

Análise da Curva Ambiental de Kuznets para um conjunto de países utilizando regressão quantílica

Kuznets Environmental Curve analysis for a set of countries using quantile regression

Valquíria Soares da Silva^a

Thiago Costa Soares^b

RESUMO

Esse estudo tem como objetivo testar e analisar a validade da Curva Ambiental de Kuznets (CAK) para um conjunto de 113 países, entre 1990 e 2012, utilizando as variáveis emissões de gases causadores de efeito estufa (GEE), consumo de energia *per capita*, PIB *per capita* e o grau de abertura comercial. Para tanto, foi adotado o método de regressão quantílica em um painel de efeitos fixos. Os resultados da pesquisa corroboram com a hipótese central da CAK em todos os quantis analisados. Porém, foram encontrados diferentes pontos de inflexão nos quantis de emissão estimados, mostrando ser plausível a existência de diversas trajetórias para as emissões globais de GEE.

Palavras-chave: Curva Ambiental de Kuznets Emissões de gases de efeito estufa Regressão quantílica.

JEL: Q54 C31 C33.

ABSTRACT

This study aims to test and analyze the validity of Environmental Kuznets Curve (EKC) for 113 countries over the period 1990-2012, by using greenhouse gas (GHG) emission per capita, energy consumption per capita, GDP per capita and trade openness. For this, quantile regression method was adopted with a fixed effects panel. The results indicate the validity of EKC for all quantiles analyzed. Nevertheless, it was found different turning points in the sample. We conclude that it is possible to exist different GHG emission path globally.

Keywords: Environmental Kuznets Curve Emissions of greenhouse gases Quantile regression.

^a Bacharela em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Juiz de Fora, *campus* Governador Valadares (UFJF/GV). E-mail: valquiriasoares12@hotmail.com.

^b Professor do Departamento de Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora, *campus* Governador Valadares (UFJF/GV). E-mail: thiago.costa@ufjf.edu.br.

1. Introdução

Os efeitos do crescimento econômico sobre o meio ambiente é tema de grande relevância na agenda internacional. Entre as questões mais debatidas, estão as emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE), as mudanças do clima decorrentes de processos antrópicos e suas implicações nas mais variadas localidades e atividades produtivas (IPCC, 2014).

No intuito de investigar a relação entre desenvolvimento econômico e degradação ambiental, diversas pesquisas surgiram ao longo das últimas décadas. Entre as linhas de estudo de maior importância na literatura econômica, destaca-se a temática sobre a “Curva Ambiental de Kuznets (CAK)” (GROSSMAN e KRUEGER, 1991 SHAFIK e BANDYOPADHYAY, 1992 PANAYOTOU, 1993 SELDEN e SONG, 1994).

A CAK preconiza que as emissões crescem quando as economias migram de modelos produtivos menos intensivos (agrícolas) para padrões mais intensivos em emissões (industriais). No estágio pós-industrial, a renda torna-se mais elevada e as sociedades aumentam a demanda pela conservação ambiental. Com efeito, a degradação do meio ambiente declina.

O objetivo deste estudo foi testar e analisar a validade da CAK para uma amostra ampla de países¹, entre 1990 e 2012. Grossman e Krueger (1991) foram os primeiros a avaliar a hipótese da CAK. Além destes, destacam-se também as pesquisas pioneiras de Shafik e Bandyopadhyay (1992), Panayotou (1993), Selden e Song (1994), as quais confirmaram a relação de *U*-invertido das emissões em diferentes contextos.

É importante ressaltar que os trabalhos anteriores assumem implicitamente a existência de uma única fronteira tecnológica pela qual países desenvolvidos e em desenvolvimento teriam acesso. Em outras palavras, aceita-se que todos os países irão desenvolver modelos produtivos e tecnológicos semelhantes ao longo do tempo.

Não obstante, essa hipótese pode não ser realista. Primeiro, os países possuem diferentes capacidades de absorção de novas tecnologias e tendem a se especializar na produção de bens que apresentam vantagens comparativas (GROSSMAN e HELPMAN, 1990). Além disso, questões culturais, políticas e as limitações energéticas podem determinar a trajetória de crescimento que os países irão percorrer (GOLDEMBERG e LUCON, 2007). Desse modo, é possível que existam diferentes relações entre degradação ambiental e desenvolvimento econômico, culminando em diversas curvas CAK mundialmente.

Este trabalho busca avançar especificamente neste ponto. Por meio de um método estatístico que permite estimar curvas CAK em diferentes quantis de emissões, busca-se analisar a relação entre emissões de GEE e renda *per capita* em uma amostra variada de países.

Esse trabalho subdivide-se em outras cinco seções, além desta introdução. Na segunda seção, descreve-se o modelo teórico que embasa a existência da CAK. Na Seção 3 reportam-se pesquisas empíricas sobre a CAK. A quarta seção apresenta o modelo empírico e a base de dados. Os resultados e discussão são reproduzidos na quinta seção. Na sexta, e última seção, são tecidas as considerações finais.

