

A HETEROGENEIDADE DA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL GLOBAL¹

Guilherme Irffi (UFC, *Campus* de Sobral)
Fabrício Carneiro Linhares (CAEN/UFC)

RESUMO

A relação controversa entre crescimento econômico e poluição ambiental descrita por Grossman e Krueger (1991), conhecida como Curva de Kuznets Ambiental, assume forma de “U”-invertido não consegue se estabelecer na literatura como um fato estilizado. Principalmente, por não generalizar os resultados, em função dos países apresentarem diferentes trajetórias nas emissões de poluentes *per capita*. Sendo assim, este artigo estuda esta problemática no contexto global, considerando 151 países, e contribui com a literatura por captar a heterogeneidade da CKA por meio de um aspecto dinâmico implícito na relação de Kuznets ao permitir que cada país siga sua trajetória própria de crescimento econômico e emissão de CO_2pc . As evidências empíricas sugerem que a hipótese do “U”-invertido é, de fato, válida para os países desenvolvidos, renda *per capita* acima de U\$ 14.472,42, enquanto que para os países mais pobres, os resultados apontam que aumentos na renda podem diminuir a emissão de CO_2pc , no entanto, a CKA para estes países apresenta forma de S, ou seja, a forma de “U”-invertido se verifica para altos níveis de renda.

Palavras-chave: Heterogeneidade, Curva de Kuznets Ambiental, Emissão de CO_2pc , Renda *per capita*.

ABSTRACT

The controversial Grossman e Krueger (1991) inverted “U”-shaped relationship between economic growth and pollution, known as Environmental Kuznets Curve (EKC), has not yet become a stylized fact in economics, probably because empirical evidence from samples that include a large number of countries is still mixed. The main reason for these findings is perhaps the restrictive assumption that the EKC is unique for the whole group of countries in the sample. This article investigates relationship between economic growth and pollution for a panel of 151 countries allowing heterogeneity in the shape of the EKC. The main finding is that the inverted “U” hypothesis is confirmed only for countries with *per capita* GDP above U\$ 14.472,42. For other countries, this relationship has a “S” shape and suggests that future economic growth will lead to a decrease in *per capita* CO_2 emission.

Keywords: Heterogeneity, Environmental Kuznets Curve, CO_2pc emissions, Income *per capita*.

¹ Os autores agradem os comentários dos Profs. Roberto Tatiwa Ferreira, Edson Domingues, Francis Petterini, Guilherme Moura e Alesandra Benevides. Ressaltando que erros e omissões são de nossa inteira responsabilidade. E-mail para correspondência: guidirffi@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A partir de uma série de estudos (científicos) recentes ² sobre as possíveis mudanças climáticas e seus efeitos, a sociedade mundial vem enfrentando um *trade-off* entre crescimento econômico e preservação ambiental, uma vez que durante estes dois últimos séculos a humanidade praticamente ignorou a degradação do meio ambiente ocasionada pela atividade econômica.

Em função disso, estudar a relação entre esses elementos passou a ser considerada uma agenda de pesquisa prioritária na academia, visto que atualmente o desafio da sociedade consiste no avanço urbano, industrial e de serviços sem degradação do meio ambiente. Ou seja, é preciso conciliar crescimento econômico com desenvolvimento sustentável, visando à preservação e recuperação ambiental.

A relação entre crescimento econômico e degradação ambiental é cercado de riscos e incertezas em decorrência dos possíveis efeitos que as alterações climáticas, como o efeito estufa, em virtude das emissões de gases na atmosfera, pode ocasionar na sociedade.³ Para Carvalho e Almeida (2010), os riscos estão associados principalmente ao acúmulo tanto de CO_2 quanto de outros gases na atmosfera, o que retém a radiação solar nas proximidades terrestre, provocando o aquecimento do planeta. Isto pode provocar o derretimento das geleiras na Terra e, por conseguinte, elevar o nível de mar ao ponto de inundar diversas cidades litorâneas, bem como causar transtornos à produção agrícola e aos sistemas comerciais.

Os custos das agressões ao meio ambiente, como argumenta Lucena (2005), se relacionam à perda de satisfação criada por amenidades ambientais, aos riscos à saúde humana e às reduções na produtividade econômica, ressaltando que estes podem trazer prejuízos econômicos e sociais e, ainda, comprometer o desenvolvimento das próximas gerações.

Na tentativa de estabelecer uma conexão teórica entre degradação ambiental e desenvolvimento econômico, Grossman e Krueger (1991), Shafik e Bandyopadhyay (1992) e Selden e Song (1994) levantaram a hipótese que ficou conhecida como a Curva de Kuznets Ambiental, doravante CKA, que estabelece a relação entre renda *per capita* e poluição no formato de “U”-invertido.⁴

A forma de “U”-invertido da CKA deriva dos estágios de desenvolvimento da economia em relação à degradação ambiental. No primeiro estágio, a economia encontra-se no período pré-industrial e a relação entre crescimento econômico e poluição é positiva. Neste estágio, a sociedade anseia pelo aumento dos níveis de renda e de consumo sem grandes preocupações com o meio ambiente. Na medida em que a economia cresce, atinge um novo estágio ao se tornar uma economia industrial com elevado nível de renda, e também com o maior nível de degradação ambiental. Todavia, a partir do segundo estágio, a sociedade já anseia por mudanças na regulação ambiental, exigindo sustentação da qualidade ambiental ao longo da trajetória de aumento da renda *per capita*. E, por fim, no terceiro estágio, com uma

² Intergovernmental Panel on Climate Change (2000, 2001, 2003), doravante IPCC (2000, 2001, 2003), Stern (2006), Nakicenovic et al (2003), Schmalensee, Stiker e Judson (1998), Webster et al (2002) e Leggett, Pepper e Swart (1992) apresentam o cenário atual divulgado pela ciência que aflige o presente e ameaça o futuro.

³ Sendo o dióxido de carbono CO_2 o mais importante, uma vez que ele é gerado a partir da queima de combustíveis fósseis e estes são a principal fonte energética desde a segunda revolução industrial no século XIX.

⁴ A CKA deriva da ideia de Kuznets (1955) de que a relação entre crescimento econômico e desigualdade de renda é representada por uma curva na forma de “U”-invertido.

economia pós-industrial, voltada para a prestação de serviços, espera-se que o nível de emissão de poluentes seja cada vez menor e, ainda, combinado com aumento de renda.⁵

Para Beckerman (1992), existe uma evidência de que o crescimento econômico leve a degradação ambiental nos estágios iniciais do processo, enquanto que na fase final, o caminho natural para preservação do meio ambiente seria o país se tornar rico. Sendo assim, a mensagem principal da CKA consiste no efeito renda, uma vez que este pode ser considerado tanto a causa quanto à solução para o problema ambiental. Para Deacon e Norman (2004), a melhoria ambiental não pode vir sem o crescimento econômico, uma vez que a redução nos níveis de poluição é decorrência das demandas sociais por bem-estar de uma população mais rica.⁶

Shafik e Bandyopdhyay (1992) e Grossman e Krueger (1995) argumentam não haver razão para se acreditar que a qualidade ambiental é algo que ocorra naturalmente à medida que as nações se tornem mais ricas. No entanto, a partir da prosperidade econômica, a sociedade tende a se dedicar mais aos aspectos não econômicos como, por exemplo, uma demanda social de proteção ambiental com base em leis mais severas e efetivas, que por sua vez afetam a adoção de novas tecnologias. Para Selden e Song (1994), esta demanda decorre de maiores níveis de conscientização e educação ambiental.

A consequência desse processo de conscientização seria, por exemplo, mudanças na pauta de importação. Como sugere Fonseca e Ribeiro (2005), quando há incremento na renda, os países tendem a parar de produzir bens intensivos na emissão de poluição e passam a importá-los de países com leis ambientais menos restritivas.⁷ A ideia de transferência de planta produtiva, intensivas em poluição de economias desenvolvidas para os países menos desenvolvidos também é compartilhada por Suri e Chapman (1998), Cole (2004), Arrow et al (1995) e Stern et al (1996).⁸

Esses fatores podem ser utilizados como justificativa da forma de “U”-invertido da CKA. Mas vale reforçar a ideia de que a força principal que moldaria a relação entre poluição e crescimento reside num processo de escolha social, haja vista que o aumento da renda contribui para a mudança de atitudes das pessoas em relação ao meio ambiente. No entanto, para que este processo seja contínuo, é preciso que haja efeito técnico, uma vez que as plantas produtivas intensivas em poluição podem migrar de um país (região) para outro.

Diante disso, é bem possível que existam efeitos heterogêneos entre emissão de CO_2 *per capita* (CO_2pc) e renda *per capita*, em decorrência do estágio de desenvolvimento de cada economia. Neste caso, políticas públicas de âmbito global tendem a não gerar resultados similares para todas as nações. Assim, um mecanismo para tornar as políticas mais eficientes seria considerar políticas regionais e heterogêneas, para que apresentem resultados mais homogêneos para o mundo como um todo.

Com esteio nestes argumentos, esta pesquisa se propõe a estimar a CKA Global, utilizando como indicador de poluição as emissões de CO_2pc , condicionado ao nível de renda

⁵ De uma maneira geral, espera-se que, primeiramente, países (ou regiões) com baixo nível de renda tendam a possuir uma relação positiva entre a renda nacional e a poluição, sendo que, para níveis mais elevados de renda, a relação entre estas duas variáveis seja negativa.

⁶ Bimonte (2001) adverte que a crença na relação entre crescimento da renda e a qualidade ambiental pode levar a uma espécie de “armadilha ambiental”, uma vez que o crescimento acelerado pode levar a uma perda da qualidade ambiental. Com isto, poderia retardar o processo de crescimento, uma vez que, se uma economia pobre (ou em desenvolvimento) devastar seus recursos naturais, isto tende a gerar mais pobreza.

⁷ Segundo Lucena (2005), os diferenciais de rigidez na regulação ambiental entre países industrializados e em desenvolvimento podem ser descritos como vantagens comparativas em produtos intensivos em poluição para os últimos, ou seja, haveria uma transferência das atividades intensivas em poluição para os países em desenvolvimento em função da sua escolha de favorecer o crescimento econômico em detrimento da preservação do meio ambiente.

⁸ A visão destes autores é representada pela Hipótese dos Paraísos de Poluição (*Pollution Haven Hypothesis*).

per capita de 151 países, considerando informações anuais para o período de 1980 a 2008. Sendo assim, esta investigação se desenha a partir de modelos com dados em painel, assim como Grossman e Krueger (1991), Shafik e Bandyopadhyay (1992), Selden e Song (1994), Stern (2002), Perman e Stern (2003), dentre outros.

