Pará, e nos limites com o Estado do Maranhão corre o rio Gurupi.

Com dimensões nacionais, o Pará possui 7 regiões geográficas intermediárias e 21 regiões geográficas imediatas, a partir da realização da revisão das unidades subestaduais do espaço brasileiro pelo IBGE (2017). As quais associam os municípios em função da diferenciação interna no estado e por suas características comuns nos âmbitos econômicos, demográficos, políticos e ambientais. Promovendo assim uma melhor organização do território e uma maior articulação.

No ano de 2018, pela ótica da produção, o PIB do estado do Pará foi de R\$ 161,350 bilhões, o que representou 2,3% do PIB nacional e 41,6% do PIB da Região Norte (R\$ 387,535 bilhões), conforme o IBGE (2021). Com um leve aumento de 2,2% em relação ao ano anterior, o PIB *per capita* estadual foi de R\$ 18.952, resultado esse que o colocou na 20ª posição do *raking* do PIB *per capita*, caindo duas posições em relação a 2017. Quando as variações em volume por setores econômicos são analisadas, a Indústria (5,8%) e Serviços (3,3%) apresentaram crescimento real acima do PIB (3,0%), já o setor da Agropecuária apresentou decréscimo de 5,2%, em 2018. No acumulado de 2011 a 2018, os setores da Agropecuária e da Indústria

cresceram, aproximadamente, 20% em volume, enquanto Serviços, 13,4%, abaixo da média do PIB, que foi de 16,2% (FAPESPA, 2020).

3.2 Base de dados

Este estudo será realizado do ano de 2002 a 2018, em função do referido recorte temporal ser o único período em que não há ausência de dados para nenhuma das variáveis escolhidas. Além do mais, serão realizados dois modelos para analisar a relação existente entre o crescimento econômico e a degradação ambiental no estado do Pará, a diferença entre eles vai estar nas variáveis que serão utilizadas como *proxies* da degradação do meio ambiente.

Ressalta-se que a utilização de dois modelos econométricos é essencial porque permitirá uma comparação entre os resultados encontrados separadamente. Além disso, será também um produto novo entre os trabalhos acerca da CKA para a região, visto que a maioria dos trabalhos utilizam apenas o desmatamento como *proxy* da degradação ambiental e esse estudo além de trazer essa *proxy* representando a variável ambiental, também traz a emissão de CO₂, o que concede ao estudo um ar de inovador. Ademais, essa diferenciação decorre da divergência na natureza das variáveis e por uma ser uma parte do processo de degradação do meio ambiente (desmatamento) e a outra ser a consolidação desse (emissão de gases do efeito estufa).

Importante destacar que os dados do recorte temporal são provenientes do somatório dos dados municipais, caracterizado sob a estrutura de um painel balanceado e curto. Além do mais, ressalta-se também que o município de Mojuí dos Campos foi emancipado no ano de 2012 e por isto não foi incorporado nas análises do estudo. Assim, somente 143 municípios foram abarcados no estudo.

Caso semelhante acontece na aplicação dos modelos econométrico, pois no modelo 2, desmatamento e PIB *per capita*, o município de Santa Cruz do Arari apresenta desmatamento igual a zero para todos os anos do estudo. Isso pode ser explicado em razão de o município possuir uma área de floresta muito pequena, a qual nem chega a ser detectada pelo PRODES (2021) no intervalo de tempo deste estudo. Ressalta-se que o município está presente na estatística descritiva e só foi retirado na construção do modelo econométrico.

As variáveis selecionadas, suas unidades de medida, sinal esperado e fonte de coleta podem ser observados no Quadro 1.

Quadro 1 - Descrição das variáveis das empregadas.

	Proxy	Descrição	Unidade	Sinal esperado do coeficiente	Fonte dos dados
Variáveis dependentes	<i>CO2</i>	Emissão de CO ₂	Tonelada (t)	-	Seeg
	<i>Desm</i>	Total Desmatado Anualmente	Km ²	-	Prodes/Inpe
Variáveis independentes	<i>PIBpercap</i>	PIB <i>per capita</i> municipal	Reais do ano corrente*	Positivo	SIDRA/IBGE
	<i>PIBpercap2</i>	PIB <i>per capita</i> municipal ao quadrado	Reais do ano corrente (ao quadrado)	Negativo	Calculado a partir do <i>PIBpercap</i>
	<i>PIBpercap3</i>	PIB <i>per capita</i> municipal ao cubo	Reais do ano corrente (ao cubo)	Positivo	Calculado a partir do <i>PIBpercap</i>

*Nota: o valor do PIB *per capita* calculado a preços correntes faz referência ao ano em que o produto foi produzido e comercializado.

Fonte: Oliveira *et al.*, 2011. Adaptada pelo autor.

O Modelo 1 (M1) utilizará como variável dependente a emissão de CO₂ e os dados anuais da *proxy* para os municípios do estado foram obtidos através do Seeg². E será utilizada a presente variável pôr a mesma ser o gás que mais influencia no efeito estufa, aumentando a temperatura do ar. De acordo com a ONG World Wide Fund For Nature (WWF) (2021), a emissão do CO₂ resulta da queima direta de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural), desmatamento e queimadas. Os quais são utilizados, principalmente, na produção de energia e transportes.

Salienta-se que as estimativas do Seeg (8.0) abarcam as emissões de gases do efeito estufa (GEE) no Brasil e em cada um dos estados e distrito federal no período de 1970 a 2019 para os setores: agropecuária, energia, processos industriais e resíduos, para o setor de mudança de uso da terra os dados disponíveis são para o período de 1990 a 2019. Ademais, a partir da Coleção 8.0 do Seeg são apresentadas as estimativas de emissões municipais abrangendo o período entre os anos de 2000 a 2018, o que possibilitou a realização deste trabalho.

A base metodológica das estimativas do Seeg é o 3º Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa, publicado pelo

² <http://plataforma.seeg.eco.br/map>

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) em 2016. Em resumo, cada setor possui uma rotina de cálculo, que permite estimar a evolução das emissões considerando os fatores de emissão presentes no inventário. Várias instituições públicas e privadas são consultadas para se obter acesso a dados de atividades e quando os dados de atividade não estão disponíveis ou estão incompletos, são utilizadas estratégias diversas para obter as estimativas, incluindo-se a busca de valores de referência, linhas de tendência, correlação com dados de outras atividades, dentre outros.

O Modelo 2 (M2) usará como variável dependente o total desmatado anualmente, coletada a partir do projeto Prodes do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)³. Segundo Fearnside (2006), o desmatamento é responsável pela emissão de gás carbônico (CO₂) e outros gases de efeito estufa; em outro estudo o autor afirma que o valor em potencial de não desmatar cada hectare é pelo menos duas ordens de magnitude maior que o valor que pode ser ganho vendendo mercadorias tradicionais como madeira e carne bovina (FEARNSIDE, 2003a). Entre os impactos causados pelo desmatamento estão a perda de oportunidades para o uso sustentável da floresta, além sacrificar a possibilidade de capturar o valor de seus serviços ambientais.

Conforme o Prodes (2021), a estimativa de extensão desmatada por município se fundamenta no cálculo do desmatamento acumulado e observado até o ano escolhido dentro dos limites administrativos dos municípios que compõe a Amazônia Legal. Além da classe com a extensão desflorestada, as áreas de outras classes de cobertura da terra e nuvem, foram calculadas para cada ano de análise como: floresta, nuvem, não floresta, hidrografia e área não observada. A classe “área não observada” se refere às áreas cujas cenas Landsat TM foram descartadas pelo Prodes em um determinado ano, devido ao excesso de nuvens ou à baixa qualidade radiométrica das imagens ou ainda devido à extrapolação dos limites da Amazônia Legal.

Os dois modelos utilizarão como variável independente o PIB *per capita* para perceber os impactos do crescimento econômico sobre o nível de degradação ambiental no estado. Além disso, os seus termos ao quadrado e ao cubo serão incluídos para testar a hipótese da CKA no formato de “U” invertido e “N” invertido. Os dados foram obtidos por meio do IBGE e do Sistema IBGE de Recuperação

³ <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>

Automática (SIDRA). No primeiro, foi obtida a população residente estimada que é enviada ao Tribunal de Contas da União por município e, no segundo, foram obtidos os dados do PIB dos municípios desta unidade federativa.

De acordo com o IBGE (2021), a forma de estimar a população dos municípios brasileiros segue a tendência de crescimento populacional do município, a partir de dois censos demográficos consecutivos, com a tendência de crescimento das Unidades da Federação. A metodologia utilizada tem como princípio norteador a subdivisão de uma área maior, em áreas menores, de tal forma que seja assegurada ao final das estimativas das áreas menores a reprodução da estimativa, previamente conhecida, da área maior através da soma das estimativas das áreas menores. Ademais, as coletas anuais das populações das Unidades da Federação ocorrem a partir da última projeção populacional disponível.

Destaca-se que, para o ano de 2007, os dados da população foram colhidos a partir da Contagem da População realizada pelo IBGE (2021). A qual era prevista para 2005, mas, por razões de natureza orçamentária, só ocorreu em 2007. A Contagem da População é uma operação mais simples do que um Censo Demográfico e possui duas funções básicas: atualizar as estimativas de população no período intercensitário e a base cadastral do próximo Censo, incorporando as mudanças demográficas ocorridas no período. Além disso, para o ano de 2010, a população foi obtida através do Censo Demográfico realizado nesse ano. Esses dados foram colhidos para se calcular o PIB *per capita*, que consiste na divisão do PIB do ano pela população residente estimada daquele ano.

3.3 Estimação via dados em painel

De forma literal, a econometria pode ser interpretada como “medição econômica”. Apesar de a medição ser elemento essencial da disciplina, é apenas parte de sua amplitude. “É um amálgama de teoria econômica, economia matemática, estatística econômica e estatística matemática” (GUJARATI; PORTER, 2011, p. 26). Ela amplia as possibilidades de entender o fenômeno econômico por meio de suas análises quantitativas com base no desenvolvimento paralelo da teoria e das observações, e com o uso de métodos de inferência adequados (SAMUELSON; KOOPMANS; STONE, 1954).

Para realizar os dois modelos da CKA para o estado do Pará, no período de 2002 a 2018 e, assim, analisar a relação entre o crescimento econômico e a degradação ambiental, este trabalho aplicou a técnica de dados em painel, amplamente utilizada em pesquisas dessa natureza (PANAYOTOU, 1993; SELDEN; SONG, 1994; ARRAES, DINIZ, DINIZ, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2011; ROCHA, KHAN, LIMA, 2013; CATALÁN, 2014; SALES, 2015; PEREIRA, 2016; BARBOSA *et al.*, 2017; CASTRO, 2017; AVELINO, 2018; BAYER, 2019), empregando estimações por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para o modelo *pooled*, efeitos aleatórios e efeitos fixos, além dos testes (Chow, Breusch-Pagan, Hausman) para a escolha do modelo mais apropriado, utilizando a emissão de CO₂ e o desmatamento como variáveis dependentes de cada um dos modelos e o PIB *per capita* como independente em ambos.

Um conjunto de dados longitudinal ou painel é aquele que segue uma determinada amostra de indivíduos ao longo do tempo e, portanto, fornece várias observações sobre cada indivíduo dessa amostra (HSIÃO, 2003). Nos dados em painel, a mesma unidade de corte transversal é acompanhada ao longo do tempo, ou seja, os dados em painel possuem duas dimensões: uma espacial e outra temporal (GUJARATI; PORTER, 2011).

Existem diversas vantagens em se usar o método de dados em painel, são elas: a) possibilidade de controle da heterogeneidade individual, ou seja, o método sugere a existência de características diferenciadoras dos indivíduos; b) dados mais informativos, mais variabilidade e menor colinearidade entre as variáveis, maior grau de liberdade e mais eficiência; c) mais adequados para examinar dinâmica de mudança; d) probabilidade de identificar e medir melhor os efeitos que passam despercebidos em séries temporais ou corte transversal; e) chance de estudar modelos de comportamento mais complexos; e f) minimização do viés que poderia resultar ao se trabalhar com um conjunto de indivíduos ou empresas (BALTAGI, 1995; MARQUES, 2000).

Conforme anteriormente mencionado, dentro desse método pode-se trabalhar com diferentes técnicas de estimação (*pooled*, efeitos fixos e efeitos aleatórios) e, afim de evitar dificuldades de especificação ou inconsistência dos estimadores, foi escolhida a mais adequada por meio de testes (nesse caso, o teste de Chow, o teste de Breusch-Pagan e teste de Hausman). Nesse estudo, assim como em Pereira

(2016), as possibilidades foram testadas em três categorias de modelos econométricos, são elas:

- a) modelo *pooled OLS* (*Ordinary Least Squares*): é considerado o mais restrito e é comumente empregada somente quando as heterogeneidades não estão presentes entre os indivíduos no painel (BARBOSA *et al.*, 2017).

Em resumo, são empilhadas todas as observações e estimada uma “grande” regressão, desconsiderando a natureza de corte transversal e de séries temporais dos dados (GUJARATI; PORTER, 2011). Somente se forem atendidas essas exigências o modelo será consistente.

O método tradicional para estimação dos parâmetros é o método dos mínimos quadrados ordinários e a formulação geral do modelo com n observações em T períodos e k variáveis é dado por:

$$Y_{it} = \alpha + x_{0it}\beta + \varepsilon_{it}, i = 1, \dots, n, t = 1, \dots, T \quad (1)$$

em que o subscrito i se refere as diferentes unidades de corte transversal e t é o período de tempo que está sendo considerado; Y_{it} e a variável dependente do indivíduo i no tempo t ; x_{0it} um vetor de variáveis explicativas de ordem $1 \times p$; β um vetor de ordem $p \times 1$ dos coeficientes das variáveis; α o intercepto e ε_{it} o termo de erro do i -ésimo indivíduo no tempo t . Se implica que os erros ε_{it} são independentes e bem disseminados com a média zero e variância σ^2 (REINALDO, 2017).

