REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

CRESCIMENTO ECONÔMICO E DEGRADAÇÃO DO MEIO AMBIENTE: UMA DISCUSSÃO A PARTIR DA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL PARA O ESTADO DO PARÁ DE 2002 A 2018

ECONOMIC GROWTH AND ENVIRONMENTAL DEGRADATION: A DISCUSSION BASED ON THE ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE FOR THE STATE OF PARÁ FROM 2002 TO 2018

CRECIMIENTO ECONÓMICO Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL: UNA DISCUSIÓN A PARTIR DE LA CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS PARA EL ESTADO DE PARÁ DE 2002 A 2018

Matheus Gama de Almeida

Mestre em Ciências da Sociedade, Ufopa, Santarém/Pará/Brasil.

E-mail: matheus.gama.s@hotmail.com

Abner Vilhena de Carvalho

Doutor em Ciências Ambientais, Ufopa, Santarém/Pará/Brasil.

E-mail: abner.carvalho@ufopa.edu.br

João Roberto Pinto Feitosa

Doutor em Recursos Naturais, Ufopa, Santarém/Pará/Brasil.

Resumo

Em 1991, os economistas Grossman e Krueger propuseram que a relação entre a degradação ambiental e o crescimento econômico geraria uma melhora ao meio ambiente, representada por uma curva no formato de "U" invertido, conhecida depois como Curva Kuznets Ambiental (CKA). Neste ensejo, o objetivo deste estudo delimitou-se em analisar se uma relação no formato proposto pelos autores existe para o estado do Pará entre os anos de 2002 a 2018. Assim, 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, em ambos, o PIB per capita foi a variável independente. Os resultados encontrados no primeiro modelo descartam a possibilidade de a relação entre as variáveis ser cúbica no recorte temporal escolhido para o estado supracitado, 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 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. Nesse sentido, os resultados não nos dão evidências para inferir acerca da existência da CKA, pelo menos não no seu

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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

In 1991, the economists Grossman and Krueger proposed that the relationship between environmental degradation and economic growth would generate an improvement to the environment, represented by a curve in the shape of an inverted "U", later known as the Environmental Kuznets Curve (CKA). In this context, the objective of this study was to analyze whether a relationship in the format proposed by the authors exists for the state of Pará between the years 2002 and 2018. Thus, two models were developed through the panel data technique, employing Ordinary Least Squares estimations for the fixed effects model in both cases. Model 1 used CO2 emissions as the dependent variable and model 2, deforestation, and in both, GDP per capita was the independent variable. The results found in the first model rule out the possibility of the relationship between the variables being cubic in the time frame chosen for the aforementioned state, indicating the existence of a quadratic curve with upward concavity. In other words, although a reduction in CO2 emission 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 shape was also not significant, showing a CKA as in the original proposal, in the shape of an inverted "U". Thus, although at the beginning there has been an increase in deforestation caused by the growth in income, upon reaching the maximum point of the curve, equal to R$ 12,415.44, this same movement of economic growth would be providing a reduction in the deforestation process. In this sense, the results do not give us evidence to infer about the existence of the CKA, 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.

Resumen

En 1991, los economistas Grossman y Krueger propusieron que la relación entre la degradación ambiental y el crecimiento económico generaría una mejora ambiental, representada por una curva en forma de "U" invertida, posteriormente conocida como la Curva Ambiental de Kuznets (ECK). En este contexto, el objetivo de este estudio fue analizar si existe una relación en el formato propuesto por los autores para el estado de Pará entre los años 2002 y 2018. Para ello, se desarrollaron dos modelos utilizando técnicas de datos de panel, empleando estimaciones de Mínimos Cuadrados Ordinarios para el modelo de efectos fijos en ambos casos. El modelo 1 utilizó las emisiones de CO2 como variable dependiente y el modelo 2, la deforestación; en ambos casos, el PIB per cápita fue la variable independiente. Los resultados del primer modelo descartan la posibilidad de que la relación entre las variables sea cúbica en el período seleccionado para el estado mencionado, lo que indica la existencia de una curva cuadrática con concavidad ascendente. En otras palabras, si bien se observó una reducción inicial en las emisiones de CO2, esta volvería a aumentar tras alcanzar la curva su punto mínimo, en este caso, equivalente a R$ 15.531,70. En el segundo modelo, la forma cúbica tampoco fue significativa, mostrando una curva de Kuznets-Kuznets (KKA), como en la propuesta original, en forma de U invertida. Por lo tanto, si bien inicialmente hubo un aumento en la deforestación causado por el crecimiento de los ingresos, al alcanzar el punto máximo de la curva, equivalente a R$ 12.415,44, este mismo movimiento de crecimiento económico estaría provocando una reducción en el proceso de deforestación. En este sentido, los resultados no aportan evidencia para inferir la existencia de la KKA, al menos no en su formato original, para el estado de Pará entre los años 2002 y 2018.