Todavia, esta pesquisa difere dos estudos supracitados em função da amostra, do indicador e dos fatores que influenciam na emissão de CO_2pc e da modelagem econométrica. Em termos metodológicos, a escolha por painel não dinâmico com efeito *threshold* para aferir o formato da CKA, decorre da possibilidade de captar efeitos diferenciados para grupos de países em conformidade com a dinâmica e os estágios de desenvolvimento de cada economia. Assim sendo, estimar-se-á uma CKA segmentada, a fim de evitar a generalização dos resultados para todos os países como se observa na literatura.

O restante do trabalho é dividido em cinco seções. A próxima se reserva à apresentação dos aspectos teóricos e às evidências empíricas em torno da CKA. A terceira seção versa sobre o tratamento metodológico diferenciado empregado nesta pesquisa para testar a hipótese da CKA. A base de dados é o tema da quarta seção, que ainda conta com análise descritiva dos dados. A seguir, são feitas as análises e discussão dos resultados. E, por fim, são tecidas as considerações finais.

2. ASPECTOS TEÓRICOS E EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS SOBRE A CKA

A sustentação teórica da forma de “U”-invertido da CKA é descrita a partir de fases de transição da economia, mais precisamente, por estágios de desenvolvimento, que, para Carvalho e Almeida (2010), são regidos pelas forças de mercado e por mudanças na regulação governamental.

O primeiro estágio é caracterizado pela transição de uma economia agrícola para uma industrializada, a qual sofre com pressões ambientais em prol do crescimento econômico, em função da industrialização e da baixa regulamentação ambiental. Quando esta economia atingir certo ponto de desenvolvimento em função do crescimento da renda, a sociedade tende a se conscientizar mais sobre a importância da qualidade ambiental. E, por fim, a transição de uma economia industrial para uma economia pós-industrial (voltada para prestação de serviços) apresenta um movimento em prol da consolidação da qualidade ambiental, concomitante ao aumento do nível da renda.

Panayotou (1997) advoga que a forma de “U”-invertido da CKA decorre da existência entre a diferença temporal das mudanças sociais e econômicas, uma vez que estas ocorrem de maneira mais rápida do que aquelas e, ainda, porque os avanços econômicos acarretam as mudanças sociais. Bimonte (2001) enfatiza que durante o processo de crescimento econômico, a participação social exerce um papel fundamental para definir a trajetória a ser seguida em termos de preservação ambiental.

Para Bousquet e Favard (2000), o suporte teórico da CKA é apoiado tanto pelas escolhas tecnológicas quanto pelas preferências em relação à qualidade ambiental, sendo seu formato baseado nos efeitos de escala, composição e técnicos sobre o meio ambiente.⁹ Os efeitos de escala são decorrentes da pressão do meio ambiente em função do aumento na produção. Todavia, a pressão ambiental pode ser anulada pelos outros dois efeitos, caso o crescimento econômico derive de setores com baixos níveis de poluição (efeito composição) ou em decorrência dos avanços tecnológicos na produção com vistas a compensar o aumento na produção (efeito técnico).

⁹ Os efeitos de escala, composição e técnico foram levantados por Grossman e Krueger (1991).

Por outro lado, a presença de retornos crescentes de escala na função de produção é apontada por Andreoni e Levinson (1998) como uma condição suficiente para sustentar o argumento em favor da forma de “U”-invertido da CKA.

A decomposição da relação entre poluição e renda em fatores escala e qualidade ambiental, é apontada por Echevarria e Ho (2000) como a sustentação teórica da CKA. Para eles, o fator escala é apontado como o responsável pela relação positiva entre renda e degradação ambiental, haja vista que aumentos na produção tendem a elevar os níveis de poluição. Em contrapartida, a qualidade ambiental explica a relação entre aumento da renda e a diminuição da pressão ambiental, sendo que, neste caso a preservação ambiental pode ser interpretada como um bem normal.

Já para Bimonte (2001) e Fonseca e Ribeiro (2005), a forma da CKA é decorrência do efeito renda, pois a qualidade ambiental é interpretada como um bem de luxo. Ainda segundo os autores, no início do processo de industrialização, a sociedade anseia por emprego e renda e, por isso, não está disposta trocar consumo por investimento em proteção ambiental. No entanto, ao atingir um determinado nível de renda e consumo, a sociedade tende a se preocupar mais com as questões ambientais, de forma a melhorar a qualidade ambiental.

A redução da poluição é explicada por Panayotou (1997) a partir dos efeitos da renda por meio da relação entre oferta e demanda. Pelo lado da oferta, baixo nível de renda pode ser entendido como uma restrição orçamentária, o que tende a inviabilizar os investimentos em preservação ambiental, mesmo na presença da demanda. Isto se deve ao fato de que uma sociedade com baixo nível de renda tende a se preocupar mais com suas necessidades básicas (alimentação, moradia e vestuário) do que com proteção ambiental, enquanto que para níveis altos de renda, a demanda por qualidade ambiental faz parte da cesta de consumo.

Do ponto de vista empírico, a literatura emergiu a partir do trabalho seminal de Grossman e Krueger (1991) que evidenciaram ser a relação entre emissão de poluentes (material particulado em suspensão e dióxido sulfúrico, SO₂) e o PIB *per capita* para os Estados Unidos, representada por uma curva em formato de “U”-invertido.

Posteriormente ao trabalho de Grossman e Krueger (1991), é possível observar uma vasta literatura sobre a CKA, com destaque para os trabalhos de Shafik e Bandyopadhyay (1992), Selden e Song (1994), Stern et al (1996), Stern (1998, 2003, 2006), entre outros.

Shakif e Bandyopadhyay (1992) consideraram dez indicadores de poluição¹⁰ para 149 países, durante o período de 1960 a 1990, por meio de três modelos (log linear, quadrático e cúbico) e, somente para os dois indicadores de poluição do ar foram encontradas evidências para a forma de “U”-invertido da CKA. Não obstante, eles observaram uma relação positiva entre os indicadores de geração de lixo municipal *per capita* e emissão de CO₂*pc* e a renda.

Analisando duas amostras de países, uma com 54 considerando como indicadores as emissões de SO₂, NO_x e suspensão de partículas e outra com 68 países para desflorestamento, Panayotou (1993) advoga a favor da hipótese da CKA.¹¹ Assim como Agras e Chapman (1999) e Dijkgraaf e Vollebergh (2001).

Já Almeida e Carvalho (2010) estimaram dois modelos *cross-section* com dependência espacial para uma amostra de 187 países para analisar a relação entre emissão de CO₂*pc* e a renda *per capita*. O primeiro modelo foi apoiado na forma funcional de Ahluwalia (1976) – polinômio do segundo grau da renda *per capita* – tendo como resultados que a poluição aumenta com o crescimento da renda até atingir um nível ao qual o crescimento desta reduz a

¹⁰ Ausência de água limpa, de saneamento urbano, partículas suspensas, dióxido de enxofre, mudanças nas áreas florestais, taxa anual de desmatamento, oxigênio dissolvido em rios, coliformes fecais em rios, lixo municipal *per capita* e emissões de carbono *per capita*.

¹¹ NO_x é um termo genérico para os óxidos de nitrogênio – NO e NO₂, óxido nítrico e dióxido de nitrogênio. Estes gases são produzidos a partir da reação de gases nitrogênio e oxigênio no ar durante a combustão, especialmente em altas temperaturas.

emissão de CO_2pc . Ao estenderem o modelo para forma cúbica da renda *per capita*, eles observaram, assim como Grossman e Kruger (1995), Moomaw e Unruh (1997), Shafik (1994), dentre outros, que a CKA assume uma forma de N, ao invés de “U”-invertido.

Considerando uma amostra de 30 países (sendo 22 da OECD¹²), Selden e Song (1994) também encontraram evidências a favor da forma de N da CKA para as emissões de poluentes do ar (óxido de nitrogênio, NO_x , e monóxido de carbono, CO) e, concluem que, para níveis altos de renda, a poluição poderá ir a zero.

No entanto, assim como a ideia seminal de Kuznets, a CKA também não se verifica em alguns estudos como, por exemplo, De Bruyn et al (1998), que analisaram a relação entre as emissões de CO_2 , SO_2 e NO_x e renda para um painel de dados que inclui Holanda, Reino Unido, Alemanha e EUA. Maddison (2006), por sua vez, estimou quatro modelos de dados em painel com dependência espacial para 135 países, de 1990 a 1995, um para cada indicador (SO_2 , NO_x , VOC e CO)¹³ e também não encontrou nenhuma evidência que corrobore nem com a forma de “U”-invertido nem com a forma de N. Perman e Stern (2003), Romero-Ávila (2008) e Lee e Lee (2009) também não corroboram com a hipótese da CKA.

Com esteio nestes trabalhos, pode-se dizer que não existe evidência consensual sobre a CKA, uma vez que esta parece ser sensível aos diversos indicadores de poluição, a amostra, período, forma funcional e metodologia econométrica. Sendo assim, não é possível generalizar o resultado da CKA para os países (ou regiões). Em decorrência disso, esta pesquisa irá empregar uma metodologia capaz de captar efeitos diferenciados para os grupos de países com base na renda *per capita* a fim de evitar a generalização dos resultados, ou seja, os países serão agrupados de acordo com o seu desenvolvimento econômico para que seja possível estimar uma CKA para cada grupo de países. A próxima seção apresenta em detalhes a metodologia econométrica.

3. METODOLOGIA ECONOMÉTRICA

A utilização de dados de corte para aferir o formato da CKA deve ser vista com ressalvas, já que este tipo de informação limita o poder de explicação dos modelos por ignorar as trajetórias de evolução tanto da emissão de CO_2pc quanto da renda *per capita*, o que pode levar a estimativas errôneas da CKA.

Diante disso, optou-se pela metodologia de dados em painel com efeitos fixos para captar o aspecto dinâmico implícito na relação entre crescimento econômico e poluição, uma vez que cada unidade de observação apresenta uma trajetória de desenvolvimento e de emissão de CO_2 particular às suas características econômicas e ambientais.

Considerando esses aspectos, primeiramente, estimar-se-á um modelo linear sem efeitos *threshold*, descrito por:

$$(1) \quad CO_2pc_{it} = \alpha_i + \beta_0 R_{it} + \gamma X_{it} + \varepsilon_{it}$$

Sendo α_i o efeito fixo, $\beta_0 = (\beta_{01}, \beta_{02}, \beta_{03})$ um vetor de parâmetros, $R_{it} = (Y_{it} \ Y_{it}^2 \ Y_{it}^3)$ um vetor com as variáveis renda, renda ao quadrado e renda *per capita* ao cubo, γ um vetor de parâmetros de tamanho $1 \times K$, X_{it} um vetor com variáveis de controle de dimensão $K \times 1$ e, finalmente, ε_{it} é um erro aleatório. Não obstante, o índice i representa o país e t cada ano da série temporal analisada.