- b) modelo de efeitos fixos: nesse são combinadas todas as observações, mas deixa-se que cada unidade de corte transversal tenha sua própria variável *dummy* (intercepto) e embora o intercepto possa diferir entre os indivíduos, o intercepto de cada indivíduo não varia com o tempo (GUJARATI; PORTER, 2011).

De acordo com Costa, Moreira e Loureiro (2015), este modelo é uma regressão no formato clássico $y_{it} = \alpha_{it} + \beta'x_{it} + e_{it}$, onde $E[e_{it}] = 0$ e $var[e_{it}] = \sigma^2$. E os x_s são variáveis *dummy* específicas que correspondem aos mesmos indivíduos quando $j = i$. Logo, o modelo de efeitos fixos pode ser escrito da seguinte maneira:

$$y_{iy} = \alpha_i + \beta_1 X_{1it} + \beta_{2it} X_{2it} + \dots \beta_k x_{kit} + e_{it} \quad (2)$$

Conforme Wooldridge (2002) no modelo de efeitos fixos o intercepto é específico para cada unidade, podendo estar correlacionado com um ou mais regressores, porém cada intercepto é invariante o tempo, enquanto que no modelo de

efeitos aleatórios o intercepto (aleatório) das unidades não possuem correlação com as outras variáveis.

O objetivo dessa técnica de estimação é constatar os impactos das variáveis independentes variando entre indivíduos e também ao longo do tempo. Para esta finalidade, imagina-se que o intercepto irá variar de um indivíduo para outro, entretanto, é constante ao longo do tempo, a fase que os parâmetros são constantes para as entidades e em todos os períodos de tempo (FERNANDES, 2016). No entanto, esse tipo de modelo não consegue obter estimativas de algumas características invariantes ao longo do tempo, alegando que esse efeito individual pode estar correlacionado com os regressores (BARBOSA *et al.*, 2017).

- c) modelo de efeitos aleatórios: ao contrário do modelo anterior, o qual permite que cada indivíduo tenha seu próprio valor de intercepto, pressupõe-se aqui que os valores de intercepto sejam coletados de maneira aleatória de uma população bem maior de indivíduos (GUJARATI; PORTER, 2011).

Greene (2000) afirma que o modelo de efeitos aleatórios tem a seguinte equação $y_{it} = \alpha + \beta' x_{it} e_{it} \mu_i$, o qual é um modelo de regressão generalizado. Todo o termo aleatório tem variância $Var [e_i + \mu_i] = \sigma^2 = \sigma e_2 + \sigma \mu_2$. O modelo de efeitos aleatórios é dado por:

$$y_{iy} = \alpha + \beta_1 x_{1it} + \beta_{2it} x_{2it} + \dots + \beta_k x_{kit} + \mu_{it} \quad (2)$$

Nessa técnica de estimação, assume-se a heterogeneidade individual como não observada, assim como se considera o termo constante como não sendo um componente fixo, mas sim como um parâmetro aleatório não observável (BARBOSA *et al.*, 2017). Em função das especificidades desse modelo, o problema de autocorrelação é uma constante, fazendo com que seja necessária a utilização de Mínimos Quadrados Generalizados factíveis (LOUREIRO; COSTA, 2009).

A fim de escolher o modelo entre as técnicas de estimação, considerando que a utilização de uma especificação imperfeita poderia ocasionar dificuldades de especificação ou inconsistência dos estimadores (BALTAGI, 1995), antes de diagnosticar a normalidade, a homocedasticidade (Teste White) e a autocorrelação (Durbin–Watson), é necessário escolher entre os modelos *pooled*, efeitos fixos e aleatórios o mais adequado. Para isso, irão ser usados os seguintes testes:

- a) teste de Chow: é um teste do tipo F , que considera como hipótese nula a não existência de heterogeneidades entre os indivíduos do painel (modelo *pooled*) e como a hipótese alternativa de que tais

heterogeneidades estão presentes (modelo de efeitos fixos) (PEREIRA, 2016). Se o valor de F é menor que o valor crítico, $F_{calculado} < F_{valor\ crítico}$, então a hipótese nula será aceita. Se, por outro lado, o valor de F for maior que o valor crítico, $F_{calculado} > F_{valor\ crítico}$, então a hipótese nula será rejeitada, assim a melhor escolha é o modelo de efeitos fixos (SALES, 2015).

- b) teste de Breusch-Pagan: O teste de Breusch-Pagan é um teste do tipo *Lagrange multiplier*, cuja hipótese nula é a variância do termo estocástico do modelo igual a zero [$Var(\sigma^2v) = 0$], como sendo resultado de um efeito idiossincrático não observado e a hipótese alternativa é a variância do termo estocástico do modelo diferente de zero [$Var(\sigma^2v) \neq 0$] (BARBOSA *et al.*, 2017). A rejeição da hipótese nula leva à conclusão da existência de efeitos individuais, em outras palavras, a técnica de efeitos aleatórios seria mais adequada.

teste de Hausman: é um teste do tipo Wald, em que a hipótese nula é a de não há correlação entre as variáveis independentes do modelo e o termo constante individual, condição essencial para o modelo de efeitos aleatórios. A rejeição da hipótese nula do teste de Hausman indica a existência dessa correlação entre variáveis explanatórias e o efeito não observável, assim a melhor escolha é o modelo de efeitos fixos (GREENE, 2008).

3.4 Modelo econométrico

Não há, entre os estudos da hipótese da CKA, um consenso acerca de qual seja o modelo econométrico que descreva quais são os regressores para realizar tal estimação de maneira mais adequada, porém entre os estudos revisados, a forma funcional mais recorrente entre eles é o da regressão polinomial de segundo grau (representada graficamente por uma curva na forma de “U”), embora já existam vários trabalhos que utilizem este tipo de regressão em seu terceiro grau (CARVALHO, 2018).

No presente trabalho, será adotado a regressão polinomial de 3º grau, a fim de verificar em qual nível de renda a degradação ambiental é máxima e em qual nível ela declina. Assim, as variáveis do modelo serão transformadas em logaritmo natural, com a finalidade de obter as elasticidades, mas principalmente, para deixar mais nivelado

os valores das variáveis, em função de suas unidades de medidas serem em dimensões diferentes, evitando eventuais dificuldades que possam a vir existir com a normalidade, heterocedasticidade e autocorrelação nos resíduos.

Os modelos de dados em painel podem ser expressos da seguinte maneira:

$$(ln)CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1(ln)PIBpercap_{it} + \beta_2[(ln)PIBpercap_{it}]^2 + \beta_3[(ln)PIBpercap_{it}]^3 + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$(ln)DESM_{it} = \beta_0 + \beta_1(ln)PIBpercap_{it} + \beta_2[(ln)PIBpercap_{it}]^2 + \beta_3[(ln)PIBpercap_{it}]^3 + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

Onde:

$(ln)CO_{2it}$ = logaritmo natural da emissão de dióxido de carbono do estado i no ano t ;

$(ln)DESM_{it}$ = logaritmo natural do desmatamento do estado i no ano t ;

β_0 = constante;

$\beta_1(ln)PIBpercap_{it}$ = logarítmico natural da renda *per capita* do estado i no ano t ;

$\beta_2[(ln)PIBpercap_{it}]^2$ = logarítmico natural da renda *per capita* ao quadrado do estado i no ano t ;

$\beta_3[(ln)PIBpercap_{it}]^3$ = logarítmico natural da renda *per capita* ao cubo do estado i no ano t ;

ε_{it} = termo de erro estocástico.

Os resultados dos parâmetros do modelo são múltiplos, conforme são apresentados e podem ser observados no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 - Resultados da Função Estimada na Regressão da CKA.

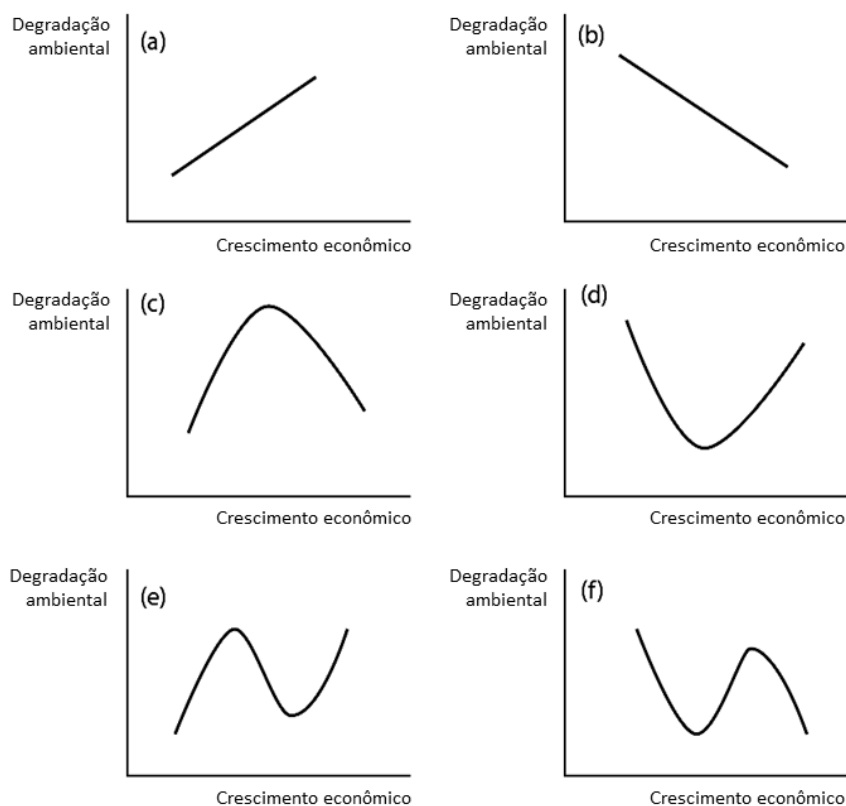
$\hat{\beta}_1 = \hat{\beta}_2 = \hat{\beta}_3$	Nenhuma relação existente entre renda <i>per capita</i> e degradação ambiental.
$\hat{\beta}_1 > 0$ e $\hat{\beta}_2 = \hat{\beta}_3 = 0$	A relação entre renda <i>per capita</i> e degradação ambiental é monotonamente positiva e linear, onde um aumento da primeira leva a um aumento constante da segunda.
$\hat{\beta}_1 < 0$ e $\hat{\beta}_2 = \hat{\beta}_3 = 0$	A relação entre renda <i>per capita</i> e degradação ambiental é monotonamente negativa e linear.
$\hat{\beta}_1 > 0$ e $\hat{\beta}_2 < 0$ e $\hat{\beta}_3 = 0$	A relação entre renda <i>per capita</i> e degradação ambiental pode ser representada pela CKA - função quadrática com concavidade para baixo (na forma de "U" invertido).
$\hat{\beta}_1 < 0$ e $\hat{\beta}_2 > 0$ e $\hat{\beta}_3 = 0$	Oposição ao formato de "U invertido". A relação entre renda <i>per capita</i> e degradação ambiental traduz-se através de uma função quadrática com concavidade para cima, não podendo ser representada pela CKA.
$\hat{\beta}_1 > 0$ e $\hat{\beta}_2 < 0$ e $\hat{\beta}_3 > 0$	A relação entre renda <i>per capita</i> e degradação ambiental passa a assumir uma relação na forma de "N", revelada numa função polinomial cúbica. Nesse caso, a CKA representaria apenas um estágio daquela relação, anterior ao 'recasamento' a partir do segundo ponto de inflexão da curva.
$\hat{\beta}_1 < 0$ e $\hat{\beta}_2 > 0$ e $\hat{\beta}_3 < 0$	Oposição ao formato de "N". Revelada numa função polinomial cúbica de formato "N" invertido.

Fonte: CARVALHO, 2018.

As estimações dos modelos de regressão foram geradas por meio do software *Gretl* (acrônimo para *GNU Regression, Econometrics and Time-series Library*). O qual, conforme Andrade (2013), é um pacote estatístico livre e multiplataforma desenvolvido, principalmente, para ser usado em pesquisas do campo econométrico. Além disso, ele possui uma interface intuitiva e amigável, permitindo a aplicação de uma vasta gama de técnicas econométricas de uma maneira relativamente simples. A saber, o software é habilitado a realizar estimações das seguintes classes de modelos: séries temporais, variáveis instrumentais, outros modelos lineares, modelos não-lineares, estimações robustas e sistemas de equações simultâneas.

A Figura 3 ilustra os diferentes formatos que a Curva de Kuznets Ambiental pode assumir.

Figura 3 - Possíveis formatos da Curva de Kuznets Ambiental.



Fonte: Oliveira *et al.*, 2011. (Adaptada pelo autor).

Ressalta-se que ela foi adaptada de Oliveira *et al.* (2011) para o caso da degradação ambiental, pois serão estimados dois modelos (emissão de CO₂ e desmatamento). As Figuras 3a e 3b indicam uma relação linear crescente e decrescente, respectivamente. A Figura 3c possui a curva no formato proposto pela hipótese, o de “U” invertido, a qual é a representação de uma relação quadrática. A Figura 3d é outra forma que pode ser encontrada para CKA e essa é também uma relação quadrática. Nas Figuras 3e e 3f a relação entre a degradação ambiental e o crescimento econômico pode-se apresentar com a forma de “N” ou de “N” invertido, ou seja, são relações representadas por polinômios cúbicos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise descritiva

A fim de melhor explorar as nuances dos dados coletados é essencial realizar a estatística descritiva. As tabelas que serão expostas nesse subitem apresentam: a média, mediana, mínimo, máximo e coeficiente de variação de cada uma das variáveis.