Palabras clave: Curva Ambiental de Kuznets; Crecimiento Económico; Degradación Ambiental; Emisiones de CO2; Deforestación.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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 é 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.

Apesar do tema ter ganhado relevância a partir da segunda metade do século XX, desde a Revolução Industrial 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 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 geraria por si só uma melhora nas condições ambientais depois que se atinge um determinado ponto de inflexão.

Aqueles autores acreditavam que os níveis de poluição aumentariam durante o período inicial do crescimento econômico dos países, porém cairiam gradualmente à medida que fossem se tornando mais ricos, fato que seria representado por uma curva no formato de 'U invertido'. Tal relação ficou conhecida como 'Curva de Kuznets Ambiental', derivado do estudo seminal de Simon Kuznets (1955) – relação entre desigualdade de renda e o crescimento econômico.

Neste estudo, o foco será o da curva que abarca a perspectiva ambiental e o recorte geográfico será o estado do Pará/Brasil. A razão dessas escolhas se encontra 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 -

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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.

Segundo 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 Pressão por desmatamento segundo dados de novembro de 2020 a janeiro de 2021 (IMAZON, 2021).

Assim, busca-se testar 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. Para tanto, será modelada uma CKA utilizando como *proxies* para o crescimento econômico e a degradação ambiental, respectivamente, a renda *per capita* e a emissão de CO_2. Além disso, também irá se 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. Por fim, serão avaliados os formatos de ambas as CKA propostas.

Assim, os resultados do estudo darão luz sobre como o crescimento econômico e a degradação do meio ambiente vieram se relacionando no Pará ao longo dos 17 anos que o estudo comporta. Essa avaliação é substancial para entender se a dinâmica de crescimento econômico do estado vem promovendo a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

melhora ou não na qualidade de vida ambiental - exposta pela hipótese da CKA

2. Revisão da 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. Nesta revisão, serão divididos entre os que utilizaram a emissão de gases do efeito estufa como *proxy* da degradação ambiental e os que usaram o desmatamento.

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).

Aqueles autores estimaram uma curva a partir do dióxido de enxofre (SO_2), da fumaça negra e de partículas suspensas usando dados do *Global Enviromental 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

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

níveis de renda alcançavam entre US$ 10.000 e US$ 15.000, os níveis de poluentes voltavam a subir (CASTRO, 2017).

No ano seguinte, Shafik e Bandyopadhyay (1992) realizam um estudo que 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 (SO_2), 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 SO_2; $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, 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

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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 CO_2, 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, haveria 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 CO_2 e taxa de mortalidade no modelo "*cross section*" e CO_2 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

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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 CO_2 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 (CO_2) como um indicador das condições ambientais. Os resultados empíricos sugeriram a existência da CKA para emissão de CO_2 e também indicaram que o consumo de energia é outro determinante significativo da emissão de CO_2. Os autores afirmaram que o fato de os resultados empíricos encontrarem evidências significativas para a existência da CKA foi encorajador, pois mostrou que o 11º quinquênio da China, que objetivava reduzir as emissões de CO_2, 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 CO_2 com uma amostra de 187 países para o ano de 2004, Carvalho e Almeida (2010) regrediram