¹² OECD é o acrograma de Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico.

¹³ Os compostos orgânicos voláteis (VOCs) são produtos químicos orgânicos que têm uma alta pressão de vapor em comum, em condições de temperatura ambiente. Vale ressaltar que os VOCs são muitos perigosos para a saúde humana e, ainda, podem causar danos ao meio ambiente.

A validade da hipótese de Kuznets é indicada pelos sinais dos parâmetros β_j , $\beta_{01} > 0$, $\beta_{02} < 0$ e $\beta_{03} = 0$. Observe que, nesse modelo, a hipótese de Kuznets, dada pelos coeficientes β_{01} e β_{02} , é deduzida levando-se em conta todos os países; ou seja, não é permitido variações desses coeficientes entre grupos de unidades de corte.

A restrição de homogeneidade na relação de Kuznets em um painel de países é o tema central do trabalho de Barro (2000), uma vez que a relação entre desigualdade e crescimento também pode se diferenciar entre grupos de economias. Sendo assim, para acomodar a ideia de Barro (2000), empregam-se outros três modelos nesta análise entre poluição e crescimento econômico.¹⁴

Tratam-se de modelos de painéis não dinâmicos com efeito *threshold*, proposto por Hansen (1999), no qual os coeficientes β_{01} , β_{02} e β_{03} , determinantes da hipótese de Kuznets, podem variar entre regimes de acordo com uma variável de seleção, chamada de variável *threshold*. Nestes modelos, o coeficiente de inclinação no painel varia para diferentes grupos categorizados pelo nível de uma variável *threshold*.

A diferença entre os três modelos ocorre basicamente devido ao tratamento que cada modelo dá ao grupo de variáveis de controle, X_{it} . Assumindo a existência de apenas dois regimes, para facilitar a presente exposição, o primeiro modelo com efeito *threshold*, com variáveis de controle, pode ser descrito como:

$$(2) \quad CO_2pc_{it} = \alpha_i + \beta_1 R_{it} I_1 \{Y_{it} \leq \lambda\} + \beta_2 R_{it} I_2 \{Y_{it} > \lambda\} + \gamma X_{it} + \varepsilon_{it}$$

Neste caso $I_1 \{\cdot\}$ representa uma função indicadora, com $I_1 = 1$ quando $Y_{it} \leq \lambda$ e 0 caso contrário, enquanto $I_2 = 1$ se $Y_{it} > \lambda$ e 0 de outra forma, Y_{it} é a variável *threshold*, λ é o parâmetro *threshold*, e $\beta_j = (\beta_{j1}, \beta_{j2}, \beta_{j3})$, $j=1, 2$ e 3 . O erro ε_{it} é tido como independente e identicamente distribuído (*i.i.d.*) com média zero e variância finita σ^2 .

A equação (2) permite a estimação de coeficientes distintos para cada grupo da amostra delimitado pelo valor da variável *threshold*. A inclusão de variáveis de controle é recomendada para dirimir a relação entre o viés de especificação e de variáveis omitidas. Neste sentido, o segundo modelo com efeito *threshold*, faz uso da Abertura, Energia, Densidade e Progresso Tecnológico. No entanto, a influência dessas variáveis são, por suposição, constantes entre os regimes.

Por último, o terceiro modelo com efeito *threshold* permite a influência das variáveis de controle sobre as emissões de CO_2pc , assim como as variáveis de renda *per capita*, também varie conforme os regimes definidos pela variável *threshold*:

$$(3) \quad CO_2pc_{it} = \alpha_i + \beta_1 R_{it} I_1 \{Y_{it} \leq \lambda\} + \gamma_1 X_{it} I_1 \{Y_{it} \leq \lambda\} + \beta_2 R_{it} I_2 \{Y_{it} > \lambda\} + \gamma_2 X_{it} I_2 \{Y_{it} > \lambda\} + \varepsilon_{it}$$

Para explicar o processo de estimação e testes nesse tipo de modelo, considere uma representação da equação de regressão (3):

$$(4) \quad CO_2pc_{it} = \alpha_i + \psi Z_{it}(\lambda) + \varepsilon_{it}$$

onde $\psi = (\beta'_1, \gamma'_1, \beta'_2, \gamma'_2)$ e $Z_{it}(\lambda) = (R'_{it} I_1, X'_{it} I_1, R'_{it} I_2, X'_{it} I_2)'$. Defina o espaço $\Lambda = [\underline{\lambda}, \bar{\lambda}]$, onde $\underline{\lambda} > \min\{Y_{it}\}$ e $\bar{\lambda} < \max\{Y_{it}\}$. Observe que, para cada valor de $\lambda \in \Lambda$, o vetor $Z_{it}(\lambda)$ assumirá uma forma particular.

A estimação dos modelos em painel não linear, efeito *threshold*, segue a metodologia proposta em Hansen (1999). Ela procede via sucessivas aplicações de mínimos quadrados ordinários (MQO), para cada valor de λ em Λ , e a seleção, via *search grid*, das estimativas

¹⁴ Vale ressaltar que esta abordagem ainda não foi considerada em estudos pela Curva de Kuznets Ambiental.

dos parâmetros que gerem a menor soma do quadrado dos resíduos (SQR), ou seja, para cada $\lambda_n \in \Lambda$ obtêm-se por MQO as estimativas $\hat{\alpha}_i(\lambda_n)$ e $\hat{\psi}(\lambda_n)$ e o respectivo SQR, $S(\lambda_n) = \sum \sum \hat{\varepsilon}_{it}^2(\lambda_n)$, as estimativas finais de α_i , ψ e λ são aqueles valores que minimizam a função $S(\lambda_n)$ no espaço Γ .

O teste para existência de efeito *threshold*, onde $\beta_1 \neq \beta_2$ e/ou $\gamma_1 \neq \gamma_2$, utiliza a estatística de teste de multiplicador de *Lagrange*, proposta por Hansen (1999), que é robusta à heterocedasticidade e tem seus valores críticos determinados por um procedimento de *bootstrap* (Hansen, 1996). Caso o efeito *threshold* seja estatisticamente relevante na equação (3), conclui-se que existem dois regimes, onde as relações entre a emissão de CO_2pc e as variáveis explicativas são distintas (ao menos para algumas delas). Do contrário, o modelo mais adequado para os dados é dado pela equação (1).

No caso de três regimes, por exemplo, o modelo pode ser representado da seguinte forma:

$$(5) \quad CO_2pc_{it} = \alpha_i + \theta W_{it}(\lambda_1, \lambda_2) + \varepsilon_{it}$$

Onde $\theta = (\beta'_1, \gamma'_1, \beta'_2, \gamma'_2, \beta'_3, \gamma'_3)$, $Z_{it}(\lambda_1, \lambda_2) = (R'_{it}I_1, X'_{it}I_1, R'_{it}I_2, X'_{it}I_2, R'_{it}I_3, X'_{it}I_3)'$, $I_1 = I_1\{Y_{it} \leq \lambda_1\}$, $I_2 = I_2\{\lambda_1 < Y_{it} \leq \lambda_2\}$ e $I_3 = I_3\{\lambda_2 < Y_{it}\}$ são funções indicadoras e λ_1 e λ_2 são os parâmetros *threshold*.

No processo de estimação do modelo, bem similar ao caso com dois regimes, obtêm-se por MQO as estimativas $\hat{\alpha}_i(\lambda_{1,n}, \lambda_{2,n})$ e $\hat{\theta}(\lambda_{1,n}, \lambda_{2,n})$ para cada par $(\lambda_{1,n}, \lambda_{2,n}) \in \Lambda \times \Lambda$ e o respectivo SQR, $S(\lambda_{1,n}, \lambda_{2,n}) = \sum \sum \hat{\varepsilon}_{it}^2(\lambda_{1,n}, \lambda_{2,n})$, enquanto as estimativas finais de α_i , θ , λ_1 e λ_2 são aqueles valores que minimizam a função $S(\lambda_{1,n}, \lambda_{2,n})$ no espaço $\Lambda \times \Lambda$. Testes para a validade dos três regimes podem ser executados, também, pelo teste de multiplicador de *Lagrange* comparando-se as estimativas da variância dos erros entre os modelos (4) e (5).

Caso o modelo com três regimes (isto é, com dois parâmetros *thresholds*) seja o mais adequado estatisticamente, esse mesmo procedimento de estimação e teste continua até que seja determinado o número de regimes do modelo. Nesse estudo, o máximo de regimes permitido é quatro, ou seja, corresponde à possibilidade de existirem três relações distintas entre emissão de CO_2pc e renda *per capita*.

Apresentada a metodologia econométrica, painel não dinâmico com efeito *threshold*, se faz apropriado descrever e explorar a base de dados, por meio de estatísticas descritivas, para levantar alguns *insights* sobre a relação entre a emissão de CO_2pc e os seus determinantes aqui analisados.

4. FONTE E ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

Para averiguar o formato da CKA Global, considerando o período de 1980 a 2008, utiliza-se de informações anuais de 151 sobre a emissão de CO_2 *per capita*, PIB *per capita*, Abertura Econômica, Densidade Populacional, Progresso Tecnológico, Consumo de Energia Primária e Efeito Escala (PIB por km^2). Essas variáveis foram selecionadas com base em estudos semelhantes sobre o tema em epígrafe.¹⁵

A escolha pela emissão de CO_2pc como indicador de degradação ambiental decorre do simples fato do CO_2 ser o principal poluente causador de gases do efeito estufa, que, é a causa

¹⁵ Grossman e Krueger (1991), Shafik e Bandyopadhyay (1992), Panayotou (1993), Poon et al. (2006), Agravas e Chapman (1999), Arraes et al. (2006), Holtz-Eakin e Selden (1995), Shafik (1994), Maddison (2006), Moomaw e Unruh (1997), De Bruyn et al. (1998), Lucena (2005).

do aquecimento global.¹⁶ Almeida e Carvalho (2010) ainda destacam que está variável é tida como fluxo e está diretamente relacionada com o nível corrente da atividade econômica.

Além do mais, a regulamentação da emissão de *CO₂pc* é um bom instrumento de política ambiental global, por meio do mercado internacional de crédito de carbono, o qual foi apresentado explicitamente na Convenção das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas no Rio de Janeiro em 1992 (Beckerman e Pasek, 1995).