A Tabela 1 exibe a estatística descritiva da emissão de CO₂ (t) de 2002 a 2018 dos municípios paraenses. A partir desta, é possível observar que ao longo dos anos a emissão de CO₂ foi reduzindo e isso fica evidente quando olhamos para média (que em 2002 era de, aproximadamente, de 3,5 milhões de toneladas e em 2018 de 1,7 milhões de toneladas) e para a mediana (que no primeiro ano do estudo foi de quase 1,2 milhões de toneladas e no último ano abarcado pelo estudo foi de pouco menos 450 mil toneladas).

Apesar de estar havendo essa redução no total das emissões, o mínimo emitido anualmente por cada município foi aumentando e o máximo, diminuindo, refletindo assim a queda na variabilidade dos dados em torno da média (última coluna da direita da Tabela 1). Ou seja, nos primeiros anos existiam muitos municípios que emitiam em maior quantidade e outros tantos que emitiam muito pouco.

Tabela 1 - Estatística descritiva da emissão de CO₂ (t) nos municípios do estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018.

Ano	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Coeficiente de variação
2002	3478939,545	1193181	1150	75646343	232%
2003	3775087,364	1333524	1196	90442540	240%
2004	3431378,993	902233	1233	65691064	224%
2005	3240608,07	985036	1596	59340836	210%
2006	3077012,601	1117406	779	57902052	213%
2007	2425389,706	753183	1683	49243140	214%
2008	2338063,42	794100	2161	45801995	217%
2009	1632727,035	543823	2135	33372727	217%
2010	1301266,483	484137	2684	19755440	182%
2011	1143150,524	385799	3702	16992911	206%
2012	1103068,49	349289	3603	15190328	186%
2013	1336983,79	440181	3628	16637243	180%
2014	1307622,524	369435	4408	18663023	191%
2015	1446482,112	406661	4456	17431348	176%
2016	1786524,664	544198	3766	20090912	163%
2017	1421898	435982	4745	19660252	183%
2018	1723434,364	449347	3361	23701365	189%

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Com o passar dos anos essa diferença foi reduzindo, deixando as emissões mais próximas da média emitida por todos os municípios, movimento que pode ser observado na Figura 4, a qual apresenta a emissão de CO₂ (t) entre 2002 e 2018 nos municípios do estado do Pará. Nela, é possível verificar a presença de vários *outliers*, principalmente, entre 2002 e 2009.

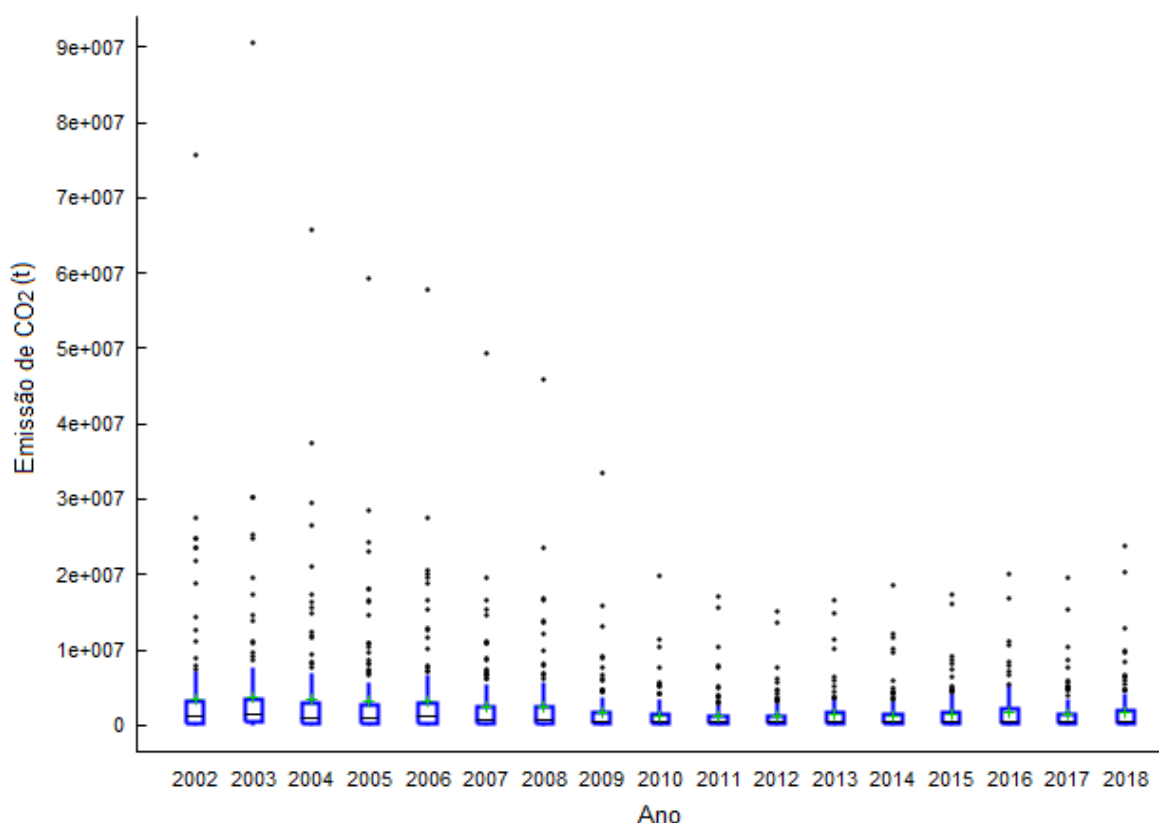
Um aspecto a ser destacado na figura abaixo é a trajetória de um *outlier* em especial, o qual, durante a construção da figura, foi identificado como sendo o município de São Félix do Xingu. Ele foi responsável por todos os valores máximos encontrados na Tabela 1, sendo superado por Altamira apenas entre os anos de 2012 e 2015. Segundo o Seeg (2021), aquele município foi o que mais emitiu CO₂ em todo o Brasil no ano de 2018 e o setor responsável por essa emissão elevada é, principalmente, o de “Mudança de Uso da Terra e Floresta”.

Por outro lado, a partir do ano de 2010 os dados parecem seguir um padrão. Apesar de haver alguns valores discrepantes, as observações se diferenciam menos umas das outras. O que pode ser explicado pelo enrijecimento da política ambiental, que, de acordo com Moura (2016), se desenvolveu mais fortemente entre os anos de

2000 e 2015. Nesse sentido, destaca-se a Lei Complementar 140/2011 que veio disciplinar o Artigo 23 da Constituição Federal, estabelecendo normas para a cooperação entre os entes federados, com a finalidade de harmonizar e uniformizar a atuação entre eles, promover a proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora. Além de evitar sobreposições e tornar a gestão ambiental mais eficiente.

Ademais, a evolução histórica dos marcos relacionados à seara ambiental propiciou um ambiente de debate, provocando uma maior consciência ambiental por parte da sociedade civil, principalmente, a partir da conferência Rio-92. A qual apesar de ter acontecido em um momento não favorável, de crise financeira mundial, e não terem sido firmados compromissos obrigatórios por parte dos países, possibilitou que houvesse uma forte mobilização social paralela as negociações no Rio de Janeiro, que levou empresas e governos a firmarem mais de duzentos compromissos de ações voluntárias em diversas áreas (MOURA, 2016).

Figura 4 - Box Plot da Emissão de CO₂ (t) nos municípios do estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Na Tabela 2, que apresenta a estatística descritiva do desmatamento (Km²) nos municípios do estado do Pará no período abarcado pelo estudo, os dados se comportam diferente da emissão de CO₂ (t). Pois aqui, observa-se um crescimento no desmatamento, verificado a partir do aumento da média e da mediana. Ambas elevaram mais rapidamente entre 2002 e 2010 e no ano seguinte continuaram na mesma trajetória, porém em um grau menor.

O mínimo desmatado em todos os anos é igual a zero, pois não há desmatamento no município de Santa Cruz do Arari e isso pode ser explicado pelo fato de ele ter uma área de floresta mínima, não detectada pelo PRODES (2021) no intervalo de tempo utilizado neste trabalho. Já o máximo desmatado deu um salto de quase 90% entre o primeiro ano (9993,2 Km²) e o último (18733,9 Km²), conforme a tabela abaixo.

A variabilidade nos dados entre os anos de 2002 e 2018 pode ser vista através do coeficiente de variação na Tabela 2, que teve uma diferença de 15% entre os dois anos extremos do estudo. Quando comparamos com os dados da emissão de CO₂ (ver Tabela 1), constatamos que a variabilidade é menor. Significa dizer que o Total Desmatado Anualmente pelos municípios entre os anos de 2002 e 2018 é mais próximo da média do que CO₂ emitido por eles. Isto é, ainda que a variabilidade seja alta, os dados são mais homogêneos aqui.

Tabela 2 - Estatística descritiva do Total Desmatado Anualmente (Km²) nos municípios do estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018.

Ano	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Coeficiente de variação
2002	1377,421678	868,5	0	9993,2	115%
2003	1456,241259	979,8	0	11311,3	116%
2004	1520,732168	1016,4	0	12393,8	118%
2005	1578,359441	1030,9	0	13801,7	121%
2006	1614,127273	1033,7	0	14563,6	123%
2007	1653,197902	1060,5	0	15441,1	125%
2008	1692,965734	1092,2	0	16206,2	126%
2009	1718,072028	1098,9	0	16650,6	127%
2010	1741,459441	1112,7	0	17004,3	128%
2011	1758,374825	1131,8	0	17144,8	128%
2012	1770,357343	1144,4	0	17313,9	128%
2013	1784,970629	1146,4	0	17534,3	129%
2014	1797,446853	1148,4	0	17686,2	129%
2015	1813,592308	1152	0	17885,4	129%
2016	1832,781818	1156,5	0	18200,4	130%
2017	1850,988811	1160,5	0	18440,2	130%
2018	1869,881119	1163,8	0	18733,9	130%

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Podemos acompanhar também esse crescimento da variabilidade na Figura 5, que representa o Total Desmatado Anualmente (Km²) nos municípios do estado do Pará de 2002 a 2018, na qual é possível perceber o aumento do tamanho da caixa no decorrer dos anos. Além do mais, na figura se destaca o percurso de um *outlier* que, desde o primeiro ano abordado pelo estudo, se diferencia dos demais. Não diferente do encontrado na figura relativa à emissão de CO₂, o detentor de todos os valores máximos da Tabela 2 foi São Félix do Xingu, sendo o município que mais desmatou no estado paraense.

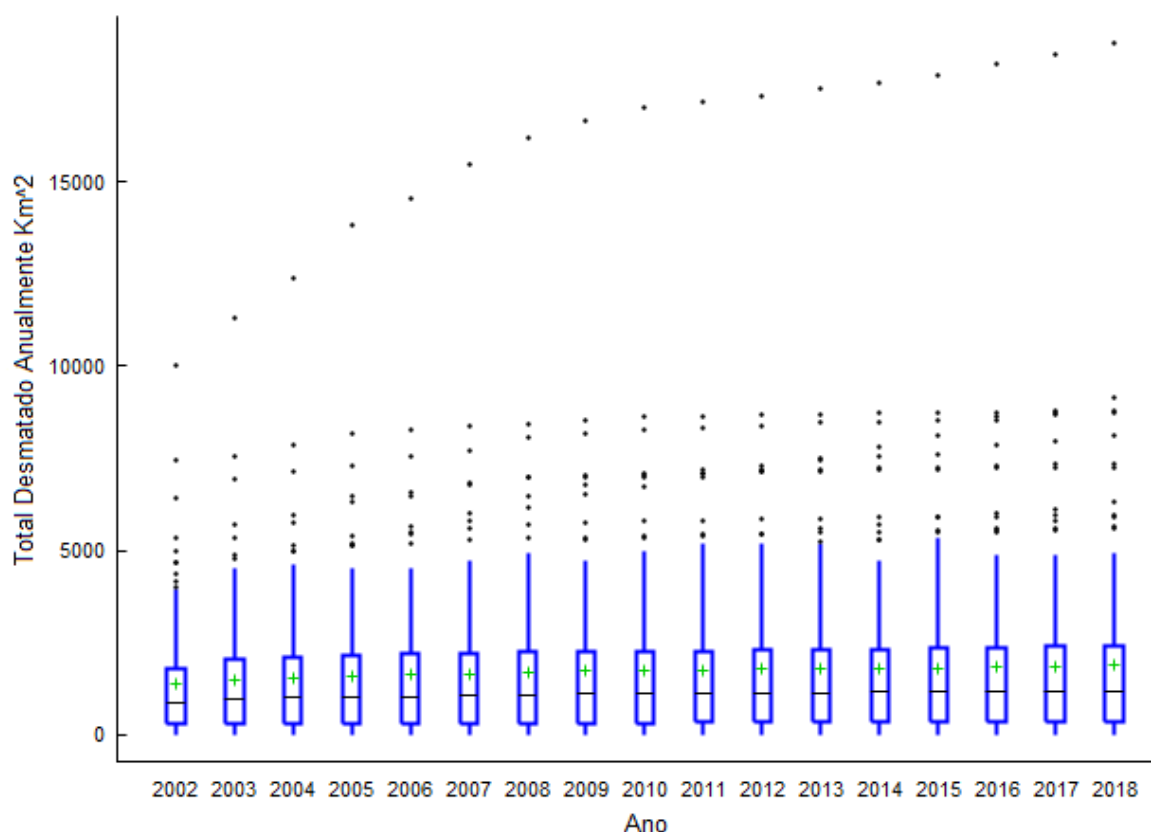
Esse fato pode ser explicado devido a presença massiva da atividade agropecuária na região, a qual não é restrita somente aos grandes latifundiários, sendo praticada também pelos médios e pequenos proprietários de terra. A razão disso é o baixo custo da atividade, atrelado ao baixo risco, em termos de investimento. Destaca-se que a atividade é desenvolvida principalmente por produtores de outros estados, como: Goiás, Tocantins e Sul do Maranhão (KAWAKUBO; MORATO; LUCHIARI, 2013).