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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 CO_2. Em função do formato da curva ser "N", os autores chamam atenção para a importância de políticas públicas para mitigar a emissão de CO_2, 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 CO_2 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 CO_2, 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 CO_2. 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

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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, consequentemente, a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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 CO_2 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 CO_2, 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 CO_2 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 CO_2. 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 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

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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 haveria 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

O recorte geográfico adotado será o do estado do Pará e os modelos contarão com os dados de 143 dos 144 municípios paraenses, ficando de fora apenas o município de Mojuí dos Campos, o qual não possui dados para todos os 17 anos englobados pelo estudo, em função de sua criação ter se dado dentro do período que será abarcado aqui - 2002 a 2018. A escolha desse intervalo se deu em função dele ser um período em que não há ausência de dados para as variáveis escolhidas e é importante destacar que os dados do recorte temporal são

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

provenientes do somatório dos dados municipais, caracterizado sob a estrutura de um painel balanceado e curto.

Isto posto, serão realizados dois modelos distintos e será aplicada a técnica de dados em painel empregando estimações por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), 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). Nesse 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 (teste de Chow, de Breusch-Pagan e de Hausman). Assim, nesse estudo, 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).

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).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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 xs são variáveis dummy específicas que correspondem aos mesmos indivíduos quando $j = i$. Logo, o modelo de efeitos fixos pode ser escrito da seguinte maneira:

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

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 no modelo de efeitos aleatórios o intercepto (aleatório) das unidades não possuem correlação com as outras variáveis.

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:

$$y_{iy} = \alpha + \beta_1 x_{1it} + \beta_{2it} x_{2it} + \ldots + \beta_k x_{kit} + \mu_{it} \quad (3)$$

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:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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.

c) 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).

As variáveis selecionadas, suas unidades de medida, sinal esperado e fonte de coleta podem ser observados no quadro a seguir:

Quadro 1 - Descrição das variáveis das empregadas.

	Proxy	**Descrição**	**Unidade**	**Sinal esperado do coeficiente**	**Fonte dos dados**
Variáveis dependentes	$CO2$	Emissão de CO_2	Tonelada (t)	-	Seeg
	$Desm$	Total Desmatado Anualmente	Km^2	-	Prodes/Inpe
Variáveis independentes	$PIBpercap$	PIB *per capita* municipal	Reais do ano corrente*	Positivo	SIDRA/IBGE
	$PIBpercap2$	PIB *per capita*	Reais do ano	Negativo	Calculado a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

		municipal ao quadrado	corrente (ao quadrado)		partir do $PIBpercap$
	$PIBpercap3$	PIB *per capita* municipal ao cubo	Reais do ano corrente (ao cubo)	Positivo	Calculado a partir do $PIBpercap$

*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 pelos autores

O Modelo 1 (M1) utilizará como variável dependente a emissão de CO_2 e os dados anuais da *proxy* para os municípios do estado foram obtidos através do Seeg[1]. E será utilizada a presente variável por ela ser o gás que mais influencia no efeito estufa, aumentando a temperatura do ar.

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)[2]. 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.

Os dois modelos utilizarão como variável independente o PIB *per capita* para aperceber 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 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. Essa coleta de dados foi necessária para se calcular o PIB *per capita*, que consiste na divisão do PIB do ano pela população residente estimada daquele ano.

Destaca-se que, para o ano de 2007, os dados da população foram colhidos a partir da Contagem da População realizada pelo IBGE (2021). Além disso, para o ano de 2010, a população foi obtida através do Censo Demográfico realizado nesse ano.