A emissão de *CO₂pc* é disponibilizada pela *U.S. Energy Information Administration*, EIA, e refere-se à emissão *per capita* de dióxido de carbono a partir do consumo de energia, mensurada em toneladas métricas de dióxido de carbono por pessoa.¹⁷

Galcotti, Lanza e Pauli (2006) argumentam que os dados da EIA parecem ser mais precisos do que o disponibilizado pelo *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC), principalmente por usar coeficientes de emissão específicos para diferentes produtos energéticos. Para o CDIAC, por sua vez, o único coeficiente utilizado é para o gás, petróleo e combustíveis sólidos fósseis, sem qualquer distinção entre os produtos de energia individual. No entanto, os autores argumentam que quantitativamente falando, as diferenças não são significativas.

A variável explicativa mais comum na literatura sobre a CKA é uma medida do nível de renda. Sendo assim, utiliza-se do PIB real *per capita* a valores de 2005¹⁸, *PIBpc*, fornecido pela *Penn World Table*, PWT 7.0, elaborada por Alan Heston, Robert Summers e Bettina Aten do Centro de Comparações Internacionais de Produção, Renda e Preços da Universidade da Pensilvânia nos Estados Unidos.

Para mensurar o *turning point*, é acrescido ao modelo o *PIBpc* ao quadrado, visando captar a curvatura e o nível máximo de emissão em relação ao nível de renda. Vale ressaltar que a inclusão deste termo é necessária para averiguar se a CKA apresenta forma de sino, ou seja, em qual estágio a economia se encontra. Lembrando que, de acordo com a formulação da CKA, existem três estágios. O primeiro é representado por uma relação positiva entre poluição e renda (o nível de poluição aumenta com o aumento da renda). O segundo é gerado a partir de uma desaceleração nos níveis de emissão de poluentes em relação à renda, enquanto o terceiro é descrito por uma diminuição dos níveis de poluição concomitante ao aumento da renda.

Liu (2005) argumenta que dois países com níveis semelhantes de tecnologia e dotação de fatores podem ter diferenças significativas na estrutura industrial em função de decisões de investimento no passado. Com isto, seus níveis de capital agregado podem ser semelhantes, mas as diferenças na composição do capital podem levar a diferença nos custos de oportunidade de reduzir as emissões. Diante disso, é preciso levar em consideração as características dos países na estimação do modelo, uma vez que existem outros fatores além da renda que explicam os níveis de emissão de *CO₂pc*.

A *abertura comercial* é aferida a partir da razão de comércio (a soma de importações com exportações sobre o PIB do país) e tem como fonte a PWT 7.0. De acordo com Grossman e Krueger (1991), Agravas e Chapman (1999) e Kaufmann et al. (1998), o volume de comércio é prejudicial ao meio ambiente, uma vez que a economia tende a produzir mais para atender a demanda interna e externa. Neste sentido, espera-se que quanto maior o grau de

¹⁶ A opção por trabalhar com o indicador *per capita*, deriva da necessidade de comparar os níveis de emissões dos países.

¹⁷ O conjunto de dados da EIA é baseado em balanços de energia e não inclui produção de cimento e queima de gás. Todavia, os impactos dessas emissões são pequenos e, de acordo com Galcotti, Lanza e Pauli (2006) estes contribuíram com menos de 5% para emissões totais em 1997. No entanto, é bom destacar que este indicador também não contempla as emissões decorrentes do uso da terra como desmatamento, pecuária e agricultura. Diante disso, pode-se dizer que para alguns países como o Brasil, por exemplo, o nível de emissão utilizado nesta pesquisa é subestimado, uma vez que, grande parte das emissões do Brasil é decorrente do uso da terra.

¹⁸ Os valores de 2005 são expressos com base na Paridade do Poder de Compra (PPC).

abertura econômica de um país, maior a emissão de CO_2pc . Todavia, Antweiler, Copeland e Taylor (2001) argumentam que a relação entre comércio e meio ambiente pode passar por vários canais e, conseqüentemente, é difícil dar uma previsão clara do sinal estimado do coeficiente do comércio sobre a emissão de CO_2pc .

O consumo de energia primária *per capita*, *energia*,¹⁹ é aferido a partir da razão entre o consumo total de energia primária e a população. A escolha por incluir esta variável decorre da necessidade de se utilizar uma *proxy* para captar o efeito da eficiência energética. Como *energia* e emissão de CO_2 são altamente correlacionadas, é possível reduzir uma sem reduzir a outra como, por exemplo, mudanças tecnológicas na geração de energia a partir do carvão por gás. Mais do que isto, para um dado nível de consumo de energia *per capita*, renda alta pode ser associada com tecnologia “limpa” (isto é, de baixa emissão de poluentes).

Assim como Grossman e Krueger (1991), Shafik e Bandyopadhyay (1992) Stern (2000), Maddison (2006), Perman e Stern (2003), optou-se por considerar uma variável de tendência temporal para aferir o impacto das mudanças tecnológicas ao longo destas três últimas décadas experimentadas pelos países.²⁰

Lantz e Feng (2006) e He e Richard (2010) incluem, além da tendência linear, uma tendência quadrática como *proxy* do progresso tecnológico. A inclusão do termo quadrático deriva de possíveis efeitos não lineares da tecnologia. Em relação ao sinal esperado do progresso tecnológico, *Tendência* e *Tendência*² é negativo e positivo, respectivamente; ou seja, primeiramente o efeito é decrescente e, em seguida, aumenta com o nível de emissão *per capita* (He e Richard, 2010).

Para cotejar a influência da densidade populacional, optou-se por incluir a razão entre População e km^2 , assim como fizeram Shukla e Parikh (1992), Kaufmann et al. (1997), Panayotou (1997) e outros.²¹ A primeira é disponibilizada pela PWT 7.0, enquanto a segunda tem como fonte a Divisão de Estatística das Nações Unidas (UNDS), sendo consideradas as informações de 2007 para a dimensão territorial dos países.

Assim como Panayotou (1997), este estudo também considera o PIB por km^2 , *PIB/km²*, em função da necessidade de avaliar o impacto do efeito de escala da produção nacional sobre a emissão *per capita*, ou seja, esta variável tem por finalidade captar o efeito da intensidade espacial da atividade econômica do país.²² Ang (1999) enfatiza a importância de incluir uma variável para representar o nível de atividade econômica na relação com pressão ambiental. Para Fonseca e Ribeiro (2005), o aumento do nível de atividade econômica por unidade de área leva a maiores índices de degradação ambiental, pois os recursos naturais são mais utilizados e a geração de poluentes tende a ser maior.

Uma síntese das variáveis, bem como suas descrições, fonte e sinal esperado são reportados no Quadro 1. Apresentada a base de dados, dar-se-á início à exploração da mesma, por meio das estatísticas descritivas e da matriz de correlação, Tabela 1. Com base nos valores observados para a emissão de CO_2pc para os 151 países aos 29 anos que compõe a amostra, 1980 a 2008, verifica-se que a emissão média é de 3,96 toneladas métricas de dióxido de carbono por habitante. A menor emissão foi observada em 1982 no Camboja 0,0056; enquanto a maior ocorreu no Bahrain, em 2008, 42,46 toneladas métrica por habitante.

¹⁹ Cole, Rayner e Bates (1997) também se utilizam desta variável para examinar a relação entre a renda *per capita* e os indicadores ambientais a partir de um painel de dados.

²⁰ A opção por utilizar esta *proxy* deriva da indisponibilidade de outras variáveis para aferir os do progresso tecnológico, principalmente, em decorrência do período temporal e da quantidade de países que compõe a base de dados deste ensaio. No entanto, esta tem sido a variável utilizada pela literatura.

²¹ Esta variável pode não ser uma boa *proxy* no caso de países continentais como o Brasil e China, por exemplo. Todavia, é a que

²² Talvez fosse melhor utilizar um indicador de urbanização, entretanto, em função da indisponibilidade desta, optou-se por considerar o *PIB/km²* para captar o efeito escala.

Em relação à renda *per capita*, Y , verifica-se que, em média, a população mundial vive com US\$ 9.395 (a valores de 2005 com base na paridade do poder de compra) ao ano. A República Democrática do Congo foi quem apresentou menor nível de renda *per capita*, US\$ 117,22, no ano 2000. Já a nação mais rica, Brunei, em 1980, teve renda *per capita* de US\$ 99.300.

O grau de *abertura comercial* médio ao longo do período em tela foi de 78,48%. A Somália, em 1991, pode ser considerada o país mais fechado para o comércio mundial, enquanto em 2008, Singapura ocupou o posto de nação com o maior nível de comércio mundial.

Em relação à *densidade*, população por km^2 , observa-se que em média os países têm 282 habitantes por km^2 . Os extremos, compostos pelos países com menor e maior densidade populacional, são a Mongólia em 1980 e o Macau em 2008, respectivamente.

No tocante ao consumo de energia primária, *Energia*, observa-se que, a média, é 934 toneladas equivalentes de petróleo *per capita*. Em 1999, os Estados Unidos da América foi o país com o menor nível de consumo *per capita*, enquanto que em 2008 a Seychelles foi quem mais consumiu energia primária em termos *per capita*.

O efeito de escala médio é de US\$ 5.831 por km^2 , sendo que, em 1981, a Mongólia obteve o menor valor de PIB por km^2 e, em 2008, o Macau teve a maior produção nacional por km^2 .

Variável	Descrição	Fonte	Sinal esperado
CO_2pc	Emissão <i>per capita</i> de dióxido de carbono a partir do consumo de energia, mensurado em toneladas de dióxido de carbono.	EIA	*
Y	PIB real <i>per capita</i> a valores de 2005	PWT 7.0	+
Y^2	O quadrado da variável $PIBpc$	PWT 7.0	-
Y^3	O cubo da variável $PIBpc$	PWT 7.0	**
Y/km^2	PIB real a valores de 2005 por km^2	PWT 7.0 e UNSD	+
<i>Abertura</i>	Grau de abertura, razão entre (importação + exportação) sobre o PIB.	PWT 7.0	+
<i>Energia</i>	Razão do consumo de energia primária, medido em toneladas equivalentes de petróleo, pela população.	EIA e PWT 7.0	+
<i>Progresso Tecnológico</i>	Tendência de tempo.	Lantz e Feng (2006) e He e Richard (2010)	-
<i>Progresso Tecnológico</i> ²	Tendência ao quadrado	Lantz e Feng (2006) e He e Richard (2010)	+
<i>Densidade</i>	Quantidade de pessoas por km^2	PWT 7.0 e UNSD	+

QUADRO I: DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Notas: i) * refere-se à variável dependente;

ii) ** espera-se que esta variável não tenha efeito significativo sobre a emissão de CO_2pc para que seja possível confirmar a hipótese da curva de Kuznets.