2. Modelo teórico

A CAK postula que a relação entre crescimento econômico e degradação ambiental é crescente até determinado nível de renda *per capita*. Isto se dá porque economias no estágio de transição entre os setores agrícola e industrial adotam quantidades progressivas de recursos intensivos em poluentes, a exemplo dos combustíveis fósseis. Com a expansão da renda *per capita*, as sociedades se conscientizam sobre a importância da conservação ambiental e passam a buscar formas mais limpas de produção. Com isso, a relação entre degradação ambiental e renda torna-se decrescente (SHAFIK e BANDYOPADHYAY, 1992).

¹ Os países analisados estão elencados nos quadros A1 e A2 do Apêndice.

Em cada estágio produtivo, as sociedades determinam o nível de conservação ambiental por meio de uma análise dos benefícios e custos da preservação do meio ambiente (benefício líquido). Para Munasinghe (1999), essas funções dependem da renda e do estado de depreciação do meio ambiente. Formalmente:

$$BL = B(E, Y) - C(E, Y) \quad (01)$$

em que o benefício líquido é representado por BL , B são os benefícios e C , os custos, os quais estão em função do PIB *per capita* (Y) e da degradação ambiental (E). Supõe-se que as funções de benefício e custo marginais variem conforme mudanças na renda e na depreciação ambiental:

$$(BM_Y - CM_Y)dY + (BM_E - CM_E)dE = 0 \quad (02)$$

$$dE = (\alpha)dY$$

sendo $\alpha = \frac{(BM_Y - CM_Y)}{(CM_E - BM_E)}$. O parâmetro α indica a relação entre o crescimento econômico e os problemas ambientais postuladas na CAK.

O sinal do coeficiente α é definido pelas funções de benefícios e custos marginais. Quando $\alpha > 0$, a degradação ambiental se eleva com o crescimento econômico. Já quando $\alpha < 0$, o meio ambiente passa a se beneficiar do desenvolvimento. O entendimento da CAK passa, portanto, pela análise das referidas funções.

Inicialmente, denominam-se BM e CM a disposição social a pagar pela conservação ambiental e o custo marginal de abatimento, respectivamente. Considera-se também que essas funções tenham relação estreita com as condições ambientais e a renda *per capita*.

Supõe-se agora que a sociedade estará mais disposta a arcar com a conservação ambiental na medida em que o processo de degradação se intensifica, isto é, $BM_E > 0$, visto que a utilidade dos serviços ambientais crescerá com sua escassez. Por outro lado, assume-se que o custo marginal de reversão (abatimento) é uma função decrescente ($CM_E < 0$). Este raciocínio vem do entendimento de que, para localidades que adotam o mesmo modelo produtivo, seria menos oneroso recuperar marginalmente o meio ambiente onde os níveis de degradação são mais elevados (MUNASINGHE, 1999). Com isso, chega-se à conclusão de que o denominador ($CM_E - BM_E$) será negativo e que o sinal de α estará sujeito aos termos BM_Y e CM_Y .

Conforme Arrow et al. (1995), o crescimento da renda influencia de forma positiva e direta na preferência pela conservação do meio ambiente, ou seja, a sociedade estará cada vez mais disposta a arcar com os custos monetários e de oportunidade ao adotar medidas de proteção ambiental com o aumento da renda. Sendo assim, BM_Y tende a ser crescente com a renda. Por outro lado, os custos de abatimento são proporcionalmente maiores em estágios mais avançados de desenvolvimento, como o industrial. Por essa razão, CM_Y é pequeno no início do desenvolvimento, mas cresce com a renda ($CM_Y > 0$).

De modo geral, no início do desenvolvimento $CM_Y > BM_Y$, então α será positivo e a degradação aumentará com a renda. Ao longo do processo, o benefício marginal da conservação ambiental se torna maior que o custo marginal de abatimento, de modo que $BM_Y > CM_Y$ assim, as emissões declinam. O aumento da demanda pela preservação ambiental e a conscientização são fatores que explicam a reversão do processo. A relação entre os custos e benefícios marginais, conforme o argumento exposto, pode ser verificada na Figura 1.

A Figura 1 mostra como se comportam as curvas de CM e BM . Em cada fase, o nível de degradação ambiental é escolhido no ponto em que as curvas de custos e benefícios marginais se interceptam. Os níveis mais elevados de deterioração caracterizam o estágio industrial, enquanto os mais baixos indicam a fase agrícola. Na etapa industrial, os deslocamentos das curvas de custo marginal são maiores, pois nessa fase os custos para reverter a degradação ambiental são progressivamente elevados. Já as curvas de benefício marginal se deslocam mais rapidamente a cada nível da renda, indicando que a sociedade estará cada vez mais disposta a preservar o meio ambiente quando a renda se eleva.