[1] http://plataforma.seeg.eco.br/map
[2] http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

No estudo em questão adotou-se 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 nivelados 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:

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

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

β_0= constante;

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

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

$\beta_3[(ln)PIBpercap_{it}]^3$= log.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 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 *per capita* e degradação ambiental.
$\hat{\beta}_1 > 0$ *e* $\hat{\beta}_2 = \hat{\beta}_3 = 0$	A relação entre renda *per capita* 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 per capita e degradação ambiental é monotonamente negativa e linear.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

$\hat{\beta}_1 > 0 \; e \; \hat{\beta}_2 < 0 \; e \; \hat{\beta}_3 = 0$	A relação entre renda *per capita* e degradação ambiental pode ser representada pela CKA - função quadrática com concavidade para baixo.
$\hat{\beta}_1 < 0 \; e \; \hat{\beta}_2 > 0 \; e \; \hat{\beta}_3 = 0$	Oposição ao formato de "U invertido". A relação entre renda *per capita* 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 per capita 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. 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.

4. Resultados e Discussão

4.1 Modelo 1: Emissão de CO_2 e PIB per capita

Relembra-se que o Modelo 1 tem como variável dependente a emissão de CO_2 e como variáveis independentes o PIB *per capita*, além dos seus termos ao quadrado e ao cubo. Assim, os testes indicam que 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%). Sendo necessário assim realizar uma nova

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

modelagem, na qual testaram-se agora as variáveis para a curva em seu formato quadrático, assim, removeu-se a variável PIB *per capita* ao cubo. Esse novo modelo pode ser visto na Tabela 1, 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%[3], respectivamente, com o primeiro tendo o sinal negativo e o segundo positivo.

Tabela 1 - Resultado da regressão para o Modelo 1 (M1) de efeitos fixos.

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

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Gretl.

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 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.

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

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

tamanho amostral é suficientemente grande, a distribuição da média é uma distribuição aproximadamente normal (SOARES; SOARES; EMILIANO, 2019).

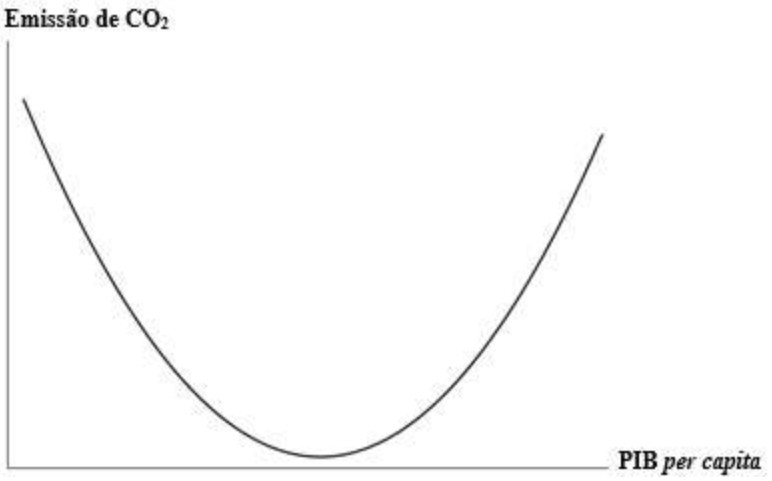
Consoante o valor encontrado no teste do R^2, constata-se que 91,19% das variações na variável dependente (emissão de CO_2) são explicadas pelas variáveis independentes do modelo (PIB *per capita* e PIB *per capita* ao quadrado).

O modelo pode ser escrito como:

$$lnCO_{2it} = 18{,}1715 - 0{,}7828\ (lnPIBpercap_{it}) + 0{,}0252\ (lnPIBpercap_{it})^2 \quad (6)$$

De maneira geral, o processo de emissão de CO_2 estaria conectado à dinâmica do PIB *per capita* nos municípios do estado do Pará entre 2002 e 2018. Quando observamos a Figura 1, verificamos que essa relação seria quadrática. Em outras palavras, nesse recorte temporal, a emissão de CO_2 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 1 - Curva de Kuznets Ambiental nos municípios do estado do Pará entre 2002 e 2018: Emissão de CO_2 x PIB *per capita*



Fonte: Elaborado pelos autores.

[3] 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.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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 CO_2 crescer novamente se deve calcular as coordenadas do x vértice da parábola:

Onde:

$PIBpercapOT =$ valor do PIB *per capita* que otimiza a emissão de CO_2

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

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 CO_2, porém ao se ultrapassar esse mínimo com acréscimos no PIB *per capita* geram um aumento das emissões de CO_2.