No tocante à correlação entre as emissões de CO_2pc e os seus determinantes, note que todas as variáveis de controle (Renda, Abertura, Densidade, Energia e Y/km^2) são positivamente correlacionadas com a emissão de CO_2pc . Diante disso, pode-se dizer que se espera uma relação positiva entre os determinantes da poluição e a emissão de CO_2pc . Além disso, a correlação converge para os sinais esperados. Em termos de magnitude, observa-se que a renda *per capita* possui a maior correlação com o nível de emissão *per capita*, seguida pelo grau de abertura da economia, Y/km^2 , Densidade e Energia.

Observe ainda que a correlação entre CO_2pc e Y , Y^2 e Y^3 é positiva e decrescente, isto é, a medida que aumenta o nível de renda *per capita*, diminui a emissão de CO_2 . Sendo assim,

pode-se dizer que, quanto mais desenvolvida for a economia, menor será seu nível de emissão de poluentes.

TABELA 1: ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

Variáveis	Média	Desvio padrão	Mínimo	Quartil 1	Quartil 2	Quartil 3	Máximo
CO ₂ pc	3,96	5,52	0,01	0,37	1,53	6,06	42,46
Y	9.395,26	11.492,04	117,22	1.385,24	4.655,53	12.470,24	99.300,01
Abertura	78,48	51,33	1,03	43,65	66,46	101,90	443,08
Densidade	281,55	1.243,66	1,06	19,09	59,96	158,26	18.827,59
Energia	934,14	4.330,44	0,00	8,10	73,68	330,21	68.825,60
Y/km ²	5.831,29	37.882,77	2,03	50,42	213,19	1.151,78	1.000.208,42

Matriz de Correlação entre a emissão de CO ₂ pc e seus determinantes						
Y	Y ²	Y ³	Abertura	Densidade	Energia	Y/km ²
0,80	0,66	0,47	0,31	0,14	0,05	0,17

Fonte: Elaborado pelos autores.

No intuito de explorar a relação entre os grupos de países, optou-se por tomar a média e a correlação de emissão de CO₂pc e de seus determinantes para cada quartil de renda *per capita* contido na Tabela 1. Este exercício tende a contribuir para exploração das informações por grupos de países, uma vez que a metodologia econométrica permitirá, a partir da renda *per capita* dos países, estimar até quatro CKA, uma para cada grupo de países.

Observe, na Tabela 2, que a emissão média de CO₂pc aumenta de acordo como o nível de renda *per capita* dos países. Mais do que isso, a correlação também aumenta quando a renda aumenta. Por exemplo, para o 1º quartil (países com renda *per capita* entre US\$ 117,22 e US\$ 1.385,24), existe uma correlação de 0,24 entre emissão e renda, enquanto que, no 2º quartil (US\$ 1.385,25 e US\$ 4.655,53), a correlação é de 0,41. No entanto, no 3º quartil, a correlação é inferior a do 2º e 4º quartis.

Em relação aos determinantes da emissão de CO₂pc, verifica-se que, no caso da *abertura comercial*, as maiores correlações entre a intensidade do comércio exterior e o nível de renda *per capita* são experimentadas pelo 4º, 1º, 2º e 3º quartis, respectivamente, sendo que os países com maiores níveis de renda também possuem um comércio mais intenso.

A correlação entre renda e densidade populacional é maior para os países com nível de renda *per capita* entre US\$ 4.655,53 e US\$ 12.470,24 (3º quartil). Observe que para o 2º quartil de renda, a relação é negativa, enquanto que para o 4º quartil, a correlação é próxima de zero. A correlação entre o nível de renda *per capita* e o consumo de *energia primária* é negativa para quase todos os quartis, exceto o terceiro. Enquanto que a correlação entre o efeito escala, Y/km², é positiva, porém os países com renda *per capita* entre US\$ 4.655,54 a US\$ 12.470,24 possuem a maior correlação, seguidos pelos países com renda *per capita* a partir US\$ 117,22 a US\$ 1.385,24. A menor correlação é observada para os países que compõe o 4º quartil (US\$ 12.470,24 a US\$ 99.300,01).

TABELA 2: MÉDIA E CORRELAÇÃO POR QUARTIL DE RENDA PARA EMISSÃO DE CO₂PC E SEUS DETERMINANTES.

	Quartil	CO ₂ pc	Abertura	Densidade	Energia	Y/km ²
Média	1º	0,23	57,22	89,54	503,33	79,10
	2º	1,13	85,03	99,82	808,98	269,00
	3º	3,51	76,93	113,23	1.163,23	914,36
	4º	10,95	95,87	827,53	1.290,08	22.072,41
Correlação	1º	0,24	0,15	0,14	-0,02	0,27
	2º	0,41	0,13	-0,03	-0,15	0,19
	3º	0,37	0,09	0,16	0,06	0,33
	4º	0,42	0,18	0,01	-0,08	0,11

Fonte: Elaborado pelos autores.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS²³

Esta seção se reserva a análise e discussão dos resultados estimados para aferir o formato da CKA Global. A variabilidade da relação entre emissão de CO_2pc e o nível de renda *per capita* é apresentada com base em dois modelos não lineares de painel com efeitos-fixos. Os modelos se diferem pelo tratamento dado às variáveis de controle (Abertura, Progresso Tecnológico, Densidade, Energia, Y/km^2) na equação de regressão. No Modelo 1, seus respectivos coeficientes não mudam com o efeito *threshold*. Nesse caso, apenas os coeficientes da renda, renda ao quadrado e renda ao cubo variam entre regimes determinados pela variável *threshold*. O segundo modelo permite que, tanto os coeficientes das variáveis de controle, como Y , Y^2 e Y^3 , variem entre os regimes.

A Tabela 3 reporta os resultados do primeiro modelo, estimado a partir de duas especificações, *Linear* e *Threshold Triplo*. A estimação (e apresentação) do modelo *Linear* decorre da possibilidade de comparação dos seus resultados com os encontrados na literatura, enquanto o modelo *Threshold Triplo* é reportado em função da estatística de teste LR sugerido como o modelo estatisticamente relevante, uma vez que rejeitaram as hipóteses de um, dois e três efeitos *threshold* contra quatro regimes. Sendo assim, o *Threshold Triplo*, é o adequado para a análise empírica.

TABELA 3: MODELOS THRESHOLD COM VARIÁVEIS DE CONTROLE FIXAS

Variável	Linear	Threshold Triplo			
		1° Regime	2° Regime	3° Regime	4° Regime
Y	-12,7592* (-17,2953)	-4,1649* (-2,1601)	-24,0232* (-13,5921)	-10,9563* (-10,9275)	10,1309* (4,8061)
Y^2	1,7229* (19,1931)	0,6665* (2,8194)	3,0108* (13,2784)	1,4949* (12,3538)	-0,8730* (-3,4723)
Y^3	-0,07039* (-19,5399)	-0,0271* (-2,8352)	-0,1191* (-12,5008)	-0,0610* (-12,6588)	0,0265* (2,6876)
<i>Tendência</i>	0,0153* (4,2078)			0,0181* (5,2067)	
<i>Tendência</i> ²	-0,0006* (-5,0862)			-0,0006* (-5,809)	
<i>Abertura</i>	0,2022* (12,3476)			0,1521* (9,3681)	
<i>Densidade</i>	-0,0131 (-1,5931)			-0,0106 (-1,3165)	
<i>Energia</i>	0,0479* (7,6909)			0,0657* (10,7139)	
Y/km^2	-0,00000032 (-1,1640)			0,00000002 (0,0875)	
<i>Thresholds</i>	-		US\$ 820,57	US\$ 1.326,10	US\$ 14.472,42
Σe^2	780,40			709,86	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Notas:

- i) As estimações foram corrigidas para Heteroscedasticidade.
- ii) Os valores entre parênteses reportam a estatística t.
- iii) * Significante ao nível de 1%, ** Significante ao nível de 5%,*** Significante ao nível de 10%.

Ao analisar o modelo *Threshold Triplo*, verifica-se que as economias são separadas em quatro grupos com base nos seus níveis de renda *per capita*, sendo o primeiro regime formado pelos países que possuem renda até US\$ 820,57, enquanto o segundo regime é

²³ A estimativa dos resultados é feita baseada em código do *software* Gauss disponibilizada por Hansen (1999).

representado pelas economias com renda superior ao do primeiro e inferior a U\$ 1.326,10. Já o terceiro, é composto pelas economias com renda *per capita* entre U\$1.326,10 e U\$ 14.472,42, e, por fim, as economias com renda superior a U\$ 14.472,42 se fazem presentes no quarto regime. Nestes termos, pode-se dizer que a CKA é verificada para quatro grupos de países com base em suas rendas *per capita* a valores de 2005.²⁴

Em relação ao formato da CKA, pode-se dizer que, tanto no primeiro quanto no segundo e terceiro regimes, observa-se que a CKA se apresenta na forma de S, haja vista a combinação dos coeficientes de Y , Y^2 e Y^3 (negativo / positivo / negativo). No entanto, vale salientar que a forma de S é uma aproximação da forma de “U”-invertido ao se observar a relação entre Y^2 e Y^3 com a emissão de CO_2pc .

Por outro lado, para as economias com renda *per capita* superior a U\$ 14.472,42 a CKA possui forma de N, assim como encontrado por Grossman e Krueger (1995), Moomaw e Unruh (1997), Carvalho e Almeida (2010) e outros. Diante disso, pode-se inferir que as economias com renda até U\$ 14.472,42 estão em fase de diminuição dos níveis de emissão de CO_2pc , enquanto que, para as economias com renda superior a esta, a emissão de CO_2pc continua aumentando.

Em relação aos sinais dos coeficientes das variáveis de controle (determinantes da emissão de CO_2), verifica-se que estão de acordo com a literatura. Em termos de magnitude, observa-se que a *abertura comercial* apresenta o maior impacto sobre as emissões *per capita*, sendo que, para cada aumento de 10% no grau de abertura (razão entre as somas de exportação e importação sobre o PIB), a emissão de CO_2pc aumenta em 1,5%.

O consumo de energia, também exerce impacto positivo sobre a emissão de CO_2pc , sendo que um aumento de 10% no consumo de energia primária, *ceteris paribus*, faz com que a emissão *per capita* aumente em 0,7%.