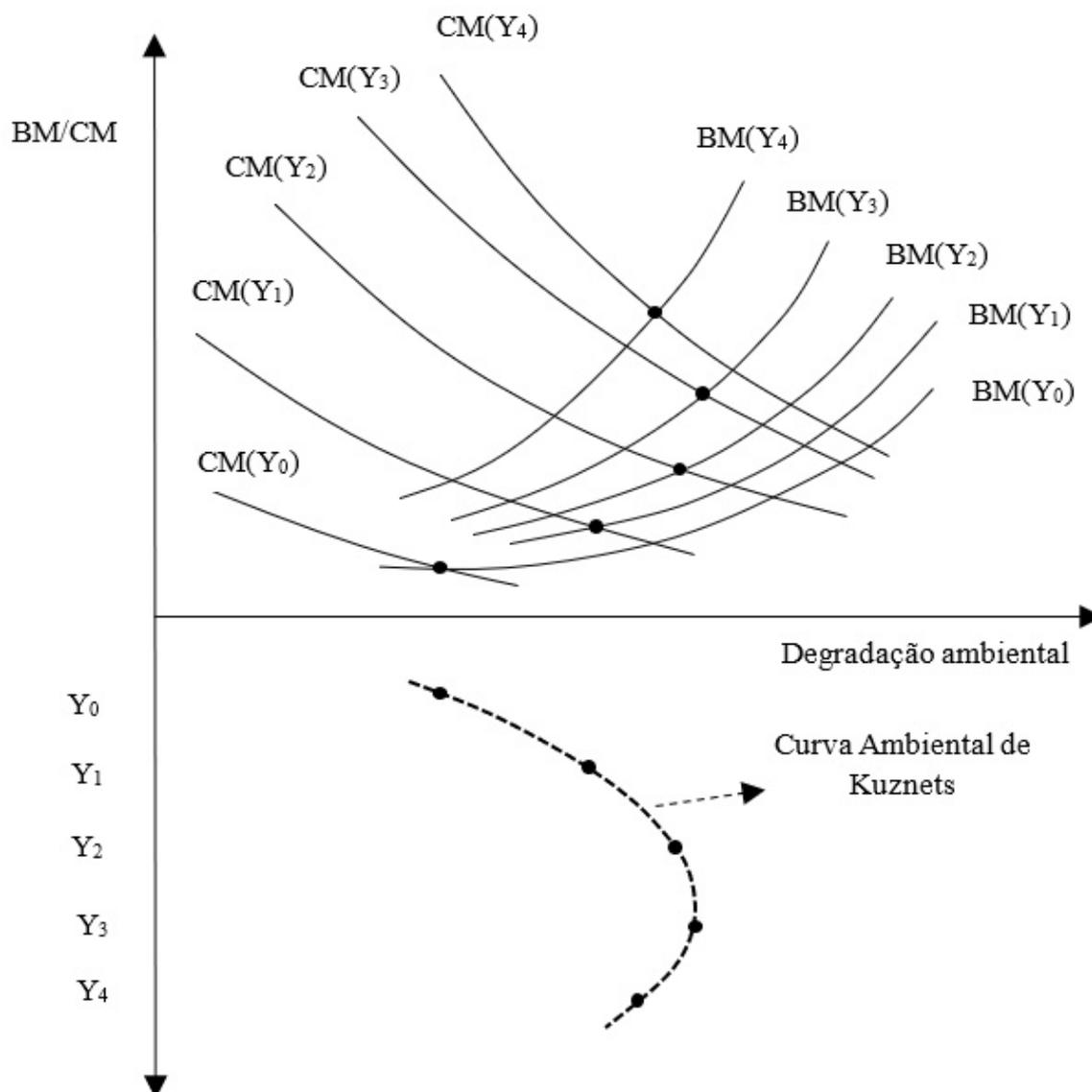


Figura 1: Deslocamento das funções de benefícios e custos marginais e a CAK
 Fonte: Adaptado de Munasinghe (1999).

A forma funcional da CAK descrita na Figura 1 para emissões de GEE é dada por:

$$geepc_{i,t} = \alpha_{0[+]} + \beta_{1[+]}pibpc_{i,t} + \beta_{2[-]}pibpc_{i,t}^2 + u_{i,t} \quad (03)$$

em que *geepc* são as emissões de GEE *per capita*, α é a constante do modelo, *pibpc* representa o Produto Interno Bruto *per capita*. Já β_1 é o coeficiente a ser estimado para a variável independente *pibpc* e β_2 é o parâmetro estimado do *pibpc* ao quadrado. Os sinais esperados dos coeficientes que reproduzem a CAK estão nos colchetes que acompanham os parâmetros.

Portanto, o comportamento esperado da CAK é de que nos estágios iniciais de desenvolvimento se apresente uma curva com comportamento crescente, em virtude de os custos da conservação ambiental serem maiores que os benefícios, tornando-se decrescente a partir do ponto em que os benefícios da conservação ambiental se tornam maiores que os custos, apresentando assim o formato de *U*-invertido.

3. Revisão da literatura empírica

As primeiras evidências da CAK foram encontradas por Grossman e Kruger (1991). Os autores compararam os níveis de emissões de três poluentes atmosféricos à renda de cidades representativas de 42 países, entre os anos de 1977 e 1988, e verificaram a existência de relacionamento quadrático com ponto de inflexão em US\$ 10.800. Esses resultados deram surgimento à hipótese da CAK.