De acordo com a Pesquisa da Pecuária Municipal do IBGE (2021), o município de São Félix do Xingu detém o maior rebanho bovino do país, tendo alcançado em

2020 a maior quantidade municipal de bovinos já registrada na pesquisa, 2,4 milhões de cabeças de gado, 5,4% a mais que no ano 2019. Ressalta-se o percurso traçado pelo município, que nos anos de 2002 e 2003 estava na terceira posição desse *ranking*, passando para a segunda posição no ano de 2004 e permanecendo na mesma posição até o ano de 2009, pois a partir de 2010 assumiu a primeira colocação, mantendo-se nela até o ano de 2020.

Esse fato explica os sérios problemas relacionados ao desmatamento e a questão fundiária, pois, segundo o Imazon (2021), existe uma grande pressão por parte dos produtores rurais, os quais encontram meios para burlar a lei e poder desmatar. No anseio de frear essa situação, o governo federal criou impedimentos físicos como: criação de Terras Indígenas e Unidades de Conservação. Porém, em função da alta grilagem e a impunidade que ocorre na região, São Félix do Xingu fica no topo da lista dos municípios com maiores índices de assassinatos relacionados a conflitos de terra em todo território nacional (KAWAKUBO; MORATO; LUCHIARI, 2013).

Figura 5 - *Box Plot* do Total Desmatado Anualmente (Km²) nos municípios do estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

A Tabela 3 apresenta a estatística descritiva do Produto Interno Bruto (reais) dos municípios paraenses entre os anos de 2002 a 2018. Nela é possível observar o crescimento da média e da mediana ao longo dos anos. Cabe um destaque para a média que nos anos iniciais, até 2010, tinha um aumento mais tímido entre um ano e outro e, a partir de 2011, esse crescente aumentou a passos mais largos. O valor mínimo não teve um aumento significativo, diferente do que pode ser acompanhado no valor máximo, o qual no primeiro ano foi de 17833,38 reais e no último de 291967,1 reais.

Tabela 3 - Estatística descritiva do PIB *per capita* (reais) dos municípios do estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018.

Ano	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Coeficiente de variação
2002	3158,214468	2275,321	1101,52	17833,38	87%
2003	3577,105822	2675,655	1158,53	20254,13	84%
2004	4249,651516	3062,184	1193,93	35680,78	103%
2005	4627,204705	3369,719	1251,28	43324,64	106%
2006	5034,442971	3585,036	1346,08	45493,37	105%
2007	5337,402825	4182,896	1569,15	27067,09	79%
2008	5929,207403	4334,748	1755,69	47249,93	103%
2009	5970,259106	4696,017	1968,74	35169,5	72%
2010	7599,888493	5213,151	2758,69	93523,46	132%
2011	8866,464462	5892,128	3331,94	126330	150%
2012	9557,192567	6685,815	3573,83	114705,8	136%
2013	11202,75602	8060,336	4718,79	114387,2	119%
2014	11463,66882	8382,006	4694,41	86600,78	93%
2015	12546,1393	8809,178	4854,86	103425	91%
2016	13473,32149	10263,85	5349,33	68749,92	76%
2017	15752,54644	10741,62	5709,47	209860,5	134%
2018	16952,23256	10576,3	5408,37	291967,1	174%

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Quando analisamos o coeficiente de variação, presente na última coluna da direita da Tabela 3, vemos que a variabilidade dos dados é mais baixa do que as encontradas nas outras duas variáveis acima, o que demonstra que os dados aqui estão mais próximos da média. Além disso, é possível perceber que os dados não seguem um movimento perfeitamente ascendente. Em alguns anos, entre 2007 e 2016 a variabilidade nos dados é menor que a encontrada no primeiro ano do recorte temporal.

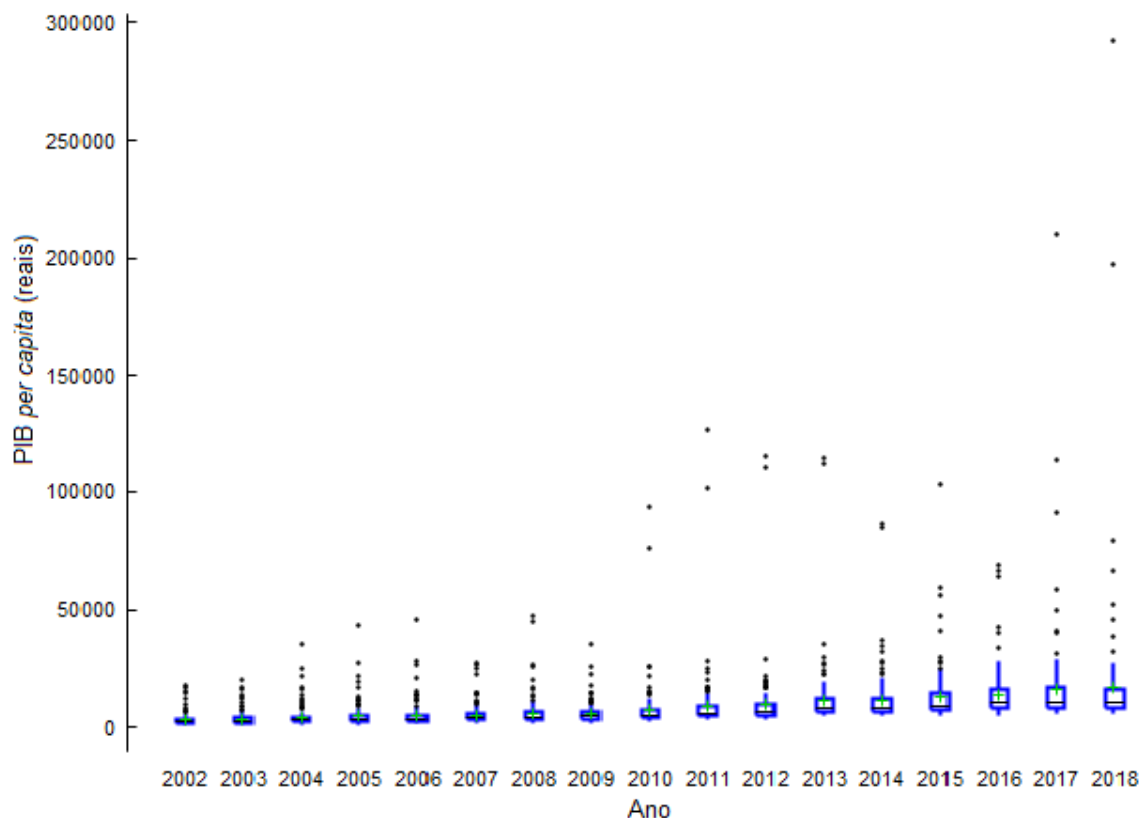
O início dessa oscilação é parte explicado pela crise que ocorreu no sistema imobiliário norte-americano a partir das hipotecas denominadas *subprime* que também afetou o Brasil e diversos outros países, principalmente, entre os anos de 2008 e 2009. No Pará, o choque se prolongou por um período mais longo devido a dinâmica dos setores produtivos do estado serem ligados à exportação, como, por exemplo, a extração mineral e a madeireira. Assim, em razão de o estado apresentar essa maior sensibilidade, ocorreu aqui um aprofundamento dos efeitos da crise, ocasionando um recuo na produção e a eliminação de postos de trabalho (TUPY; CROCCO; SILVA, 2018).

Alguns anos depois, veio a acontecer uma segunda crise nesse período, agora interna, que provocou a queda de 9% do PIB *per capita* brasileiro entre 2014 e 2016. A recessão teve origem em alguns acontecimentos e um deles foi o conjunto de políticas adotadas a partir de 2011/2012, conhecido como Nova Matriz Econômica, que diminuiu a produtividade da economia do país e, assim, o produto potencial (BARBOSA, 2017).

Une-se a isso, um segundo episódio, o choque negativo nos preços das *commodities*, o qual já havia acontecido anteriormente, mas foi mais prolongado no período de 2014 a 2016. Agora, a economia brasileira encontrava-se em uma situação de fragilidade maior. As contas primárias do governo exibiam resultados deficitários, mas, ainda pouco intensos ante os déficits futuros, a inflação já indicava uma alta e o nível de atividade da economia já desacelerava desde de 2013. Dessa forma, os efeitos provenientes da baixa dos preços das *commodities* podem ter sido ampliados, impedindo a capacidade de ação do Brasil para lidar com o choque negativo externo (LÉLIS; CUNHA; LINCK, 2019).

Quando analisamos a Figura 6, que mostra o PIB *per capita* (reais) nos municípios paraenses de 2002 a 2018, observamos que até o ano de 2009 o tamanho da caixa é bem achatado, demonstrando que a variabilidade nos dados era menor nos anos iniciais, aumentando a partir de 2010, principalmente pelo aparecimento de *outliers*, que ficaram mais evidentes desse ano em diante.

Figura 6 - *Box Plot* do PIB *per capita* (reais) nos municípios do estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Vale ressaltar que os municípios que mais se diferenciaram dos demais, em termos de valores máximos/*outliers*, foram: Parauapebas, que liderou o *raking* entre 2010 e 2011; Canaã dos Carajás, que assumiu o posto entre 2014 e 2016; e Vitória do Xingu, que teve um *boom* no PIB *per capita* nos anos de 2017 e 2018. Os dois primeiros municípios têm suas economias baseadas fortemente na extração mineral, eles fazem parte da maior região produtora de minério de ferro do estado (MONTE-CARDOSO, 2018). A retaguarda assumida por Vitória do Xingu se deu graças ao elevado valor monetário da energia produzida pela UHE de Belo Monte e a reduzida população do município (IBGE, 2021).

4.2 Aplicação do modelo econométrico

4.2.1 Modelo 1: Emissão de CO₂ e PIB *per capita*

A escolha do modelo em painel mais apropriado se fez através de alguns testes, são eles: Chow, Breusch-Pagan e Hausman. Lembra-se que o Modelo 1 tem como variável dependente a emissão de CO₂ e como variáveis independentes o PIB *per capita*, além dos seus termos ao quadrado e ao cubo. Inicialmente, realizou-se o diagnóstico do painel através do modelo *pooled*, apenas a fim de determinar qual modelo mais adequado. O Quadro 3 mostra os resultados dos testes para a seleção do modelo em painel mais apropriado para o M1, incluindo as hipóteses para cada teste, seguido de seu p-valor e a decisão mais adequada.

Quadro 3 - Modelo 1: testes para escolha do modelo em painel.

Testes	Hipóteses	p-valor	Decisão
Chow	H ₀ : Pooled		
	H ₁ : Efeitos fixos	0	Efeitos fixos
Breusch-Pagan	H ₀ : Pooled		
	H ₁ : Efeitos aleatórios	0	Efeitos aleatórios
Hausman	H ₀ : Efeito aleatórios		
	H ₁ : Efeito fixos	1,72152e-013	Efeitos fixos

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Os resultados dos testes indicam que há evidências para se rejeitar a hipótese nula em todos eles e, naturalmente, aceitar a hipótese alternativa. Conforme o quadro, há uma preferência pela escolha do modelo de efeitos fixos, pois no teste de Chow, ao comparar o modelo *pooled* e o de efeitos fixos, a decisão de escolha é pelo de EF. O teste de Breusch-Pagan escolhe o de efeitos aleatórios ao modelo *pooled*. E, por fim, o teste de Hausman indica que o modelo de efeitos fixos é preferível ao de efeitos aleatórios.

Em seguida, mediante a escolha do modelo em painel de efeitos fixos, realizou-se um novo modelo nessas especificações. No entanto, a variável PIB *per capita* e sua variação ao quadrado não se mostraram significativas, apenas seu termo cúbico (significativo a 10%), conforme pode ser observado na Tabela 4, a qual apresenta o coeficiente de cada uma das variáveis, bem como o erro padrão, a razão-T, o p-valor e o nível de significância.

Tabela 4 - Resultado da regressão para o Modelo 1 de efeitos fixos.

	Coefficiente	Erro padrão	Razão-T	p-valor	Nível de significância
Constante	6,41828	7,04268	0,9113	0,3622	-
Ln(PIB <i>per capita</i>)	3,09093	2,30510	1,341	0,1801	-
Ln(PIB <i>per capita</i>) ²	-0,396155	0,249534	-1,588	0,1125	-
[Ln(PIB <i>per capita</i>)] ³	0,0151138	0,00893541	1,691	0,0909	10%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Nesse sentido, foi necessário realizar uma nova modelagem. Testou-se agora as variáveis para a curva em seu formato quadrático, assim, removeu-se do modelo a variável PIB *per capita* ao cubo, que sustentava a hipótese da CKA em forma de “N” ou de “N” invertido. Esse novo modelo pode ser visto na Tabela 5, que mostra os resultados da regressão de efeitos fixos para dados em painel. A qual é composta pelos coeficientes estimados, seguidos do erro padrão, razão-t, p-valor e nível de significância associado a cada estimativa.

Os coeficientes estimados mostram que logaritmo natural do PIB *per capita* e sua versão ao quadrado foram significativos a 1% e 10%⁴, respectivamente, com o primeiro tendo o sinal negativo e o segundo positivo.

Tabela 5 - Resultado da regressão para o Modelo 1.1 de efeitos fixos.