A partir de agora, a análise se concentra no Modelo 2, o qual permite que tanto as variáveis de renda quanto as de controle variem de acordo com o regime. Os resultados estão dispostos na Tabela 4. O teste de hipótese de linearidade favoreceu a especificação com três valores *threshold* distintos – o modelo tem quatro regimes. Sendo assim, são estimadas quatro CKA, uma para cada regime.²⁵

Os países que compõem o primeiro regime possuem renda *per capita* até U\$ 1.164,45. Estes podem ser considerados o grupo de países pobres. A seguir, encontram-se os países com renda superior ao do primeiro regime e inferior a U\$1.978,31, seguidos pelos países com renda até U\$ 14.472,42. Estes dois grupos de países podem ser considerados os países em desenvolvimento. E, por fim, os países desenvolvidos possuem renda *per capita* superior a U\$ 14.472,42.²⁶

Os coeficientes da renda do primeiro ao terceiro regime se mostraram significantes e não atendem à condição de concavidade do “U”-invertido, uma vez que a combinação dos parâmetros fornecem inicialmente uma relação negativa entre renda *per capita* e emissão de

²⁴ Com base nos parâmetros *threshold* estimados para os níveis de renda *per capita*, pode-se dizer que 13,3% da amostra pertencem ao primeiro regime, enquanto que para os níveis de renda entre U\$ 820,57 e U\$ 1.326,10 – 2º regime – tem-se 11%. O terceiro regime contempla a maior parte dos países, 52%. E, por fim, 25% da amostra é considerada como países desenvolvidos – renda *per capita* superior a U\$ 14.472,42 ao ano em valores de 2005.

²⁵ A título de ilustração, realizou um teste de mínimos quadrados restritos para comparar os modelos 1 e 2 e, com base na estatística F, pode-se dizer que o Modelo 2 – Modelo *Threshold* com variáveis de controle variando de acordo com o regime – é mais bem especificado que o Modelo 1 ao nível de 1% de significância. Lembrando que este teste é aplicado em modelos aninhados e, como os valores *threshold* são diferentes, não se sabe até que ponto o teste é válido.

²⁶ Com base nestes valores de renda *per capita*, a amostra se distribui entre os regimes da seguinte maneira: o 1º regime concentra 21% das informações, o segundo contempla 10%, o terceiro 45%, e, por fim, o 4º regime tem 24%. Percebe-se novamente que o terceiro regime – países com renda *per capita* entre U\$1.978,31 e U\$ 14.472,42, a valores de 2005 – é o de maior concentração.

CO_2pc , seguida por uma relação positiva e, por fim, a relação é negativa. No entanto, pode-se dizer que, para estes regimes, na medida em que a renda aumente, existe uma tendência de que a emissão de CO_2pc diminua, haja vista que, se considerar somente os coeficientes β_{i2} e β_{i3} , i indica o regime, percebe-se uma curva em forma de “U”-invertido. Assim sendo, a relação se verifica no caso dos países aumentarem seus níveis de renda *per capita*. Por outro lado, no quarto regime, países com renda *per capita* superior a US\$ 14.472,42 ao ano, observa-se que a forma de “U”-invertido se verifica, ao nível de 10% de significância, uma vez que $\beta_{01} > 0$ e $\beta_{02} < 0$. Diante disso, pode-se inferir que os países desenvolvidos se encontram na terceira fase de transição, economia pós-industrial (isto é, intensiva no setor de serviços).²⁷

TABELA 4: MODELOS THRESHOLD COM VARIÁVEIS DE CONTROLE VARIANDO DE ACORDO COM O REGIME

Variável	Linear	Threshold Triplo			
		1° Regime	2° Regime	3° Regime	4° Regime
Y	-12.7592* (-17.2953)	-14.2371* (-5.8593)	-18.5100* (-7.4899)	-8.4429* (-7.0149)	7.4748* (2.5222)
Y^2	1.7229* (19.1931)	1.8103* (6.0693)	2.4607* (7.3676)	1.1939* (8.3516)	-0.5627*** (-1.6122)
Y^3	-0.07039* (-19.5399)	-0.0704* (-5.7941)	-0.1014* (-7.0418)	-0.0491* (-8.8456)	0.0142 (1.0480)
Tendência	0.0153* (4.2078)	0.0390* (4.0196)	0.0585* (4.5494)	0.0108** (1.9868)	0.0119 (1.4791)
Tendência ²	-0.0006* (-5.0862)	-0.0009* (-3.2281)	-0.0021* (-5.6417)	-0.0005* (-2.8698)	-0.0005** (-1.9176)
Abertura	0.2022* (12.3476)	-0.0039 (-0.0813)	0.0598*** (1.7517)	0.2129* (7.2689)	0.2536* (6.6019)
Densidade	-0.0131*** (-1.5931)	0.0602** (1.8588)	-0.0871*** (-1.7474)	-0.0966* (-6.4018)	-0.0235 (-1.2006)
Energia	0.0479* (7.6909)	0.1373* (7.6016)	-0.0258 (-0.8278)	0.0874* (3.7889)	0.0412* (2.1972)
Y/km^2	-0.0000003 (-1.1640)	-0.000001*** (1.6971)	0.000001* (4.8923)	0.000006* (3.7539)	0.00003* (9.1288)
Thresholds	-		US\$ 1.164,45	US\$ 1.978,31	US\$ 14.472,42
Σe^2	-			709,86	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Notas:

- i) As estimações foram corrigidas para Heteroscedasticidade.
- ii) Os valores entre parênteses reportam a estatística t.
- iii) * Significante ao nível de 1%, ** Significante ao nível de 5%, *** Significante ao nível de 10%.

Em relação às variáveis de controle, observa-se que a *abertura comercial* não exerce impacto sobre a emissão de CO_2pc para os países com renda *per capita* até US\$ 1.164,45, isto é, no caso do primeiro regime, não se pode inferir que a intensidade do comércio é benéfica ou maléfica em termos de poluição ambiental. No entanto, para os países do segundo ao quarto regime, verifica-se que a *abertura comercial* exerce impacto positivo sobre a emissão de CO_2pc . Este resultado corrobora a visão de Grossman e Krueger (1991), Agras e Chapman (1999), Kaufmann et al. (1998) de que o volume de comércio é prejudicial ao meio ambiente.

27 Os Gráficos 1 a 4, em apêndice, reportam as estimativas das CKA para os quatro regimes estimados pelo modelo 2, descritos na Tabela 4. Observe que à medida que a renda per capita aumenta, a curva fica mais suave e tende a assumir a forma de “U”-invertido; ou seja, existe uma heterogeneidade na CKA global, uma vez que os países se encontram em estágios de desenvolvimentos diferentes.

No caso do progresso tecnológico, os resultados corroboram com Lantz e Feng (2006) e He e Richard (2010), uma vez que, à medida que o progresso tecnológico aumenta, diminui a emissão de CO_2pc – este efeito é captado pelo termo quadrático. Embora o impacto seja pequeno, em termos de magnitude, talvez este efeito seja maior de forma indireta como, por exemplo, o impacto (positivo) do progresso tecnológico sobre a renda, pode fazer com que os países migrem para o regime de renda mais alta e, como a CKA vale para países com renda *per capita* alta, as emissões tendem a declinar com altos níveis de renda. Portanto, recomenda-se o investimento em tecnologia para dirimir a pressão ambiental, haja vista que o efeito técnico é capaz de reduzir a emissão de poluentes, como bem observou Grossman e Krueger (1991).

A *densidade* populacional parece divergir em relação aos regimes, sendo que, no primeiro regime, o efeito é positivo sobre a emissão de CO_2pc , enquanto que no segundo e terceiro regimes, a influência da densidade populacional é negativa sobre a emissão *per capita*. Ou seja, o efeito do crescimento populacional por km^2 nos países com renda *per capita* até U\$ 1.164,45 sobre as emissões é crescente, enquanto que nos países com renda entre U\$ 1.978,31 e U\$ 14.472,42, o efeito é negativo.

A partir dos coeficientes estimados para o consumo de energia primária *per capita*, pode-se dizer que o aumento no consumo de *energia* exerce impacto positivo sobre a emissão de CO_2pc , exceto no caso do segundo regime, em que o efeito é estatisticamente nulo. Em termos de magnitude dos coeficientes, verifica-se que o efeito é decrescente em relação ao regime, isto é, no primeiro regime, um aumento de 10% no consumo de *energia*, *ceteris paribus*, faz com que a emissão aumente 1,4%, enquanto que, no terceiro e quarto regimes, os impactos sobre a emissão são 0,9% e 0,4%, respectivamente. Diante disso, pode-se inferir que renda alta está associada à tecnologia limpa (baixa emissão de poluentes).

No tocante ao efeito escala, mensurado por Y/km^2 , verifica-se que, para os países mais pobres, com renda *per capita* até U\$ 1.164,45, o impacto sobre a emissão *per capita* diverge do esperado, uma vez que aumentos em Y/km^2 reduzem a emissão de CO_2pc . Entretanto, para os países que compõem o segundo, terceiro e quarto regimes, o efeito é positivo e, com isto, o aumento no nível de atividade econômica faz com que a degradação ambiental aumente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A relação entre crescimento econômico e poluição descrita por Grossman e Krueger (1991), conhecida como Curva de Kuznets Ambiental, que assume forma de “U”-invertido, não consegue se estabelecer na literatura como um fato estilizado, a partir da relação positiva entre renda e poluição para países com baixo nível de desenvolvimento e negativa para os países com elevados níveis de renda. Além disso, outro problema apontado pela literatura consiste na generalização dos resultados, mesmo tendo que os países (regiões ou municípios) apresentem diferentes trajetórias nas emissões de poluentes *per capita*.

Sendo assim, este artigo estuda esta problemática no contexto global e contribui com a literatura por estimar um modelo com dados em painel com efeito *threshold*. Essa técnica incorpora um aspecto dinâmico implícito na relação de Kuznets ao permitir que cada país siga sua trajetória própria de crescimento econômico e emissão de CO_2pc , ou seja, avalia os efeitos heterogêneos da relação entre renda e poluição *per capita*. Além disso, são estimados dois tipos de modelos, um com as variáveis de controle fixas, e outro que permite que estas variem de acordo como o regime.

Com base nos testes econométricos, concluiu-se que o modelo linear não é válido, portanto, aceita a hipótese alternativa para um modelo livre, onde a relação entre emissão de CO_2pc e crescimento econômico é descrita por uma amostra dividida em quatro regimes, baseados na renda *per capita*. O primeiro regime, a ser considerado, é composto pelas

economias com renda *per capita* inferior a U\$ 1.164,45. O segundo regime pode ser interpretado como o grupo de países com renda intermediária baixa, haja vista que os países possuem rendas iguais ou maiores do que U\$ 1.164,45 e menores do que U\$ 1.978,31, enquanto os países em desenvolvimento vivem com renda *per capita* anual até U\$ 14.472,42. Já os países desenvolvidos são caracterizados por terem renda superior a U\$ 14.472,42.