Com o intuito de testar essas relações, Shafik e Bandyopadhyay (1992) buscaram relacionar os níveis de qualidade ambiental e a renda dos países. Para tanto, foram utilizados dados de 149 países entre os anos de 1960 e 1990 (o PIB correspondeu ao nível de preços do ano de 1987). Como medida de degradação ambiental, foram utilizados diversos poluentes, sendo o mais relevante as emissões de dióxido de carbono (CO₂), que mostraram que o ponto de inflexão pode ser alcançado a partir de US\$ 8.600 *per capita*.

Para testar a referida relação, Panayotou (1993) utilizou dados de 41 países desenvolvidos e em desenvolvimento, selecionando como indicadores de degradação ambiental o desmatamento e as emissões de dióxido de enxofre (SO₂) e óxido de azoto (NO_x). O autor obteve pontos de inflexão de US\$ 2.600 *per capita* para desmatamento e US\$ 6.500 e US\$ 11.900 para o SO₂ e o NO_x, respectivamente. Os resultados confirmaram o formato de *U*-invertido das variáveis ambientais em relação à renda, porém, para o autor, os países poderiam apresentar curvas distintas e condicionadas à demanda individual pela qualidade ambiental.

Selden e Song (1994) fizeram projeções simulando as emissões globais sob diversos cenários para a renda e a população. Para tanto, foram utilizados dados de SO₂, NO_x, CO₂ e as médias dos anos de 1973-1975, 1979-1981 e 1982-1984. Os autores encontraram um ponto de inflexão próximo a US\$ 13.400 *per capita*. Além disso, viu-se que as emissões de CO₂ e SO₂ mundiais crescerão até 2025 e, para NO_x, até 2050.

Grossman e Krueger (1995) revisitaram a análise desta problemática utilizando dados em painel para 42 países nos anos 1977, 1982 e 1988. Nesse estudo, foi encontrado um ponto de inflexão de US\$ 16.000 *per capita*. Os resultados para a qualidade da água mostraram que esse indicador melhoraria a partir de US\$ 7.500 *per capita*. Os autores destacaram que o crescimento da demanda pela proteção ambiental, o surgimento de políticas ambientais mais rígidas e de tecnologias são os principais fatores que fazem as emissões declinarem.

Ao comparar os resultados desses estudos, percebe-se que os pontos de inflexão podem variar com os dados utilizados. Stern, Common e Barbier (1996) argumentaram que a CAK é sensível às variáveis e aos métodos escolhidos. Os autores ressaltaram que os modelos da CAK empregados na década de 1990 desconsideraram variáveis e problemas econométricos relevantes. Por exemplo, a não inclusão na modelagem das variáveis que representam o comércio internacional e o consumo de energia poderia causar viés e inconsistência nas estimativas.

Poudel, Paudel e Bhattarai (2009) relacionaram renda *per capita*, dados florestais, analfabetismo e emissões de CO₂ para 15 países da América Latina nos anos de 1980 e 2000. Nesse estudo foi encontrada uma curva no formato de *N*, em que a degradação ambiental começa a cair a partir de uma renda de US\$ 3.500, voltando a aumentar a partir de US\$ 4.500.

Em uma pesquisa realizada por Iwata, Okada e Samreth (2010) foram relacionadas as variáveis consumo de energia nuclear e emissões de CO₂ na França entre os anos de 1960 a 2003. Para tal, foi aplicada a técnica de cointegração, com a abordagem *autoregressive distributed lag* (ARDL). Nesse estudo, foi identificada uma relação de causalidade unilateral da renda para as emissões de CO₂, o que mostra que o crescimento econômico impacta sobre as emissões de poluentes. Por outro lado, não foram encontradas evidências de que as emissões afetam a economia.

O estudo realizado por Carvalho e Almeida (2010) abordou a temática utilizando econometria espacial com dados de renda *per capita* e emissões de CO₂ para 187 países no ano de 2004, além de uma variável *dummy* para países participantes do Protocolo de Kyoto. Os autores identificaram que os países que assinaram o protocolo conseguiram reduzir 1,81 toneladas de carbono. Ademais, os autores encontraram evidências de uma curva em formato de *N* para países desenvolvidos.

Youssef, Hammoudeh e Omri (2016) utilizaram o *generalized method of moments* (GMM) com dados de 56 países entre 1990 e 2012. Os países foram divididos com base nas categorias de baixa, média e alta renda. Os autores verificaram que o consumo de energia afeta as emissões de poluentes. Os resultados econométricos mostraram que um aumento de 1% no consumo de energia expande as emissões de poluentes em cerca de 0,23%, 0,20%, 0,18% e 0,24% nos painéis de baixa, média, alta rendas e no global, respectivamente. Em outra perspectiva, os autores mostraram evidências de que a abertura comercial é prejudicial ao meio ambiente para países de baixa renda e benéfica para os de alta renda.

No entanto, na literatura consultada, não foram encontradas pesquisas que tenham se atentado ao fato de que somente uma CAK pode não representar adequadamente a realidade dos grupos de países. Diante disso, a contribuição do presente trabalho está em estimar e analisar a CAK considerando diferentes trajetórias por meio do método de regressão quantílica.