	Coefficiente	Erro padrão	Razão-T	p-valor	Nível de significância
Constante	18,1715	1,14764	15,83	1,16e-053	1%
Ln(PIB <i>per capita</i>)	-0,782841	0,261624	-2,992	0,0028	1%
[Ln(PIB <i>per capita</i>)] ²	0,0251673	0,0148842	1,691	0,0910	10%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na realização da estatística de Durbin-Watson encontrou-se um p-valor “muito pequeno”, não ficando disponível um valor definido para ele. Nesse sentido, adotou-se o menor nível de significância, de 1%, em razão dessa descrição oferecida pelo software e constatou-se que os valores de d_L e d_U críticos foram 1,598 e 1,651, respectivamente. Uma vez que o d calculado, 0,723835, está abaixo de d_L , não podemos rejeitar a hipótese de que há uma autocorrelação positiva nos resíduos. No entanto, como sugerem os autores Gujarati e Porter (2011), optou-se em não realizar

⁴ Esse nível de significância de 10% sugere que a relação no formato de “U” existe, mas é pouco evidente, em outras palavras, a parábola seria menos convexa.

sua correção para não influenciar na forma da curva. A estimação do erro padrão para os coeficientes estimados foi por meio de erros padrão robustos para amenizar a autocorrelação.

Tabela 6 - Testes ajustes para o Modelo 1.1.

Testes	Estatística	p-valor	Nível de significância
Durbin - Watson	0,723835	*muito pequeno	1%
Normalidade	103,558	0,0000	1%
R ²	91,19%		

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

O p-valor associado ao teste de normalidade mostra que ele é significativo a 1% e embora o teste indique que ele não segue uma distribuição normal, de acordo com o Teorema Central do Limite, quanto maior o tamanho de uma determinada amostra, mais próxima estará de uma distribuição normal. Ou seja, quando o tamanho amostral é suficientemente grande, a distribuição da média é uma distribuição aproximadamente normal (SOARES; SOARES; EMILIANO, 2019).

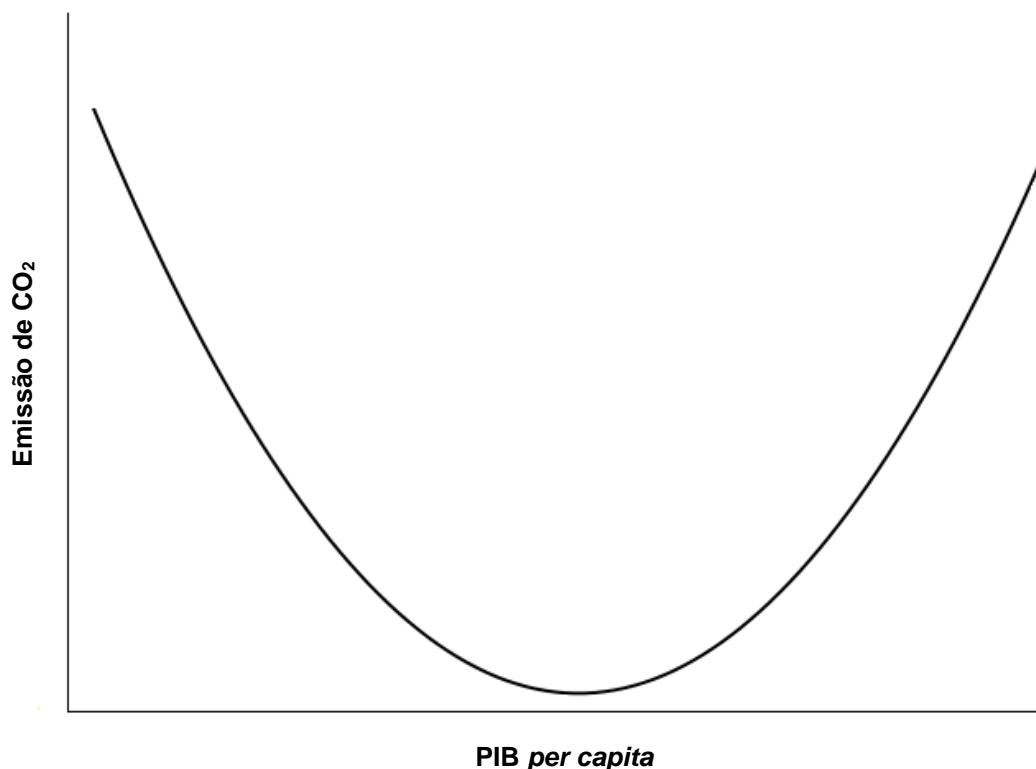
Consoante o valor encontrado no teste do R², constata-se que 91,19% das variações na variável dependente (emissão de CO₂) são explicadas pelas variáveis independentes do modelo (PIB *per capita* e PIB *per capita* ao quadrado).

O modelo pode ser escrito como

$$\ln CO_{2it} = 18,1715 - 0,7828 (\ln PIB_{percapit}) + 0,0252 (\ln PIB_{percapit})^2 \quad (3)$$

De maneira geral, o processo de emissão de CO₂ estaria conectado à dinâmica do PIB *per capita* nos municípios do estado do Pará entre 2002 e 2018. Quando observamos a Figura 7, verificamos que essa relação seria quadrática, conforme a Figura 3d. Em outras palavras, nesse recorte temporal, a emissão de CO₂ vai diminuindo à medida que o PIB *per capita* vai crescendo, mas quando ela atinge determinado ponto de inflexão, essa emissão volta a crescer, ocasionando uma curva no formato de “U”.

Figura 7 - Curva de Kuznets Ambiental nos municípios do estado do Pará entre 2002 e 2018:
Emissão de CO₂ x PIB *per capita*



Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Em razão da curva encontrada ser uma parábola com a concavidade voltada para cima, ela tem um ponto de mínimo (x, y). Assim, para descobrirmos o valor do PIB *per capita* que faz a emissão de CO₂ crescer novamente se deve calcular as coordenadas do x vértice da parábola:

Onde:

PIBpercapOT = valor do PIB *per capita* que otimiza a emissão de CO₂

$$PIBpercapOT = \frac{-b}{2 \cdot a} = \frac{-(-0,7828)}{2 \cdot (0,0252)} = \frac{0,7828}{0,0504} = 15,5317$$

Efetuando operações básicas, chega-se ao seguinte resultado:

$$PIBpercapitaOT = 15.531,70$$

Sendo assim, quando PIB *per capita* é inferior ao ponto de mínimo, R\$ 15.531,70, há uma diminuição nas emissões de CO₂, porém ao se ultrapassar esse mínimo com acréscimos no PIB *per capita* geram um aumento das emissões de CO₂.

Assim como em Queiroz, Rocha e Queiroz (2014), o resultado obtido foi oposto ao da hipótese original. Os autores estavam em busca de evidências da CKA no Brasil entre os anos de 2002 a 2010 e utilizaram o método *cross section*, mas encontraram uma curva no formato de “U”. Em outras palavras, a queda na degradação ambiental inicialmente observada foi temporária, pois houve um aumento no nível de emissão de substâncias destruidoras da camada de ozônio juntamente com o crescimento econômico.

No entanto, apesar de os níveis de significância para um formato cúbico se mostrarem não relevantes, não se descarta a probabilidade de que essa relação seja a parte inicial de um polinômio cúbico, ou seja, um “N” (nesse caso, um invertido). Com base nos dados de alguns países dos anos de 1980, 1985, 1990, 1995 e 2000, Arraes, Diniz e Diniz (2006) verificaram que o “U” invertido seria descrito somente para algumas variáveis, outras assumiram formatos diferentes, inclusive apresentando um comportamento periódico, que seria representado por um “N” invertido, apontando uma redução nos déficits em função da renda no início, mas que voltariam a aumentar com o tempo.

4.2.2 Modelo 2: Desmatamento e PIB *per capita*

Seguindo o mesmo roteiro que o M1, serão apresentados os testes para a escolha do modelo, ressaltando que o segundo modelo tem como variável dependente o Total Desmatado Anualmente e como variáveis independentes o PIB *per capita* e seus termos quadrático e cúbico. O Quadro 4 exhibe os resultados dos testes para a seleção do modelo em painel mais acertado para o M2, contendo as hipóteses de cada um teste, acompanhado de seu p-valor e a decisão mais apropriada.

Quadro 4 - Modelo 2: testes para escolha do modelo em painel.

Testes	Hipóteses	p-valor	Decisão
Chow	H ₀ : Pooled		
	H ₁ : Efeitos fixos	0	Efeitos fixos
Breusch-Pagan	H ₀ : Pooled		
	H ₁ : Efeitos aleatórios	0	Efeitos aleatórios
Hausman	H ₀ : Efeito aleatórios		
	H ₁ : Efeito fixos	8,24106e-009	Efeitos fixos

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Nesse modelo, os resultados dos testes foram os mesmos encontrados para o primeiro modelo, todos mostraram evidências para se rejeitar a hipótese nula e aceitar a alternativa. Assim sendo, há uma predominância pela escolha do modelo de efeitos fixos. No teste de Chow, a decisão de escolha é pelo modelo de EF, bem como no teste de Hausman, que indica a mesma preferência. E o teste de Breusch-Pagan recomenda que o modelo de efeitos aleatórios é mais acertado que o modelo *pooled*.

Feita a escolha pelo modelo de dados em painel de efeitos fixos, um modelo nesses moldes foi realizado. Entretanto, nenhuma das variáveis do modelo foram significativas, apenas a constante (significativa a 1%), como pode ser visto na Tabela 7. Além disso do nível de significância, pode ser observado nela o coeficiente das variáveis, bem como o erro padrão, a razão-T e o p-valor.

Tabela 7 - Resultado da regressão para o Modelo 2 de efeitos fixos.

	Coeficiente	Erro padrão	Razão-T	p-valor	Nível de significância
Constante	6,80759	2,18902	3,110	0,0023	1%
Ln(PIB <i>per capita</i>)	-0,322519	0,705633	-0,4571	0,6483	-
Ln(PIB <i>per capita</i>) ²	0,0582500	0,0746274	0,7805	0,4364	-
[Ln(PIB <i>per capita</i>)] ³	-0,0025760	0,00258214	-0,9976	0,3202	-

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Mediante o resultado encontrado no modelo inicial, realizou-se uma modelagem, removendo o termo cúbico do modelo, para testar a hipótese original de Grossman e Krueger (1991) -“U” invertido. Na Tabela 8 constam os resultados desse modelo, nela é possível notar que todas as variáveis, incluindo a constante do modelo, foram significativas a 1%. O sinal do logaritmo natural do PIB *per capita* foi positivo e da sua variação ao quadrado, negativo. Além dos coeficientes, na tabela abaixo constam o erro padrão, a razão-t, o p-valor e o nível de significância de cada estimativa.

Tabela 8 - Resultado da regressão para o Modelo 2.1 de efeitos fixos.

	Coefficiente	Erro padrão	Razão-T	p-valor	Nível de significância
Constante	4,80436	0,172053	27,92	9,35e-148	1%
Ln(PIB <i>per capita</i>)	0,337734	0,0392192	8,611	1,33e-0,17	1%
Ln(PIB <i>per capita</i>) ²	-0,0135611	0,00223102	-6,078	1,42e-09	1%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A estatística de Durbin-Watson encontrada para os dados em questão foi semelhante à do modelo 1, devido ao p-valor ser “muito baixo” para o teste de Durbin-Watson, não foi gerado um valor para se inserir na tabela. Assim, considerou-se o menor nível de significância, de 1%, e constatou-se que os valores de d_L e d_U críticos foram 1,598 e 1,651, respectivamente. Sendo o d calculado, 0,254924, abaixo de d_L , não podemos rejeitar a hipótese de que há uma autocorrelação positiva entre os resíduos. Aqui também não se realizou a correção para não influenciar no formato da curva, apenas foi feita a estimação do erro padrão para os coeficientes estimados para amenizar essa autocorrelação.

Tabela 9 - Testes ajustes para o Modelo 2.1.

Testes	Estatística	p-valor	Nível de significância
Durbin - Watson	0,254924	-	-
Normalidade	1548,948	0	1%
R ²	99,68%	-	-

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

O p-valor do teste de normalidade é igual a zero, apontando que ele é significativo ao nível de significância de 1%. No entanto, assim como no modelo anterior, o teste indica que o modelo não possui uma distribuição normal, porém, de acordo com Soares, Soares e Emiliano (2019), o Teorema Central do Limite admite que quanto maior o tamanho de uma determinada amostra, mais próxima estará de uma distribuição normal, o que se aplica ao caso em questão.