As evidências empíricas sugerem que a hipótese do “U”-invertido é, de fato, válida para os países desenvolvidos, renda *per capita* acima de U\$ 14.472,42. Para os países mais pobres (com faixas de renda *per capita* inferior a U\$ 14.472,42), os resultados apontam que aumentos na renda podem diminuir a pressão ambiental, no entanto, a CKA para estes países apresenta forma de S, ou seja, a forma de “U”-invertido se verifica se forem considerados os parâmetros da renda *per capita* ao quadrado e ao cubo (altos níveis de renda).

Em relação às variáveis de controle, observou-se que o *progresso tecnológico* apresentou sinal negativo, enquanto para seu termo quadrático o sinal foi positivo, isto é, à medida que o progresso tecnológico aumenta, diminui a emissão de CO_2pc . No caso da *abertura comercial*, quanto maior a intensidade do comércio (razão entre a soma de exportação com importação sobre o PIB), maior a emissão de CO_2pc .

O consumo de energia primária, *energia*, exerce impacto positivo sobre a emissão de CO_2pc , no entanto, em relação à magnitude dos parâmetros estimados para os quatro regimes, percebe-se que, quanto maior a renda, menor a intensidade energética sobre a emissão de poluentes. Isto corrobora o argumento de Grossman e Krueger (1991) do efeito composição, ou seja, à medida que a renda aumenta, diminui a pressão ambiental em função do uso de tecnologias com baixo nível de emissão.

No caso do efeito escala, mensurado pela razão entre PIB por km^2 , para os países com renda *per capita* até U\$ 7.060,00 o impacto sobre a emissão *per capita* é negativo. Mas, para os países que compõem o segundo, terceiro e quarto regimes, o efeito é positivo, sugerindo que aumentos na atividade econômica repercutem de maneira positiva sobre a pressão ambiental.

De uma maneira geral, pode-se dizer que, ao validar a hipótese do “U”-invertido para os países mais ricos, este estudo pode ser tomado como instrumento balizador de novas políticas públicas destinadas a reduzir a emissão de CO_2pc , de forma direcionada a cada economia de acordo com o estágio de desenvolvimento em que estas se encontrem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acemoglu, D.; Aghion, P.; Bursztyn, L.; Hemous, D. The Environment and Directed Technical Change. **American Economic Review**, 2010. (*forthcoming*)

Agras, J.; Chapman, D. A dynamic approach to the environmental Kuznets curve hypothesis. **Ecological Economics**, v. 28, n. 2, p. 267-277, 1999.

Ahluwalia, M. S. Income distribution and development: some stylized facts. **American Economic Review**, v. 66, n. 2, p. 128-135, 1976.

Aímola, L. Alguns cenários exploratórios sobre o regime após o Protocolo de Quioto. In: Gilberto Dupas (org.) – **Meio Ambiente e Crescimento Econômico: tensões estruturais**. São Paulo, Ed. Unesp, 2008.

Aldy, J. E. Divergence in State-Level Per Capita Carbon Dioxide Emissions. **Land Economics**, n. 83, v. 3, p. 353-369, 2007.

Aldy, J. E. Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Convergence or Divergence? **Environmental and Resource Economics**, v. 33, n. 4, p. 533-555, 2006.

Andreoni, J.; Levinson, A. The simple analytics of the environmental Kuznets Curve. **Journal of Public Economics**, v. 80, n. 2, p. 269–286, 2001.

Ang, B. W. Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change? **Energy Policy**, v. 27, p. 943-946, 1999.

Antweiler, W.; Copeland, B. R.; Taylor, M. S. Is Free Trade Good for the Environment? **American Economic Review**, v. 91, n. 4, p. 877-908, 2001.

Arraes, R. A.; Diniz, M. B.; Diniz, M. J. T. Curva ambiental de Kuznets e desenvolvimento econômico sustentável. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 3, p. 525-547, 2006.

Arrow, K. et al. Economic growth, carrying capacity and the environment. **Ecological Economics**, v. 15, n. 2, p. 91–95, 1995.

Barro, R. J. Inequality and growth in a panel of countries. **Journal of Economic Growth**, v. 5, p. 5-32, 2000.

Beckerman, W. Economic growth and the environment: whose growth? whose environment? **World Development**, v. 20, n. 4, p. 481-496, 1992.

Beckerman, W; Pasek, J. The equitable international allocation of tradable carbon emission permits. **Global Environmental Change**, v. 5, n. 5, p. 405-413, 1995.

Berk, K. N. Consistent autoregressive spectral estimates. **Annals of Statistics**, v. 2, p. 489-502, 1974.

Bimonte, S. **Model of Growth and Environmental Quality**. A New Evidence of the Environmental Kuznets Curve. April, mimeo, 2001.

Boden, T. A.; Marland, G.; Andres, R. J. **Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions**. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A., 2010.

Bousquet, A.; Favard, P. **Does S. Kuznets' Belief Question the Environmental Kuznets Curves?** September, mimeo, 2000.

Carvalho, T. S.; Almeida, E. A hipótese da curva de Kuznets ambiental global: uma perspectiva econométrico-espacial. **Estudos Econômicos**, v. 40, n.3, p. 587-615, 2010.

Cole, M. A. Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages. **Ecological Economics**, v. 48, p. 71-81, 2004.

Cole, M. A.; Rayner, A. J.; Bates, J. M. The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. **Environment and Development Economics**, v. 2, p. 401-416, 1997.

De Bruyn, S. M.; Van Den Bergh, J. C. J. M.; Opschoor, J. B. Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves. **Ecological Economics**, v. 25, p. 161-175, 1998.

Deacon, R.; Norman, C. S. **Is the Environmental Kuznets Curve an empirical regularity?** Santa Barbara: University of California at Santa Barbara, Department of Economics, 2004. (Economics Working Paper Series 22-03).

Dinda, S. A theoretical basis for the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 53, p. 403– 413, 2005.

Dinda, S.; Coondoo, D. Income and emission: A panel data-based cointegration analysis. **Ecological Economics**, v. 57, p. 167– 181, 2006.

Echevarria, C.; Ho, S. **A Decomposition of the Environmental Kuznets Curve**. February, mimeo, 2000.

Ezcurra, R. Is there Cross-Country Convergence in Carbon Dioxide Emissions? **Energy Policy**, v. 35, p. 1363-1372, 2007.

Fonseca, L. N.; Ribeiro, E. P. **Preservação ambiental e crescimento econômico no Brasil**. In: Encontro de Economia da Região Sul, VII, 2005. Preservação ambiental e crescimento econômico no Brasil. Rio Grande do Sul, 2005.

Galeotti, M.; Lanza, A.; Pauli, F. Reassessing the environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: A robustness exercise. **Ecological Economics**, v. 57, n. 1, p. 152-163, 2006.

Grossman, G.; Krueger, A. Economic growth and the environment. **Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1995.

Grossman, G.; Krueger, A. **Environmental impacts of a North American free trade agreement**. NBER, paper 3914, Cambridge, MA, 1991.

Hansen, B. E. Inference when a nuisance parameter is not identified under the null hypothesis. **Econometrica**, v. 64, p. 413-430, 1996.

Hansen, B. E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference. **Journal of Econometrics**, v. 93, n. 2, p. 345-368, 1999.

He, J.; Richard, P. Environmental Kuznets curve for CO₂ in Canada. **Ecological Economics**, v. 69, n. 5, p. 1083-1093, 2010.

Heston, A.; Summers, R.; Aten, B. **Penn World Table Version 7.0**. Center for International Comparisons of Production, Income and Prices at the University of Pennsylvania, 2011.

Hilgemberg, E. M.; Guilhoto, J. J. M. Uso de combustíveis e emissões de CO₂ no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. **Nova Economia**, v.16, n.1, p. 49-99, 2006.

Holtz-Eakin, D.; Selden, T. M. Stocking the fires? CO₂ emissions and economic growth. **Journal of Public Economics**, v. 57, n. 1, p. 85-101, 1995.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Draft Report on the 21st Session of the IPCC**. Vienna: mimeo, 2003. Disponível em: www.ipcc.ch [acesso em fev. 2011].

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. **Special Report on Emissions Scenarios**. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Kaufmann, R. K.; Davidsdottir, B.; Garnham, S.; Pauly, P. The determinants of atmospheric SO₂ concentrations: reconsidering the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 25, p. 209-220, 1998.

Kuznets, S. Economic Growth and Income Equality. **American Economic Review**, v. 45, n. 1, p.1-28. 1955.

Lantz, V.; Feng, Q. Assessing income, population, and technology impacts on CO₂ emissions in Canada: Where's the EKC? **Ecological Economics**, v. 57, n. 2, p. 229-238, 2006.

Lee, C. C.; Chang, C. C. New evidence on the convergence of per capita carbon dioxide emissions from panel seemingly unrelated regressions augmented Dickey– Fuller tests. **Energy**, v. 33, p. 1468– 1475, 2008.

Lucena, A. F. P. **Estimativa de uma Curva de Kuznets Ambiental aplicada ao uso de energia e suas implicações para as emissões de carbono no Brasil**. 2005. 132f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

Maddison, D. Environmental Kuznets Curves: a spatial econometric approach. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 51, p. 218-230, 2006.

Marland, G.; Boden, T. A.; Andres, R. J. Global, Regional, and National CO₂ Emissions. In **Trends: A Compendium of Data on Global Change**. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory, Carbon Dioxide Information Analysis Center, 2003.

Moomaw, W. R.; Unruh, G. C. Are environmental Kuznets curves misleading us? The case of CO₂ emissions. **Environment and Development**, v. 2, p. 451-463, 1997.

Nakicenovic, N.; Grübler, A.; Gaffin, S.; Jung, T. T.; Kram, T.; Morita, T.; Pitcher, H.; Riahi, H.; Schlesinger, M.; Shukla, P. R.; Van Vuuren, D.; Davis, G.; Michaelis, L.; Swart, R.; Victor, N. IPCC SRES Revised: A response. **Energy and Environment**, v. 14, n.2, p. 187-214, 2003.

Panayotou, T. Demystifying the Environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool. **Environment and Development Economics**, v. 2, n. 4, p. 465-484, 1997.

Panayotou, T. **Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development**. Technology and Employment Programme. Geneva: International Labor Office, 1993. (Working Paper WP238).

Panopoulou, E.; Pantelidis, T. Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions. **Environmental & Resource Economics**, v. 44, n. 1, p. 47-70, 2009.

Pearson, P. J. G. Energy, externalities, and environmental quality: will development cure the ills it creates. **Energy Studies Review**, v. 6, p. 199-216, 1994.