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

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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 metodológico 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. 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. Entretanto, após a realização de um modelo nesses moldes nenhuma das variáveis foram significativas, apenas a constante (significativa a 1%).

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 2 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.

Tabela 8 - Resultado da regressão para o Modelo 2 de efeitos fixos.

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

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Gretl.

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, 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

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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.

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 R^2 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 R^2 pode ser no máximo igual a 1 (100%).

O modelo pode ser escrito da seguinte maneira

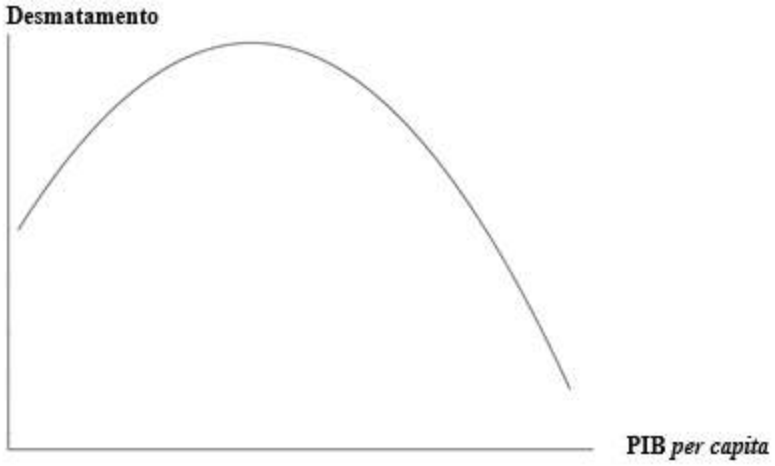
$$lnDesm_{it} = 4{,}8044 + 0{,}3377\,(lnPIBpercap_{it}) - 0{,}0136\,(lnPIBpercap_{it})^2 \quad (4)$$

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 2, verificamos que o formato encontrado é oposto ao da relação emissão de CO_2 e PIB *per capita*, pois a figura assumiu o formato proposto pela hipótese da Curva de Kuznets Ambiental, o de "U" invertido. 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 2 - Curva de Kuznets Ambiental nos municípios do estado do Pará entre 2002 e 2018: Desmatamento x PIB *per capita*

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Gretl.

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:

$PIBpercapOT =$ valor do PIB *per capita* que otimiza o desmatamento

$$PIBpercapOT = \frac{-b}{2.a} = \frac{-(0{,}3377)}{2.(-0{,}0136)} = \frac{-0{,}3377}{-0{,}0272} = 12{,}4154$$

Efetuando operações básicas, chega-se ao seguinte resultado:

$$PIBpercapitaOT = 12.415{,}44$$

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

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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. Conclusão

A presente estudo 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 CO_2 e o desmatamento, e como variáveis independentes foram testados o PIB *per capita*, além de seus termos quadrático e cúbico. Ademais, 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.

O modelo 1 relacionou o PIB *per capita* com a emissão de CO_2 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.

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 CO_2 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 CO_2 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

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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 CO_2. 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.

No segundo modelo em que a relação investigada foi entre o desmatamento e o PIB *per capita*, 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

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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 CO_2 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).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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. Disponível em: https://www.academia.edu/download/54035284/MANUAL_DO_GRETL.pdf

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. doi: 10.1590/S0103-20032006000300008

AVELINO, Bárbara Afonso. Saúde ambiental e crescimento econômico nos municípios brasileiros: teste das hipóteses da curva de Kuznets ambiental e da transiçãoepidemiológica. 2018. doi: 10.14393/ufu.di.2018.501

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, 2017. doi: 10.5433/2317-627X.2017v5n2p65

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

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. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/4637

CARVALHO, A. V., CARVALHO, R. A. F., CARVALHO, D. G., GUIMARÃES, J. L. C. (2020). 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, R. A. F. 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. Disponível em: https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/540

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. doi: 10.1590/S0101-41612010000300004