4. Metodologia

4.1 Estimativa da CAK pelo método quantílico

A CAK postula que os níveis de emissões de gases poluentes se intensificam com a elevação da produção, porém, declinam quando determinado nível de renda *per capita* é alcançado. Em razão das diferentes fronteiras de produção, argumenta-se que os pontos de inflexão das emissões podem não ser os mesmos para todas as nações. Em outras palavras, é provável que o crescimento econômico tenha impactos diferentes sobre a degradação ambiental em diferentes países, visto que as estruturas produtivas são diferentes.

Diante do exposto, regressões de MQO (Mínimos Quadrados Ordinários) podem não ser adequadas, pois os diferentes coeficientes entre degradação e renda não são considerados. Alternativamente, adota-se nesta pesquisa a regressão quantílica (RQ) para dados em painel.

O método de RQ permite a obtenção de resultados comparáveis para o impacto da renda em cada quantil das emissões, pois há a possibilidade de identificar toda a distribuição condicional de uma variável dependente a partir das variáveis explicativas. Além disso, o método de RQ é mais robusto a observações discrepantes (*outliers*), visto que permite analisar as relações na mediana e em cada quantil separadamente, além de reproduzir parâmetros mais eficientes ao não considerar os erros como distribuídos normalmente.

Esse método, introduzido por Koenker e Basset (1978), permite que os coeficientes das variáveis regressoras variem em cada quantil (MARIONI et al., 2016). Os efeitos das características específicas dos países, constantes no tempo, são capturados por meio de *dummies* de efeito fixo. Formalmente, na RQ os efeitos das covariáveis econômicas sobre os quantis das emissões podem ser representados da seguinte forma:

$$Q_{\tau}(Y) = f[Y|F_Y(Y) \leq \tau] \quad (04)$$

em que $F_Y(Y)$ é a distribuição total de *geepc*, τ representa o i -ésimo quantil das emissões, e o valor limite é representado por $Q_{\tau}(Y)$. A equação empírica é dada por:

$$geepc_{i,t} = \alpha_{0[+]} + \beta_{1[+]}pibpc_{i,t} + \beta_{2[-]}pibpc_{i,t}^2 + \beta_{3[+]}energiapc_{i,t} + \beta_{4[+]}aber_{i,t} + u_{i,t} \quad (05)$$

em que *pibpc* e *pibpc*² representam a renda *per capita*, *energiapc* denota o consumo de energia em kWh (quilowatt-hora) *per capita* e *aber* representa o grau de abertura comercial, em percentual. A estimativa foi realizada nos quantis 25, 50, 75 e 90. O quantil 25 corresponde a amostra de países que emitem até 25% do máximo verificado na variável GEE *per capita* o quantil 50 representa a mediana da amostra e assim sucessivamente.

4.2 Descrição dos dados

Nesse estudo foram utilizados dados em painel para os anos de 1990 a 2012, escolhidos conforme a disponibilidade de dados das séries históricas de 113 países. Como medida de degradação ao meio ambiente, foram utilizadas as emissões de GEE (em toneladas de CO₂ equivalente). Essa variável é composta pelo total emitido de GEE, excluindo a queima de biomassa de ciclo curto (como queima de resíduos agrícolas e savanas), mas incluindo outras queimadas, como incêndios florestais, deterioração pós-queimada e decaimento de turfeiras drenadas. Os dados foram retirados da plataforma de dados do Banco Mundial (2018).

Para tal estudo também foram utilizados o consumo de energia *per capita* em kWh como indicador da demanda por energias fósseis. Para representar a renda, foram empregados dados do PIB *per capita*, em dólares americanos, nivelados aos preços de 2011. E, como indicador de comércio internacional, foi utilizado o grau de abertura comercial, obtido através da soma das exportações e importações em dólares americanos, dividido pelo PIB deflacionado ao nível de preços de 2011. Os dados utilizados para a construção do indicador, assim como os dados relacionados ao consumo de energia, foram obtidos no banco de dados Banco Mundial (2018).

5. Resultados e discussão

Inicialmente, verificou-se a hipótese nula de efeitos aleatórios contra a hipótese alternativa de efeitos fixos pelo teste de Hausman na média condicional. Os resultados do teste indicaram a rejeição do modelo de efeitos aleatórios a 1% de significância. Esse teste é importante para apontar a estrutura do modelo RQ para painel.

Em seguida, foram realizadas estimações pelo método RQ com *dummies* de efeitos fixos que, ao considerar as particularidades de cada quantil, produzem resultados mais robustos que os de MQO. Todas as regressões foram realizadas utilizando como variável dependente o logaritmo das emissões de GEE, contra as seguintes variáveis explanatórias, em logaritmo: consumo de energia *per capita*, PIB *per capita*, PIB *per capita* ao quadrado e grau de abertura comercial, para os anos de 1990 a 2012. A Tabela 1 reporta os resultados das estimações.