Perman, R.; Stern, D. I. Evidence from panel unit root and cointegration tests that the Environmental Kuznets Curve does not exist. **The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 47, n. 3, p. 325-347, 2003.

Poon, J. P. H.; Casas, I.; He, C. The impact of energy, transport and trade on air pollution in China. **Eurasian Geography and Economics**, v. 47, p. 568-584, 2006.

Ravallion, M.; Heil, M.; Jalan, J. Carbon Emissions and Income Inequality. **Oxford Economic Papers**, v. 46, p. 757-773, 2000.

Roca, J.; Alcántara, V. Energy intensity, CO₂ emissions and the environmental Kuznets curve. The Spanish case. **Energy Policy**, v. 29, p. 553-556, 2001.

Rupasingha, A.; Goetz, S. J.; Debertin, D. L.; Pagoulatos, A. The Environmental Kuznets Curve for US counties: a spatial econometric analysis with extensions. **Regional Science**, v. 83, p. 407-424, 2004.

Selden, T. M.; Song, D. 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.

Shafik, N. Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis. **Oxford Economic Papers**, v. 46, p. 757-773, 1994.

Shafik, N., Bandyopadhyay, S. Economic growth and environmental quality: a time series and cross-country evidence. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 4, p.1-24, 1992.

Shukla, V.; Parikh, K. The Environmental Consequences of Urban Growth: Cross-National Perspectives on Economic Development, Air Pollution, and City Size. **Urban Geography**, v. 13, n. 5, p. 422-48, 1992.

Stern, D. I. Explaining changes in global sulfur emissions: an econometric decomposition approach. **Ecological Economics**, v. 42, n. 1/2, p. 201-220, 2002.

Stern, D. I. Applying recent developments in time series econometrics to the spatial domain. **Blackwell Publishers**, v. 52, n. 1, p. 37-49, 2000.

Stern, D. I. The rise and the fall of the Environmental Kuznets Curve. **World Development**, v. 32, n. 8, p. 1419-1439, 2004.

Stern, D. I. Global sulfur emissions from 1850 to 2000. **Chemosphere**, Troy, v. 58, p. 163-175, 2005.

Stern, D. I. Progress on the environmental Kuznets curve? **Environmental and Development Economics**, v. 3, n. 2, p. 173-196, 1998.

Stern, N. S. **Stern Review: The Economics of Climate Change**. 2006. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf. [acesso em mar. 2011].

Sun, J. W. The nature of CO₂ emissions Kuznets curve. **Energy Policy**, v. 27, p. 691-694, 1999.

Suri, V.; Chapman, D. Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 25, p. 195-208, 1998.

Webster, M. D.; Babiker, M.; Mayer, M.; Reilly, J. M.; Harnisch, J.; Hymam, R.; Sarofim, M. C.; Wang, C. **Uncertainty in Emissions Projections of Climate Models**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, 2002. (mimeo).

APÊNDICE

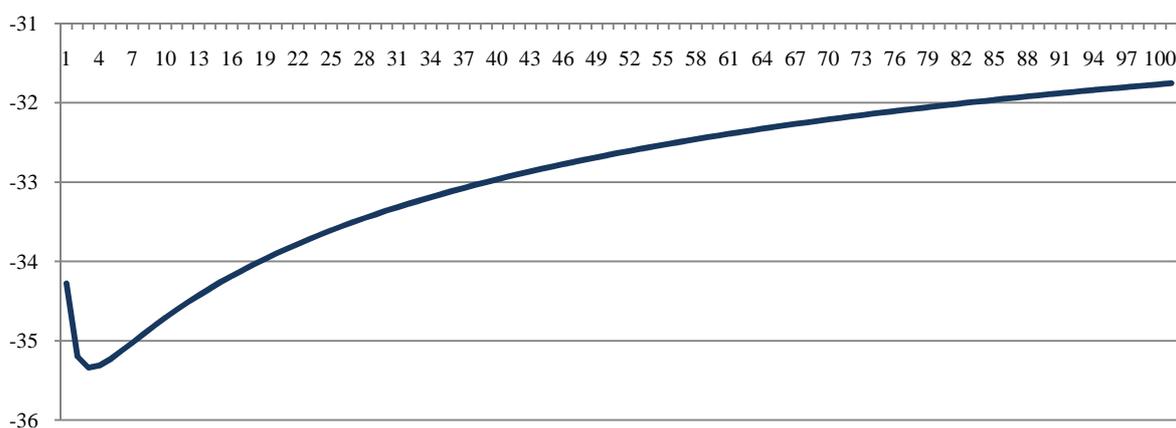


GRÁFICO 1: CURVA DE KUZNETS NA FORMA DE S PARA O 1º REGIME.

FONTE: ELABORADO PELOS AUTORES.

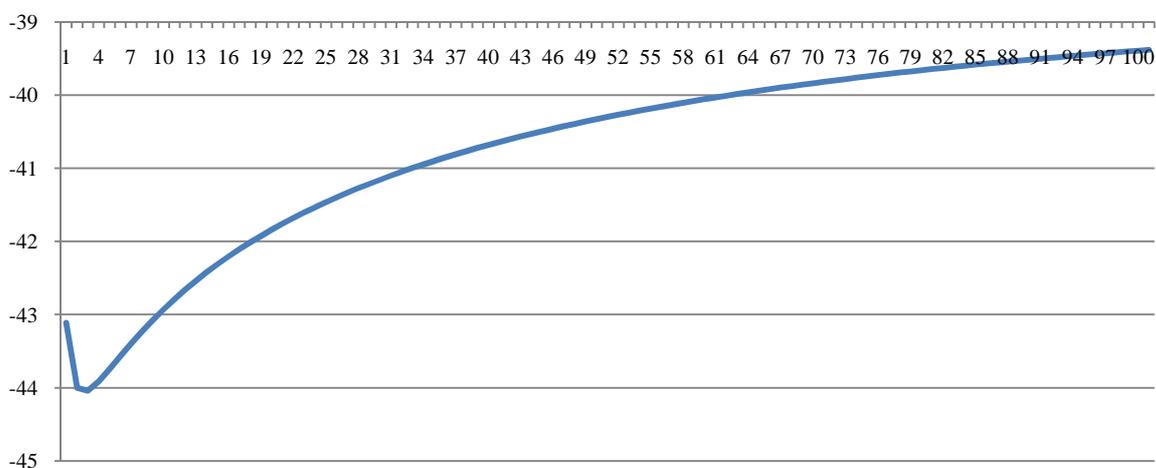


GRÁFICO 2: CURVA DE KUZNETS NA FORMA DE S PARA O 2º REGIME.

FONTE: ELABORADO PELOS AUTORES.

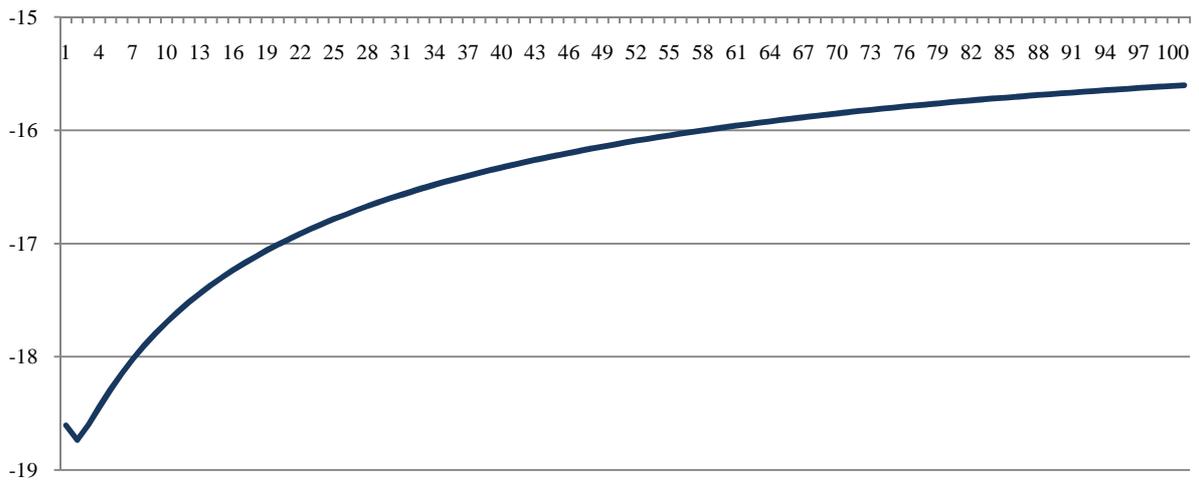


GRÁFICO 3: CURVA DE KUZNETS NA FORMA DE S PARA O 3º REGIME.
 FONTE: ELABORADO PELOS AUTORES.

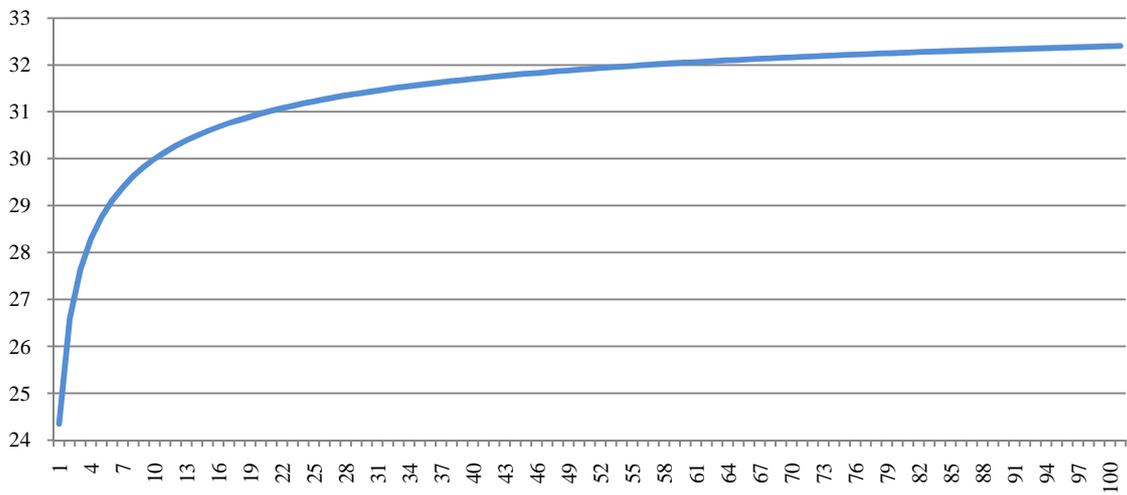


GRÁFICO 4: CURVA DE KUZNETS NA FORMA DE "U"-INVERTIDO PARA O 4º REGIME.
 FONTE: ELABORADO PELOS AUTORES.