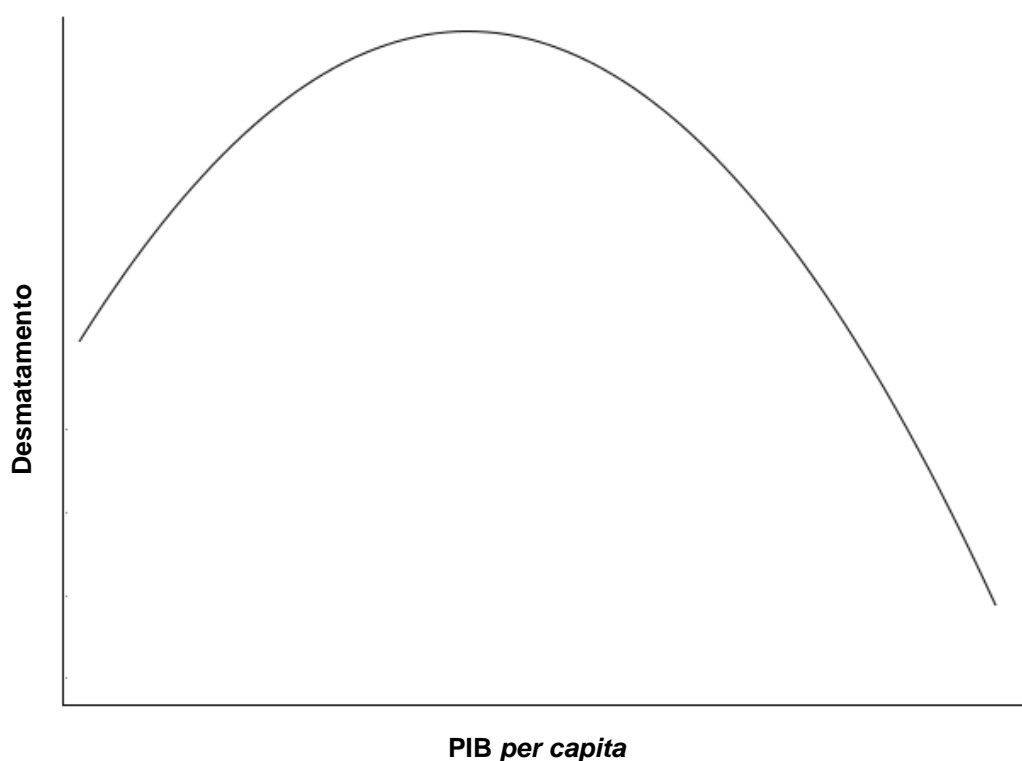
O valor R² de 0,9968 mostra que as duas variáveis explanatórias (PIB *per capita* ao quadrado e PIB *per capita* ao cubo) são responsáveis por mais de 99% da variação do Total Desmatado Anualmente no estado do Pará durante o período entre 2002 e 2018. Esse alto coeficiente de determinação demonstra que o modelo seria altamente explicado, considerando que o R² pode ser no máximo igual a 1 (100%).

O modelo pode ser escrito da seguinte maneira

$$\ln Desm_{it} = 4,8044 + 0,3377 (\ln PIBpercap_{it}) - 0,0136 (\ln PIBpercap_{it})^2 (4)$$

Assim, podemos inferir que o desmatamento estaria ligado ao PIB *per capita* entre os anos de 2002 e 2018 nos municípios paraenses. Analisando a Figura 8, verificamos que o formato encontrado é oposto ao da relação emissão de CO₂ e PIB *per capita*, pois a figura assumiu o formato proposto pela hipótese da Curva de Kuznets Ambiental, o de “U” invertido (Figura 3c). Ou seja, após o movimento ascendente inicial, a curva atinge um ponto de inflexão e, a partir de então, assume uma trajetória descendente. Além disso, essa curva poderia vir a assumir a forma de um “N” alguns anos depois, ou seja, um polinômio cúbico (Figura 3e).

Figura 8 -Curva de Kuznets Ambiental nos municípios do estado do Pará entre 2002 e 2018: Desmatamento x PIB *per capita*



Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Nesse modelo, a CKA encontrada também é uma parábola, mas com a concavidade voltada para baixo, ou seja, ela possui um ponto de máximo (x, y). Assim, para descobrirmos o valor do PIB *per capita* que faz o total desmatado anualmente diminuir foi necessário calcular as coordenadas do x vértice da parábola:

Onde:

$PIB_{percapOT}$ = valor do PIB *per capita* que otimiza o desmatamento

$$PIB_{percapOT} = \frac{-b}{2 \cdot a} = \frac{-(0,3377)}{2 \cdot (-0,0136)} = \frac{-0,3377}{-0,0272} = 12,4154$$

Efetuada operações básicas, chega-se ao seguinte resultado:

$$PIB_{percapitaOT} = 12.415,44$$

Feitos os cálculos o valor encontrado foi de R\$ 12.415,44. Sendo assim, quando o PIB *per capita* é superior ao ponto de máximo há uma diminuição no desmatamento, mas valores inferiores a esse máximo devem provocar um aumento no desmatamento.

O resultado encontrado no estudo de Panayotou (1993), um dos precursores no estudo sobre a relação degradação ambiental e crescimento econômico, conversa com o do presente trabalho. O autor utilizou a metodologia de dados em painel e seus resultados apontam para uma curva no formato de “U” invertido. Por outro lado, não descartando a possibilidade de que essa seria a primeira parte de uma curva no formato de N, os autores Carvalho *et al.* (2020) também encontraram indícios para esse mesmo formato quando analisavam a relação da renda proveniente do Programa Bolsa Verde (PBV) com o desmatamento nos estados da Amazônia Legal, no período 2011-2015.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação analisou se para o estado do Pará uma relação na forma de “U” invertido existe entre o crescimento econômico e a degradação ambiental no período compreendido entre os anos de 2002 a 2018, conforme descrito acima. Para isso, realizaram-se dois modelos, os quais tiveram como variáveis dependentes a emissão de CO₂ e o desmatamento. E como variáveis independentes foram testados o PIB *per capita*, além de seus termos quadrático e cúbico. Ademais, analisou-se o comportamento da degradação ambiental e do crescimento econômico no estado no recorte temporal proposto, modelou-se uma CKA para o estado do Pará para cada um dos dois modelos no mesmo recorte temporal acima citado e avaliou-se os formatos de ambas as CKA propostas.

Na análise realizada acerca da degradação ambiental entre os anos de 2002 a 2018 no Pará, observou-se que houve uma redução nas emissões de CO₂ (t) no recorte temporal estudado, o que ficou evidente através da média e da mediana que foram diminuindo com o passar dos anos. Entre os municípios com as maiores emissões estão São Félix do Xingu, que deteve 15 dos 17 valores máximos, e Altamira, que foi responsável pelos outros dois. Conforme o Seeg (2021), o principal responsável pela alta da emissão naquele município é o setor de “Mudança de Uso da Terra e Floresta”.

De outro modo, a partir do ano de 2010 os dados começaram a se diferenciar menos uns dos outros e uma das explicações seria o fortalecimento da política ambiental que avançou de forma mais acelerada entre 2000 e 2015, com destaque para a Lei Complementar 140/2011 que veio disciplinar o Artigo 23 da Constituição Federal, a fim de harmonizar e uniformizar a atuação entre os entes federados, evitar sobreposições e tornar a gestão ambiental mais eficiente. Além disso, os marcos no âmbito ambiental geraram um debate massivo ocasionando uma maior consciência ambiental entre a sociedade civil (MOURA, 2016).

No que diz respeito ao desmatamento no estado, observou-se um crescimento ao longo dos anos. Quando se compara com os dados da emissão, verifica-se que o Total Desmatado Anualmente (Km²) pelos municípios entre os anos de 2002 e 2018 é mais próximo à média do que CO₂ emitido por eles. Assim como na variável anterior, São Félix do Xingu acabou recebendo destaque sendo o município que mais

desmatou no estado paraense. Uma das razões é o desenvolvimento da atividade agropecuária em larga escala na região (KAWAKUBO; MORATO; LUCHIARI, 2013).

Ressalta-se que o município possui o maior rebanho bovino do Brasil (IBGE, 2021). Em razão disso, o ente enfrenta graves problemas com o desmatamento e a questão fundiária, apesar das ações do governo federal na tentativa de frear essa situação (IMAZON, 2021). Conforme Kawakubo, Morato e Luchiarri (2013), como consequência, São Félix do Xingu lidera o *raking* de municípios com maiores índices de assassinatos com motivação ligada a conflitos de terra em todo o país.

Na análise relativa ao crescimento econômico, verificou-se, através do PIB *per capita*, que houve um crescimento ao longo dos anos, principalmente a partir de 2011. Apesar de constatarmos que os dados aqui estão mais próximos da média que as duas variáveis anteriores, entre os anos de 2007 e 2016 a variabilidade é menor que a encontrada no período inicial do estudo e parte dessa oscilação é uma consequência da crise de 2008 e 2009 no sistema imobiliário norte-americano. No estado, o impacto foi maior em função da dinâmica dos setores produtivos ligados à exportação. Nesse sentido, Tupy, Crocco e Silva (2018) afirmam que devido a essa sensibilidade houve um aprofundamento dos efeitos da crise, provocando um recuo na produção e causando desemprego.

Além da crise externa, Barbosa (2017) afirma que entre os anos de 2014 e 2016 o nosso Produto Interno Bruto foi afetado por uma crise com origem em um conjunto de políticas adotadas a partir dos anos de 2011 e 2012, conhecido como Nova Matriz Econômica. Além dos mais, um terceiro fator que afetou essa oscilação foi o choque negativo nos preços das *commodities*, também no período de 2014 a 2016. Segundo Lélis, Cunha e Linck (2019), o governo estava com déficits em suas contas primárias, a inflação já sugeria uma alta e desde de 2013 o nível de atividade econômica vinha se arrastando - o que, provavelmente, aumentou os efeitos da baixa dos preços das *commodities*, dificultando que o país pudesse lidar com o choque negativo externo.

A análise das três variáveis presentes no estudo acima apresentada mostrou como cada uma delas se comportou individualmente, mas para entender a relação existente entre elas realizaram-se dois modelos para as relacionarem entre si. O primeiro deles, conforme acima exposto, relacionou o PIB *per capita* com a emissão de CO₂ entre os anos de 2002 e 2018. Na modelagem verificou-se, após testes, que o modelo mais adequado seria o de efeitos fixos, e embora tenha sido testado o termo cúbico do PIB *per capita*, o modelo não se mostrou significativo, indicando que a

relação entre as duas variáveis em questão não seria polinomial de terceiro grau. Em outros termos, essa curva não seria em formato de “N” ou “N” invertido.

Sendo assim, estimou-se um novo modelo, considerando apenas o PIB *per capita* e seu termo ao quadrado. Nessa nova configuração, todas as variáveis se apresentaram significativas em algum nível de significância, o que indica que a relação entre o PIB *per capita* e a emissão de CO₂ seria quadrática, ou seja, teria um formato de “U”, pois o sinal do PIB *per capita* foi negativo e do PIB *per capita* ao quadrado foi positivo. Assim, no estado do Pará, entre os anos de 2002 e 2018, o que se observou foi um movimento descendente em um primeiro momento entre a emissão de CO₂ e o PIB *per capita* até que se atingiu o ponto de mínimo da curva, marcando a mudança para a sua parte ascendente.

Queiroz, Rocha e Queiroz (2014) chegaram a esse mesmo formato quando buscavam evidências da CKA no Brasil entre os anos de 2002 a 2010. A queda na degradação ambiental inicialmente observada por eles foi temporária, pois houve um aumento no nível de emissão de substâncias destruidoras da camada de ozônio juntamente com o crescimento econômico. Embora tenha sido descartado um formato cúbico no recorte temporal estudado, não se pode rejeitar a possibilidade de estamos analisando a parte inicial de um “N” um invertido, conforme Arraes, Diniz e Diniz (2006) encontraram para algumas variáveis, o que representaria um comportamento periódico.

Ademais, por meio do modelo proposto foi possível verificar que um PIB *per capita* de R\$ 15.531,70 minimiza as emissões de CO₂. Ou seja, quando os municípios paraenses tiverem valores inferiores a esse significa que as emissões de dióxido de carbono baixam, porém, ao superá-lo há um aumento na sua emissão. É substancial destacar que municípios que ultrapassem esse PIB *per capita* estariam crescendo de forma a degradar o meio ambiente. Abrindo, assim, precedentes para uma intervenção, a fim de incentivar o crescimento econômico através de tecnologias limpas.

O segundo modelo seguiu os mesmos passos do anterior, com a diferença que a relação analisada foi entre o desmatamento e o PIB *per capita*. Na realização da modelagem, constatou-se que o modelo que mais se aplicava era o de efeitos fixos e, assim como no M1, mediante a realização dos testes, o termo cúbico do PIB *per capita* não se mostrou significativo, descartando uma curva no formato de “N” ou sua versão invertida, pelo menos *a priori*.

Por conseguinte, realizou-se a estimação do novo modelo com a omissão da variação cúbica do PIB *per capita*. Nos resultados dos testes o p-valor de todas as variáveis e a constante se mostraram significativas a 1%, demonstrando um alto nível de significância. Sendo assim, o nosso modelo seria quadrático, mas diferente do encontrado no anterior, o seu formato foi “U” invertido, assim como propõe a hipótese original da CKA. Nesse sentido, quando avaliamos a relação crescimento econômico e degradação ambiental da perspectiva do desmatamento e do PIB *per capita*, observamos que à medida que o crescimento econômico avança e atinge o ponto de máximo, a degradação do meio ambiente começa a decair.

Este resultado é o mesmo encontrado no estudo de Panayotou (1993), o qual utilizou da metodologia de dados em painel - a mesma adotada aqui. Assim como no M1, existe também a possibilidade de estarmos avaliando o início de um polinômio cúbico que anos depois pode ser revelado, assim como encontrado em Carvalho *et al.* (2020) quando estudavam a CKA para os estados da Amazônia Legal, no período 2011-2015. Além disso, através da realização do modelo foi possível constatar que um PIB *per capita* de R\$ 12.415,44 frearia o desmatamento nos municípios do estado do Pará. Em outras palavras, valores iguais ou superiores a esse mitigariam a ação danosa do desmatamento, proporcionando uma melhora ao meio ambiente.

Embora o modelo 2 tenha tido um resultado promissor, ressalta-se que o desmatamento é apenas umas das ações que degradam e, além disso, conforme destacado por outros autores, não se deve esperar de algum modo que haja um certo automatismo no controle do desmatamento apenas por se atingir um determinado PIB *per capita*. Ressalta-se que mesmo em períodos de crescimento do PIB é essencial que compromissos sejam assumidos por parte de cada ente federativo com a redução da degradação ambiental, adotando políticas que auxiliem nessa tarefa (CARVALHO, 2008).

E, para além disso, é fundamental que essas ações para remediar a degradação do meio ambiente não se restrinjam a períodos de crescimento econômico, apenas para auxiliar esse processo, pois, diferente do último modelo, o resultado encontrado na relação emissão de CO₂ e o PIB *per capita* exige que acordos ambientais possam ter mais efetividade. De acordo Catalán (2014), é necessário considerar a capacidade institucional dos governos para alcançarem reduções relevantes na degradação do meio ambiente através da implementação de políticas.