Tabela 1: Estimações da CAK em diferentes quantis

Variável	Q25 (%)	Q50 (%)	Q75 (%)	Q90 (%)
Consumo energia <i>per capita</i>	0,6130*** (0,0397)	0,6354*** (0,0336)	0,7185*** (0,0283)	0,7167*** (0,0344)
PIB <i>per capita</i>	0,8999*** (0,1646)	0,9426*** (0,1141)	0,9929*** (0,1241)	1,1151*** (0,1483)
(PIB <i>per capita</i>) ²	-0,0513*** (0,0095)	-0,0559*** (0,0068)	-0,0604*** (0,0075)	0,0669*** (0,0087)
Abertura comercial	-0,0029 ^{NS} (0,0094)	-0,0013 ^{NS} (0,0300)	-0,0111 ^{NS} (0,0314)	0,0156 ^{NS} (0,0175)
Constante	-9,2554*** (0,6045)	-9,4079*** (0,4600)	-9,9235*** (0,5523)	10,435*** (0,6687)
Pontos de Inflexão	6.478,85	4.583,64	3.716,55	4.158,76
Teste de Hausman = 37,774***				

Nota: *** significância a 1% NS = Não significativo

Fonte: Elaboração própria.

É possível verificar que a maioria das variáveis foi significativa e apresentou sinais esperados. Especificamente, o consumo de energia *per capita* e o crescimento do PIB *per capita* afetam positivamente as emissões o sinal do PIB *per capita* ao quadrado revelou-se negativo e significativo,

o que atesta para a existência da CAK. Por seu turno, abertura comercial apresentou relação inversa com as emissões, porém não significativa.

Os resultados das estimações indicam que a elasticidade das emissões de GEE em relação ao consumo energético aumenta ao longo dos quantis. Pode-se verificar pela Tabela 1 que uma variação positiva de 1% no consumo de energia expande as emissões em 0,61% e 0,72% nos quantis 25 e 90, respectivamente. Em outras palavras, as emissões são mais sensíveis ao consumo energético nas faixas mais elevadas da poluição. Vale ressaltar que o quantil 90 é composto, em sua maioria, por países desenvolvidos, como Estados Unidos, Canadá e Luxemburgo, os quais são intensivos em energias fósseis (BANCO MUNDIAL, 2018).

Em relação à renda, observou-se que os pontos de inflexão das emissões foram distintos nos quantis. No primeiro quantil (25), a inflexão se deu no nível de renda de US\$ 6.478,85. Em geral, fazem parte desse quantil economias com estrutura econômica primária e intensiva em mão de obra agrícola, como Nepal e Indonésia. Além disso, são países com alto índice de desigualdade, o que pode afetar a demanda por proteção ambiental (MAGNANI, 2000).

No quantil 50, o ponto de inflexão foi estimado em US\$ 4.583,64. Nesse quantil, encontram-se países em estágio inicial de desenvolvimento, como Jamaica. Mesmo com poucas indústrias, possuem uma base energética pautada no consumo de combustíveis fósseis (BANCO MUNDIAL, 2018). No quantil posterior (Q75) se encontra o menor ponto de inflexão, US\$ 3.716,54. Esse grupo é composto por países de diversas características, dentre eles o Brasil e a China, economias emergentes e com dimensões territoriais consideráveis, o que favorece a produção de energia renovável. Também se encontram nesse quantil países desenvolvidos como França, Alemanha e Reino Unido.

No quantil mais elevado de emissões (Q90) estão países desenvolvidos, como EUA e Canadá. Apesar de serem países que emitem proporcionalmente mais poluentes, observou-se que o ponto de inflexão das emissões foi de aproximadamente US\$ 4.158,76, isto é, inferior aos primeiros dois quantis.

Os resultados obtidos se justificam através das diferentes estruturas produtivas de cada país. Economias especializadas em manufaturas tendem poluir relativamente mais do que aquelas economias com vantagens no segmento agropecuário. Por outro lado, é importante ressaltar que países com base produtiva baseada em produtos manufaturados têm maior capacidade de absorção de novas tecnologias, o que poderia explicar os pontos de inflexão mais baixos.

Por sua vez, economias com atividades primárias possuem práticas que podem aumentar o uso da terra e o desmatamento, o que impactaria nas emissões de GEE. Além disso, tendem a possuir menor capacidade de absorção de tecnologias. Esses fatores podem determinar trajetórias diferentes da CAK em relação aos países mais desenvolvidos. Diante disso, não é plausível supor que economias desenvolvidas e em desenvolvimento percorrem o mesmo caminho proposto pela CAK.

Para melhor compreensão dos resultados, na Figura 2 ilustram-se os coeficientes obtidos através do método de RQ.

Os painéis apresentados na Figura 2 mostram os parâmetros obtidos para cada variável explicativa nos quantis. O eixo horizontal representa os quantis e o eixo vertical denota o valor estimado dos parâmetros para cada variável. A linha contínua ilustra os parâmetros da regressão quantílica e as linhas tracejadas, os intervalos de confiança dos parâmetros.

Ao observar os gráficos, pode-se verificar que a variável PIB *per capita* possui trajetória ascendente, ao passo que sua componente ao quadrado mostrou trajetória declinante. O comportamento dessas variáveis reforça a hipótese da CAK encontrada inicialmente nos estudos de Grossman e Kruger (1991) e confirmada nesta pesquisa.