CATALÁN, Horacio. Curva ambiental de Kuznets: implicaciones para un crecimiento sustentable. Economía Informa, v. 389, p. 19-37, 2014. doi: 10.1016/S0185-0849(14)72172-3

CUNHA, Cleyzer Adrian; SCALCO, Paulo Roberto. Crescimento econômico brasileiro e emissão de CO2. 2013. doi: 10.17058/redes.v18i2.2584

FONSECA, Larissa Nacif... Preservação ambiental e crescimento econômico no Brasil. In: Anais do XXXII Encontro Nacional de Economia. ANPEC, 2004. Disponível em: https://ideas.repec.org/p/anp/en2004/117.html

FONSECA, A., AMORIM, L., RIBEIRO, J., FERREIRA, R., MONTEIRO, A., SANTOS, B., ANDRADE, S., SOUZA Jr., C., & VERÍSSIMO, A. Boletim do desmatamento da Amazônia Legal (dezembro 2020) SAD (p. 1). Belém: Imazon, 2021. Disponível em: https://imazon.org.br/publicacoes/boletim-do-desmatamento-daamazonia-legal-dezembro-2021-sad/. Acesso em: 14 de mar. 2021.

FRANCO, Tânia; DRUCK, Graça. Padrões de industrialização, riscos e meio ambiente. Ciência & Saúde Coletiva, v. 3, p. 61-72, 1998. Disponível em: https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/csc/v3n2/7151.pdf. Acesso em: 14 de mar. 2021.

GREENE, William. Functional forms for the negative binomial model for count data. Economics Letters, v. 99, n. 3, p. 585-590, 2008. doi: 10.1016/j.econlet.2007.10.015

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

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/paraestado-com-mais-areas-protegidas-que-sofrem-pressao-e-ameaca-de-desmatamento-naamazonia/. Acesso em: 14 de mar. 2021.

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

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

2011.
IBGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 19 de jan. 2021.
____. Contagem da População. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9065-contagem-dapopulacao.html?edicao=10189&t=o-que-e. Acesso em: 18 de mar. 2021.
____. Estimativas da População. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-depopulacao.html?=&t=resultados. Acesso em: 01 de fev. 2021.
____. Produto Interno Bruto dos Municípios. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938. Acesso em: 01 de fev. 2021.
____. IBGE Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-eestados/pa/vitoria-do-xingu.html. Acesso em: 05 de nov. 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. doi: 10.1016/j.enpol.2009.07.044
KUZNETS, Simon Smith. Economic growth and income inequality. American Economic Review, vol. 45, Março, 1955.
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. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/45/2012/12/NT_37.pdf
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. PPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.
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. Disponível em:
PEREIRA, Frantiesca Cheiran. Desflorestamento no estado do Mato Grosso e a expansão da fronteira agrícola: uma análise econométrica. 2016. Disponível em: http://hdl.handle.net/10183/149317
PRODES. Desmatamento nos Municípios. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. Acesso em: 02 de fev. 2021.
QUEIROZ, I. A.; ROCHA, T.; QUEIROZ, Í. A. 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. Disponível em: 10.1590/S1413-80502013000010000230

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 01/12/2025 - **Accepted:** 13/12/2025
Vol: 21.03
DOI: 10.61164/r8z1kx87
Pages: 1-34

SALES, Vilane Gonçalves. A curva de Kuznets ambiental (CKA) para o bioma caatinga no estado de Pernambuco. Recife, 2015. Disponível em: http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/4674

SANTOS, Leandro Gustavo Albertão dos. Crescimento Econômico e Meio Ambiente no Brasil: uma abordagem econométrica. 2019. Disponível em: https://site.ucdb.br/public/md-dissertacoes/1035086-leandro-gustavo-albertao.pdf

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 de 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. doi: 10.1006/jeem.1994.1031

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

SOARES, D. J. M.; SOARES, T. E. A.; EMILIANO, P. C. Uma aplicação do teorema central do limite. Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 12, p. 32165-32173, 2019.doi: 10.34117/bjdv5n12-293