Nesse sentido, os resultados não nos dão evidências contundentes para inferir acerca da existência da CKA, pelo menos não no seu formato original, para o estado do Pará entre os anos de 2002 e 2018. Visto que no modelo 1, que relacionou a emissão de dióxido de carbono e o PIB *per capita*, o formato encontrado foi de “U” e no modelo 2, o qual relacionou o total desmatado anualmente com o PIB *per capita*, o formato foi de “U” invertido, conforme descrito pela hipótese de Grossman e Krueger (1991).

Uma das possíveis razões para isso seja a ausência de mais variáveis explanatórias, que embora existam, algumas vezes não estão disponíveis por períodos mais longos ou apresentem lacunas nos recortes escolhidos, além de alguns dados mais recentes só aparecerem em relatórios, o que dificulta a tabulação. Ademais, para alguns municípios alguns dados não ficam disponíveis, as vezes em razão da sua criação ser recente. Outra dificuldade se encontra no fato de existirem poucos estudos acerca da relação para municípios do estado, o que pode ser visto também como oportunidade para a realização de trabalhos futuros, estudando, inclusive, mais variáveis.

Por fim, apesar da divergência entre os resultados dos dois modelos, podemos concluir que para proporcionar uma redução na degradação do meio ambiente, mantendo o pleno crescimento econômico, seria necessário a implementação de políticas por parte dos entes federativos. Pois, conforme destacado, a partir dos anos em que se fortaleceram as políticas ambientais, com destaque para a Lei Complementar 140/2011, foi observada, ainda que tímida, uma proteção maior ao meio ambiente. Dessa maneira, temos uma ideia da importância de ações como essa. Além disso, os marcos relativos as questões ambientais possuem também um papel essencial, pois propiciam o debate e são a origem de muitas das iniciativas que pensam o crescimento econômico atrelado a melhorias nas condições ambientais.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Carlos Henrique Coêlho de. **Manual de introdução ao pacote econométrico Gretl**. 2013.
- ARRAES, Ronaldo A.; DINIZ, Marcelo B.; DINIZ, Márcia JT. **Curva ambiental de Kuznets e desenvolvimento econômico sustentável**. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 44, n. 3, p. 525-547, 2006.
- AVELINO, Bárbara Afonso *et al.*. **Saúde ambiental e crescimento econômico nos municípios brasileiros: teste das hipóteses da curva de Kuznets ambiental e da transição epidemiológica**. 2018.
- ÁVILA, Ednilson Sebastião de; DINIZ, Eliezer Martins. **Evidências sobre curva ambiental de Kuznets e convergência das emissões**. Estudos Econômicos (São Paulo), v. 45, n. 1, p. 97-126, 2015.
- ASSIS, L. F. F. G.; FERREIRA, K. R.; Vinhas, L.; MAURANO, L.; ALMEIDA, C.; CARVALHO, A.; RODRIGUES, J.; MACIEL, A.; CAMARGO, C. **TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping**. ISPRS International Journal of Geo-Information., 8, 513, 2019.
- BARBOSA, William *et al.*. **Uma análise da curva de Kuznets para os municípios brasileiros (1991, 2000, 2010)**. Economia & Região, v. 5, n. 2, p. 65-83.
- BARBOSA, Fernando de Holanda. **A crise econômica de 2014/2017**. Estudos avançados, v. 31, p. 51-60, 2017.
- BRITO, Ricardo Alves de. **Curva de Kuznets ambiental: uma revisão teórica e aplicação para a Amazônia legal**. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- CARSON, Rachel L. **Primavera Silenciosa**. Tradução Claudia Sant'Ana Martins. São Paulo: Gaia, 2010.
- CARVALHO, Abner Vilhena de *et al.*. **Análise do Programa Bolsa Verde na Amazônia Legal sob a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental**. REVISTA CIÊNCIAS DA SOCIEDADE, v. 4, n. 7, p. 69-89, 2020.
- CARVALHO, Rhayza Alves Figueiredo de. **Análise do Desenvolvimento na região de Integração do baixo Amazonas: Três ensaios sobre a perspectiva includente, sustentado e sustentável**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Oeste do Pará.
- CARVALHO, Sandro Sacchet de. **A relação entre crescimento e o meio ambiente: uma reavaliação da curva de Kuznets ambiental**. Texto para Discussão, 2013.
- CARVALHO, T. S. **A hipótese da Curva de Kuznets Ambiental global e o Protocolo de Quioto**. UFJF, Juiz de Fora, 2008.

CARVALHO, Terciane Sabadini; ALMEIDA, Eduardo. **A hipótese da curva de Kuznets ambiental global**: uma perspectiva econométrico-espacial. *Estudos Econômicos* (São Paulo), v. 40, n. 3, p. 587-615, 2010.

CATALÁN, Horacio. **Curva ambiental de Kuznets**: implicaciones para un crecimiento sustentable. *Economía Informa*, v. 389, p. 19-37, 2014.

CECHIN, Andrei. **A natureza como limite da economia**: a contribuição de Geogescu Roegen. São Paulo: Editora Senac, 2010.

CUNHA, Cleyzer Adrian; SCALCO, Paulo Roberto. **Crescimento econômico brasileiro e emissão de CO₂**. 2013.

FAPESPA. **Relatório PIB Pará 2018**. Pará, 2020. Disponível em: <http://www.fapespa.pa.gov.br/produto/contasregionais/261>. Acesso em: 23 jan. 2021.

FEARNSIDE, Philip M. **A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Manaus, AM. 134 p, 2003a.

_____. **Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle**. *Acta amazônica*, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

FONSECA, A. *et al.* **Boletim do desmatamento da Amazônia Legal (dezembro 2020) SAD (p. 1)**. Belém: Imazon, 2021.

FONSECA, Larissa Nacif *et al.* **Preservação ambiental e crescimento econômico no Brasil**. In: *Anais do XXXII Encontro Nacional de Economia*. ANPEC, 2004.

FRANCO, Tânia; DRUCK, Graça. **Padrões de industrialização, riscos e meio ambiente**. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 3, p. 61-72, 1998.

GREENE, William. **Functional forms for the negative binomial model for count data**. *Economics Letters*, v. 99, n. 3, p. 585-590, 2008.

GROSSMAN, Gene M.; KRUEGER, Alan B. **Environmental impacts of a North American free trade agreement**. National Bureau of economic research, 1991.

_____. **Economic growth and the environment**. *The quarterly journal of economics*, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1995.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. **Econometria básica-5**. Amgh Editora, 2011.

HSIAO, C. **Analysis of panel data**. 2nd edn. Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 19 jan. 2021.

_____. **Contagem da População.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9065-contagem-da-populacao.html?edicao=10189&t=o-que-e>. Acesso em: 18 mar. 2021.

_____. **Estimativas da População.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>. Acesso em: 01 fev. 2021.

_____. **Produto Interno Bruto dos Municípios.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938>. Acesso em: 01 fev. 2021.

_____. **IBGE Cidades, Panorama.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/panorama>. Acesso em: 07 fev. 2021.

_____. **IBGE Cidades e Estados.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/vitoria-do-xingu.html>. Acesso em: 05 nov. 2021.

_____. **Relatório Rebanho Bovino.** Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=784>. Acesso em: 04 nov. 2021.

_____. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias: 2017** / IBGE, Coordenação de Geografia. - Rio de Janeiro : IBGE, 2017.

IMAZON. **Pará é o estado que tem mais Área Protegidas que sofrem pressão e ameaça de desmatamento na Amazônia.** Disponível em: <https://imazon.org.br/imprensa/para-estado-com-mais-areas-protegidas-que-sofrem-pressao-e-ameaca-de-desmatamento-na-amazonia/>. Acesso em: 14 mar. 2021.

JALIL, Abdul; MAHMUD, Syed F. **Environment Kuznets curve for CO2 emissions: a cointegration analysis for China.** Energy policy, v. 37, n. 12, p. 5167-5172, 2009.

KAWAKUBO, Fernando Shinji; MORATO, Rubia Gomes; LUCHIARI, Ailton. **Mapeamento do desmatamento em São Félix do Xingú utilizando composição colorida multitemporal de imagens frações sombra.** Revista da ANPEGE, v. 9, n. 11, p. 119-133, 2013.

KUZNETS, Simon Smith. **Economic growth and income inequality.** American Economic Review, vol. 45, Março, 1955.

LÉLIS, Marcos Tadeu Caputi; CUNHA, André Moreira; LINCK, Priscila. **O choque nos preços das commodities e a economia brasileira nos anos 2000.** Brazilian Journal of Political Economy, v. 39, p. 427-448, 2019.

LOUREIRO, A.; COSTA, L. **Uma breve discussão sobre os modelos com dados em painel.** Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Estratégia Económica do Ceará (IPECE), 2009.

LUCENA, AFP de. **Estimativa de uma Curva de Kuznets Ambiental Aplicada ao Uso de Energia e suas Implicações para as Emissões de Carbono no Brasil**. 2005. 124 f. 2015. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Economia)-PPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

MONTE-CARDOSO, Daniel et al. **Mineração e subdesenvolvimento: impactos da atividade mineradora nos municípios de Canaã dos Carajás, Marabá e Parauapebas (2004-2015)**. UNICAMP, 2018.

MOURA, Adriana Maria Magalhães de Organizadora. **Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas**. IPEA, 2016.

OLIVEIRA, Rejane Corrêa de. **Curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal**. Juiz de Fora, 2009.

OLIVEIRA, Rejane Corrêa de *et al.*... **Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: uma análise da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia legal**. Revista de economia e sociologia rural, v. 49, n. 3, p. 709-739, 2011.

PANAYOTOU, Theodore *et al.*... **Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development**. International Labour Organization, 1993.

PEREIRA, Frantiesca Cheiran. **Desflorestamento no estado do Mato Grosso e a expansão da fronteira agrícola: uma análise econométrica**. 2016.

PRATES, R.C. **O desmatamento desigual na Amazônia brasileira: sua evolução, suas causas e consequências para o bem-estar**. 2008. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-06082008-162358/pt-br.php>. Acesso em: 11 fev. 2021.

PRODES. **Desmatamento nos Municípios**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. Acesso em: 02 fev. 2021.

QUEIROZ, Indiane Azevedo; ROCHA, Thiago; QUEIROZ, Índia Azevedo. **Crescimento econômico com desenvolvimento sustentável: uma análise acerca da curva ambiental de Kuznets no Brasil entre 2002 a 2010**. UNIMONTES, Minas Gerais, 2014.

ROCHA, L. A.; KHAN, A. S.; LIMA, P. V. P. S. **Nível tecnológico e emissão de poluentes: uma análise empírica a partir da curva de kuznets ambiental**. Econ. Apl., v. 17, n. 1, p. 21-47, 2013.

ROSA, Thais Santana da et al. **Crescimento econômico e desigualdade de oportunidades: uma análise para os estados brasileiros**. 2016.

SALES, Vilane Gonçalves. **A curva de Kuznets ambiental (CKA) para o bioma caatinga no estado de Pernambuco**. Recife, 2015.

SAMUELSON, Paul A.; KOOPMANS, Tjalling C.; STONE, J. RICHARD N. **Report of the evaluative committee for Econometrica**. 1954.

SANTOS, Leandro Gustavo Albertão dos. **Crescimento Econômico e Meio Ambiente no Brasil**: uma abordagem econométrica. 2019.

SEEG. **Emissão por município**. Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/map>. Acesso em: 05 de mar. 2021.

_____. **Raking da emissão por estado**. Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/map>. Acesso em: 11 mar. 2021.

_____. **Análise das Emissões Brasileiras de Gases do Efeito Estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019**. Disponível em: https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_8/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf. Acesso em: 14 mar. 2021.

SELDEN, Thomas M.; SONG, Daqing. **Environmental quality and development**: is there a Kuznets curve for air pollution emissions?. *Journal of Environmental Economics and management*, v. 27, n. 2, p. 147-162, 1994.

SERRANO, A. L. M.; LOUREIRO, P. R. A.; NOGUEIRA, J. M. **Evidência da Curva de Kuznets Ambiental no Brasil**: uma análise do crescimento econômico e poluição. *Revista Economia e Desenvolvimento*, v. 13, n. 2, p. 304–314, 2014.

SHAFIK, Nemat; BANDYOPADHYAY, Sushenjit. **Economic growth and environmental quality**: time-series and cross-country evidence. World Bank Publications, 1992.

SILVA, Valquíria Soares da; SOARES, Thiago Costa. **Análise da Curva Ambiental de Kuznets para um conjunto de países utilizando regressão quantílica**. *Revista de Desenvolvimento e Políticas Públicas*, v. 3, n. 1, p. 17-27, 2019.

SOARES, Denilson Junio Marques; SOARES, Talita Emidio Andrade; EMILIANO, Paulo César. **Uma aplicação do teorema central do limite**. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 12, p. 32165-32173, 2019.

STERN, David I.; COMMON, Michael S.; BARBIER, Edward B. **Economic growth and environmental degradation**: the environmental Kuznets curve and sustainable development. *World development*, v. 24, n. 7, p. 1151-1160, 1996.

STERN, David I. **The rise and fall of the environmental Kuznets curve**. *World development*, v. 32, n. 8, p. 1419-1439, 2004.

TUPY, Igor Santos; CROCCO, Marco; SILVA, Fernanda Faria. **Resiliência e impactos regionais de crises financeiras: uma análise para os estados brasileiros-2007/08**. *Economia e Sociedade*, v. 27, p. 607-636, 2018.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE - WWF. **Missão Global**. Disponível em: <http://www.natureza-portugal.org/wwf2/>. Acesso em: 20 dez 2020.