O parâmetro consumo de energia *per capita* apresenta uma leve trajetória descendente entre os quantis 25 e 50. Na sequência, observou-se que a magnitude do parâmetro se eleva. Esse comportamento é esperado, pois economias em fase inicial de desenvolvimento são geralmente primárias e demandam menos energia. Nas fases mais avançadas de desenvolvimento, os países passam a demandar mais energia para a atividade produtiva, explicando a elevação do parâmetro no quantil mais alto das emissões. Por seu turno, o comportamento da curva dos parâmetros da variável “abertura comercial” oscilou próximo a zero, não sendo significativo.

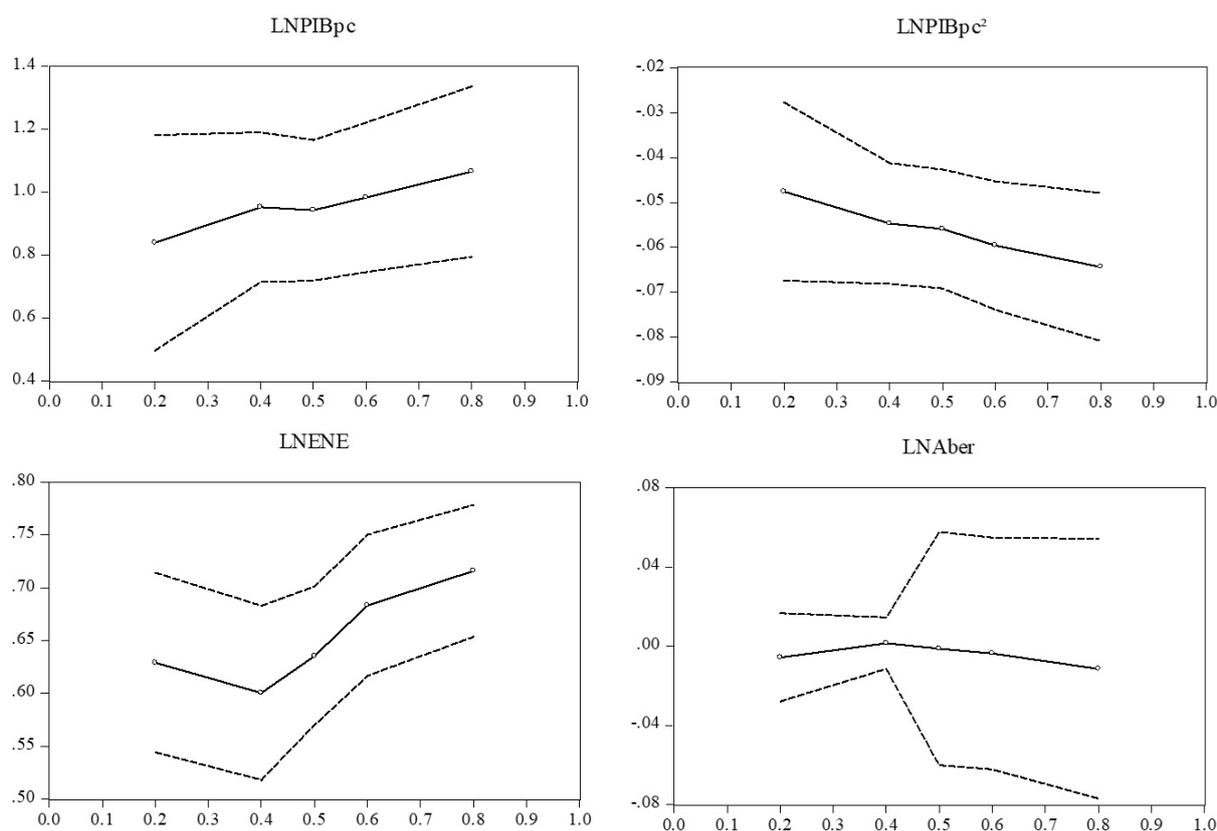


Figura 2: Coeficientes estimados dentro dos quantis

Fonte: Elaboração própria.

6. Considerações finais

Adentrando na temática que discute a CAK, esse estudo teve como objetivo principal estimar e analisar as relações existentes entre emissões de GEE contra a renda, o consumo de energias fósseis e o grau de abertura comercial. Para tanto, adotaram-se dados de países desenvolvidos e em desenvolvimento, entre 1990 e 2012, e métodos que flexibilizam os percursos da CAK para diferentes grupos de países.

Os resultados encontrados corroboram com a hipótese da CAK, porém, foi possível verificar que podem existir diferentes trajetórias da função para um conjunto diverso de países. Em todos os quantis analisados, foram encontrados diferentes pontos de inflexão da CAK. Argumentou-se que as estruturas produtivas e tecnológicas impõem restrições para que os países percorram o mesmo caminho projetado pela CAK. Nesse sentido, este trabalho traz uma importante contribuição ao adotar uma forma metodológica que permite considerar essas questões explicitamente.

Além disso, pode-se concluir que o consumo de energias primárias tem relação direta com o nível de poluição e tende a se intensificar nas economias que emitem mais poluentes, como é o caso dos países mais desenvolvidos. Por outro lado, não foram encontradas evidências sólidas que permitam atestar para algum efeito do grau de abertura comercial nas emissões.