APÊNDICE

APÊNDICE A -RESULTADOS APLICAÇÃO DO MODELO ECONOMÉTRICO MODELO 1: EMISSÃO DE CO₂ E PIB PER CAPITA

Modelo 1: MQO agrupado, usando 2431 observações

Incluídas 143 unidades de corte transversal

Comprimento da série temporal = 17

Variável dependente: I_CO2

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	61,0828	19,8475	3,078	0,0021	***
I_PIBpercap	-16,9056	6,49244	-2,604	0,0093	***
sq_I_PIBpercap	1,92596	0,702812	2,740	0,0062	***
I_PIBpercap_cub	-0,0706674	0,0251740	-2,807	0,0050	***

o

Média var. dependente	13,27660	D.P. var. dependente	1,719779
Soma resíd. quadrados	6904,544	E.P. da regressão	1,686680
R-quadrado	0,039309	R-quadrado ajustado	0,038122
F(3, 2427)	33,10228	P-valor(F)	5,77e-21
Log da verossimilhança	-4718,272	Critério de Akaike	9444,544
Critério de Schwarz	9467,728	Critério Hannan-Quinn	9452,973
rô	0,946547	Durbin-Watson	0,067465

Diagnósticos: utilizando 143 unidades de corte transversal

Estimador de efeitos fixos

permite diferenciar os interceptos por unidade de corte transversal

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	6,41828	7,04268	0,9113	0,3622
I_PIBpercap	3,09093	2,30510	1,341	0,1801
sq_I_PIBpercap	-0,396155	0,249534	-1,588	0,1125
I_PIBpercap_cubo	0,0151138	0,00893541	1,691	0,0909 *

Variância residual: $632,204 / (2431 - 146) = 0,276676$

Significância conjunta da diferenciação das médias de grupo:

$F(142, 2285) = 159,65$ com p-valor 0

(Um p-valor baixo contraria a hipótese nula de que o modelo MQO agrupado (pooled) é adequado, validando a hipótese alternativa da existência de efeitos fixos.)

Variance estimators:

between = 2,06063

within = 0,276676

theta used for quasi-demeaning = 0,911478

Estimador de efeitos aleatórios
permite um componente específico para a unidade no termo do erro

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	7,46264	7,12019	1,048	0,2947
I_PIBpercap	2,73576	2,33015	1,174	0,2405
sq_I_PIBpercap	-0,357499	0,252251	-1,417	0,1565
I_PIBpercap_cubo	0,0137743	0,00903293	1,525	0,1274

Estatística de teste Breusch-Pagan:

LM = 13414,1 com p-valor = $\text{prob}(\text{qui-quadrado}(1) > 13414,1) = 0$

(Um p-valor baixo contraria a hipótese nula de que o modelo MQO agrupado (pooled) é adequado, validando a hipótese alternativa da existência de efeitos aleatórios.)

Estatística de teste de Hausman:

H = 62,4956 com p-valor = $\text{prob}(\text{qui-quadrado}(3) > 62,4956) = 1,72152\text{e-}013$

(Um p-valor baixo contraria a hipótese nula de que o modelo de efeitos aleatórios é consistente, validando a hipótese alternativa da existência do modelo de efeitos fixos.)

Modelo 2: Efeitos-fixos, usando 2431 observações

Incluídas 143 unidades de corte transversal

Comprimento da série temporal = 17

Variável dependente: I_CO2

Erros padrão robustos (HAC)

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	6,41828	11,8972	0,5395	0,5904
I_PIBpercap	3,09093	3,80467	0,8124	0,4179
sq_I_PIBpercap	-0,396155	0,400573	-0,9890	0,3244
I_PIBpercap_cubo	0,0151138	0,0138576	1,091	0,2773

Média var. dependente 13,27660 D.P. var. dependente 1,719779

Soma resíd. quadrados 632,2040 E.P. da regressão 0,526000

R-quadrado LSDV 0,912036 R-quadrado por dentro 0,120024

Log da verossimilhança -1812,348 Critério de Akaike 3916,697

Critério de Schwarz 4762,921 Critério Hannan-Quinn 4224,353

rô 0,587844 Durbin-Watson 0,726112

Teste conjunto nos regressores designados -

Estatística de teste: $F(3, 142) = 17,7604$

com p-valor = $P(F(3, 142) > 17,7604) = 7,61587\text{e-}010$

Teste robusto para diferenciar interceptos de grupos -

Hipótese nula: Os grupos têm um intercepto comum

Estatística de teste: Welch $F(142, 773,4) = 154,157$
 com p-valor = $P(F(142, 773,4) > 154,157) = 0$

Teste no Modelo 2

Hipótese nula: o parâmetro de regressão é igual a zero para $I_PIBpercap_cubo$
 Estatística de teste: $F(1, 142) = 1,18951$, p-valor 0,277276
 A exclusão de variáveis melhorou 2 de 3 critérios de informação.

Modelo 4: Efeitos-fixos, usando 2431 observações
 Incluídas 143 unidades de corte transversal
 Comprimento da série temporal = 17
 Variável dependente: I_CO2
 Omitido devido a colinearidade exata: const

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	18,1715	1,14764	15,83	1,16e-053 ***
$I_PIBpercap$	-0,782841	0,261624	-2,992	0,0028 ***
$sq_I_PIBpercap$	0,0251673	0,0148842	1,691	0,0910 *

Média var. dependente	13,27660	D.P. var. dependente	1,719779
Soma resíd. quadrados	632,9955	E.P. da regressão	0,526214
R-quadrado LSDV	0,911926	R-quadrado por dentro	0,118922
$F(144, 2286)$ LSDV	164,3705	P-valor(F)	0,000000
Log da verossimilhança	-1813,869	Critério de Akaike	3917,739
Critério de Schwarz	4758,167	Critério Hannan-Quinn	4223,288
$r\hat{o}$	0,588166	Durbin-Watson	0,723835

Teste conjunto nos regressores designados -
 Estatística de teste: $F(2, 2286) = 154,275$
 com p-valor = $P(F(2, 2286) > 154,275) = 1,41687e-063$

Teste para diferenciar interceptos de grupos -
 Hipótese nula: Os grupos têm um intercepto comum
 Estatística de teste: $F(142, 2286) = 160,071$
 com p-valor = $P(F(142, 2286) > 160,071) = 0$

Teste de Wald independente da distribuição para heteroscedasticidade:
 Qui-quadrado(143) = 4528,62, com p-valor = 0

Estatística de teste para normalidade:
 Qui-quadrado(2) = 103,558 [0,0000]

Estatística de Durbin-Watson = 0,723835
 p-value é "muito pequeno" (a integral de Imhof não poderia ser avaliada, assim um valor definido não está disponível)

Teste CD de Pesaran para a dependência de corte transversal

Estatística de teste: $z = 73,475485$,
 com $p\text{-valor} = P(|z| > 73,4755) = 0$
 Average absolute correlation = 0,385

APÊNDICE B -RESULTADOS APLICAÇÃO DO MODELO ECONOMÉTRICO MODELO 2: DESMATAMENTO E PIB *PER CAPITA*

Modelo 1: MQO agrupado, usando 2414 observações

Incluídas 142 unidades de corte transversal

Comprimento da série temporal = 17

Variável dependente: I_Desm

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	12,3844	15,1478	0,8176	0,4137
$I_PIBpercap$	-3,93442	4,95501	-0,7940	0,4273
$sq_I_PIBpercap$	0,606642	0,536364	1,131	0,2582
$I_PIBpercap_cubo$	-0,0262979	0,0192110	-1,369	0,1712

Média var. dependente 6,709747 D.P. var. dependente 1,355138
 Soma resíd. quadrados 3984,222 E.P. da regressão 1,285770
 R-quadrado 0,100876 R-quadrado ajustado 0,099757
 F(3, 2410) 90,12919 P-valor(F) 2,81e-55
 Log da verossimilhança -4030,093 Critério de Akaike 8068,187
 Critério de Schwarz 8091,343 Critério Hannan-Quinn 8076,609
 $r\hat{o}$ 0,999094 Durbin-Watson 0,005849

Excluindo a constante, a variável com maior p-valor foi 8 ($I_PIBpercap$)

Diagnósticos: utilizando 142 unidades de corte transversal

Estimador de efeitos fixos

permite diferenciar os interceptos por unidade de corte transversal

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	6,80759	1,05514	6,452	1,35e-010 ***
$I_PIBpercap$	-0,322519	0,345353	-0,9339	0,3505
$sq_I_PIBpercap$	0,0582500	0,0373855	1,558	0,1194
$I_PIBpercap_cubo$	-0,00257602	0,00133871	-1,924	0,0544 *

Variância residual: $14,0878 / (2414 - 145) = 0,0062088$

Significância conjunta da diferenciação das médias de grupo:

$F(141, 2269) = 4535,01$ com p-valor 0

(Um p-valor baixo contraria a hipótese nula de que o modelo MQO agrupado (pooled) é adequado, validando a hipótese alternativa da existência de efeitos fixos.)

Variance estimators:

between = 1,41054
 within = 0,0062088
 theta used for quasi-demeaning = 0,983911

Estimador de efeitos aleatórios

permite um componente específico para a unidade no termo do erro

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	6,81868	1,06799	6,385	2,05e-010 ***
I_PIBpercap	-0,326626	0,348009	-0,9386	0,3481
sq_I_PIBpercap	0,0587251	0,0376730	1,559	0,1192
I_PIBpercap_cubo	-0,00259323	0,00134901	-1,922	0,0547 *

Estatística de teste Breusch-Pagan:

LM = 17258,6 com p-valor = $\text{prob}(\text{qui-quadrado}(1) > 17258,6) = 0$

(Um p-valor baixo contraria a hipótese nula de que o modelo MQO agrupado (pooled) é adequado, validando a hipótese alternativa da existência de efeitos aleatórios.)

Estatística de teste de Hausman:

H = 40,5263 com p-valor = $\text{prob}(\text{qui-quadrado}(3) > 40,5263) = 8,24106\text{e-}009$

(Um p-valor baixo contraria a hipótese nula de que o modelo de efeitos aleatórios é consistente, validando a hipótese alternativa da existência do modelo de efeitos fixos.)

Modelo 6: Efeitos-fixos, usando 2414 observações

Incluídas 142 unidades de corte transversal

Comprimento da série temporal = 17

Variável dependente: I_Desm

Erros padrão robustos (HAC)

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	6,80759	2,18902	3,110	0,0023 ***
I_PIBpercap	-0,322519	0,705633	-0,4571	0,6483
sq_I_PIBpercap	0,0582500	0,0746274	0,7805	0,4364
I_PIBpercap_cubo	-0,00257602	0,00258214	-0,9976	0,3202

Média var. dependente 6,709747 D.P. var. dependente 1,355138

Soma resíd. quadrados 14,08777 E.P. da regressão 0,078796

R-quadrado LSDV 0,996821 R-quadrado por dentro 0,347000

Log da verossimilhança 2783,169 Critério de Akaike -5276,337

Critério de Schwarz -4436,927 Critério Hannan-Quinn -4971,049

rô 0,665961 Durbin-Watson 0,256433

Teste conjunto nos regressores designados -

Estatística de teste: $F(3, 141) = 47,0022$

com p-valor = $P(F(3, 141) > 47,0022) = 4,05507\text{e-}021$

Teste robusto para diferenciar interceptos de grupos -
 Hipótese nula: Os grupos têm um intercepto comum
 Estatística de teste: Welch $F(141, 767,8) = 646,197$
 com p-valor = $P(F(141, 767,8) > 646,197) = 0$

Teste no Modelo 6

Hipótese nula: o parâmetro de regressão é igual a zero para $I_PIBpercap_cubo$
 Estatística de teste: $F(1, 141) = 0,995268$, p-valor 0,320167
 A exclusão de variáveis melhorou 2 de 3 critérios de informação.

Modelo 7: Efeitos-fixos, usando 2414 observações
 Incluídas 142 unidades de corte transversal
 Comprimento da série temporal = 17
 Variável dependente: I_Desm
 Omitido devido a colinearidade exata: const

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	4,80436	0,172053	27,92	9,35e-148 ***
$I_PIBpercap$	0,337734	0,0392192	8,611	1,33e-017 ***
$sq_I_PIBpercap$	-0,0135611	0,00223102	-6,078	1,42e-09 ***

Média var. dependente	6,709747	D.P. var. dependente	1,355138
Soma resíd. quadrados	14,11076	E.P. da regressão	0,078843
R-quadrado LSDV	0,996816	R-quadrado por dentro	0,345934
$F(143, 2270)$ LSDV	4969,108	P-valor(F)	0,000000
Log da verossimilhança	2781,201	Critério de Akaike	-5274,401
Critério de Schwarz	-4440,779	Critério Hannan-Quinn	-4971,219
$r\hat{o}$	0,668383	Durbin-Watson	0,253506

Teste conjunto nos regressores designados -
 Estatística de teste: $F(2, 2270) = 600,299$
 com p-valor = $P(F(2, 2270) > 600,299) = 5,37509e-210$

Teste para diferenciar interceptos de grupos -
 Hipótese nula: Os grupos têm um intercepto comum
 Estatística de teste: $F(141, 2270) = 4533,13$
 com p-valor = $P(F(141, 2270) > 4533,13) = 0$

Teste de Wald independente da distribuição para heteroscedasticidade:
 Qui-quadrado(142) = 229268, com p-valor = 0

Estatística de teste para normalidade:
 Qui-quadrado(2) = 1548,948 [0,0000]

Durbin-Watson:
 0,253506
 (p-valor não disponível)

Teste CD de Pesaran para a dependência de corte transversal:

Estatística de teste: $z = 62,527716$,

com p-valor = $P(|z| > 62,5277) = 0$

Average absolute correlation = 0,639