Em resumo, o aumento da renda pode influenciar positivamente as emissões no longo prazo, visto que as sociedades estariam mais conscientizadas e dispostas a conservar o meio ambiente. Não obstante, são necessárias políticas públicas que acelerem o processo de conscientização e incentivem a adoção de fontes de energia mais limpas, assim como o acesso a novas tecnologias. Essas ações poderiam diminuir a pressão que as atividades econômicas exercem sobre o meio ambiente ao longo das trajetórias da CAK.

Referências

- ARROW, K. BOLIN, B. COSTANZA, R. DASGUPTA, P. FLOKE, C. HOLLING, C. S. JANSSON, B. O. LEVIN, S. MALER, K. G. PERRINGS, C. PIMENTEL, D. Economic growth, carrying capacity, and the environment. **Ecological Economics**, v. 15, n. 2, p. 91-95, 1995.
- BANCO MUNDIAL. **World Bank Open Data**. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicador>>. Acesso em: 01 dez. 2018.
- 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.
- GOLDEMBERG, J. LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.
- GROSSMAN, G. M. HELPMAN, E. Trade, innovation, and growth. **The American Economic Review**, v. 80, n. 2, p. 86-91, 1990.
- GROSSMAN, G. M. KRUEGER, A. B. Environmental impacts of a North American free trade agreement. **NBER Working Paper**, n. 3914. National Bureau of Economic Research. Cambridge: MIT Press, 1991.
- GROSSMAN, G. M. KRUEGER, A. B. Economic growth and the environment. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1995.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2013: the physical science basis**. Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge/New York: Cambridge University Press, 2014.
- IWATA, H. OKADA, K. SAMRETH, S. Empirical study on the environmental Kuznets curve for CO₂ in France: the role of nuclear energy. **Energy Policy**, v. 38, n. 8, p. 4057-4063, 2010.
- KOENKER, R. BASSET, G. Regression quantiles. **Econometrica**, v. 46, n. 1, p. 33-50, 1978.
- KUZNETS, S. Economic growth and income inequality. **The American Economic Review**, v. 45, n. 1, p. 1-28, 1955.
- MAGNANI, E. The Environmental Kuznets Curve, environmental protection policy and income distribution. **Ecological Economics**, v. 32, n. 3, p. 431-443, 2000.
- MARIONI, L. S. VALE, V. A. PEROBELLI, F. S. FREGUGLIA, R. S. Uma aplicação de regressão quantílica para dados em painel do PIB e do Pronaf. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 2, p. 221-242, 2016.
- MUNASINGHE, M. Is environmental degradation an inevitable consequence of economic growth: tunneling through the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 29, n. 1, p. 89-109, 1999.
- PANAYOTOU, T. Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. **ILO Working Papers**. International Labour Organization. Geneva: ILO, 1993.
- POUDEL, B. N. PAUDEL, K. P. BHATTARAI, K. Searching for an environmental Kuznets curve in carbon dioxide pollutant in Latin American countries. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 41, n. 1, p. 13-27, 2009.
- 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. BANDYOPADHYAY, S. Economic growth and environmental quality: time-series and cross-country evidence. **World Development Report**, WPS904. World Bank Publications. Washington: World Bank, 1992.
- STERN, D. I. COMMON, M. S. BARBIER, E. B. Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development. **World Development**, v. 24, n. 7, p. 1151-1160, 1996.
- YOUSSEF, A. B. HAMMOUDEH, S. OMRI, A. Simultaneity modeling analysis of the environmental Kuznets curve hypothesis. **Energy Economics**, v. 60, p. 266-274, 2016.

Apêndice

Quadro A1: Países desenvolvidos

País	País
Alemanha	Irlanda
Austrália	Islândia
Áustria	Israel
Bélgica	Itália
Canadá	Japão
Coreia do Sul	Letônia
Dinamarca	Lituânia
Eslováquia	Luxemburgo
Eslovênia	Nova Zelândia
Espanha	Noruega
Estônia	Países Baixos
Estados Unidos	Portugal
Finlândia	Reino Unido
França	República Tcheca
Grécia	Suécia
Hong Kong	Suíça

Quadro A2: Países em desenvolvimento

País	País	País	País
Albânia	Costa Rica	Jordânia	Rep. Dominicana
Angola	Croácia	Líbia	Romênia
Argélia	Cuba	Malásia	Rússia
Argentina	Egito	Marrocos	Senegal
Armênia	El Salvador	México	Sri Lanka
Bangladesh	Emirados A. Unidos	Moçambique	Sudão
Belarus	Equador	Moldávia	Tailândia
Benin	Filipinas	Myanmar	Tajiquistão
Bolívia	Gabão	Nepal	Tanzânia
Bósnia	Gana	Nicarágua	Togo
Botsuana	Geórgia	Nigéria	Tunísia
Brasil	Guatemala	Omã	Turcomenistão
Brunei	Haiti	Panamá	Turquia
Bulgária	Honduras	Paquistão	Ucrânia
Camarões	Hungria	Paraguai	Uruguai
Cazaquistão	Iêmen	Peru	Uzbequistão
Chile	Índia	Polônia	Venezuela
China	Indonésia	Quênia	Vietnã
Colômbia	Iraque	Rep. do Congo	Zâmbia
Costa do Marfim	Jamaica	Quirguistão	Zimbábue