



Crescimento econômico e degradação ambiental: uma análise empírica com dados em painel a partir da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets

Economic growth and environmental degradation: An empirical analysis with panel data from the Environmental Kuznets Curve

Wallace da Silva de ALMEIDA [1](#); Janaína Cabral da SILVA [2](#); Ednando Batista VIEIRA [3](#); Carlos César Santejo SAIANI [4](#)

Recibido: 26/03/2017 • Aprobado: 16/04/2017

Conteúdo

- [1. Introdução](#)
 - [2. Revisão de literatura](#)
 - [3. Procedimentos metodológicos](#)
 - [4. Descrição e análise dos resultados](#)
 - [5. Considerações finais](#)
- [Referências](#)

RESUMO:

Este artigo tem como objetivo analisar a relação entre crescimento econômico e degradação ambiental, expressa na hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (CAK), a partir dos déficits de acesso à serviços de saúde e saneamento ambientais nos Estados brasileiros. A fim de atender o objetivo proposto, utiliza-se um painel de dados, para o período de 2000 a 2014. Os resultados obtidos fornecem evidências de que a CAK não exibe o formato de U-invertido, mas sim de um "N-invertido".

Palavras-chave: Crescimento econômico; Degradação ambiental; Curva ambiental de Kuznets.

ABSTRACT:

This article aims to analyze the relationship between economic growth and environmental degradation, expressed in the hypothesis of the Kuznets Environmental Curve (CAK), based on deficits in access to environmental health and sanitation services in the Brazilian states. In order to meet the proposed objective, a data panel is used for the period from 2000 to 2014. The results obtained provide evidence that CAK does not display the inverted U-shape, but rather an "N-inverted".

Keywords: Economic Growth; Ambiental Degradation; Environmental Kuznets Curve.

1. Introdução

A conexão entre a degradação do meio ambiente e o desenvolvimento econômico tem instigado

um amplo debate na literatura acadêmica, principalmente, após a publicação do relatório *The limits to growth* (MEADOWS et al., 1972), no qual destaca-se o fato de que a expansão contínua das economias capitalistas é, por hipótese, inconciliável com a sustentabilidade ambiental (GEORGESCU-ROEGEN, 1971). Contudo, parte dos economistas defendem que não há uma associação imediata entre desenvolvimento econômico e degradação ambiental (PANAYOTOU, 1993; COLE, 2004).

A partir da década de 1990, uma hipótese referente à relação supracitada foi lançada nos trabalhos seminiais elaborados por Grossman e Krueger (1991), Shafik e Bandyopadhyay (1992) e Panayotou (1993). A hipótese sustentada por esses autores estabelece que nos estágios inaugurais de desenvolvimento econômico, uma ampliação do nível médio de renda *per capita* tende a degradar o meio ambiente, via deterioração da qualidade do ar, habitualmente medida pelo nível de emissões ou concentração de poluentes.

A deterioração ambiental ocorre até que o nível de renda alcance um patamar no qual o processo se inverte, apresentando, portanto, uma relação com o formato de U-invertido, denominada na literatura de Curva Ambiental de Kuznets, CAK (*Environmental Kuznets Curves* – EKC).

As implicações acerca da validade ou não da CAK, tornam-se relevantes, justificando a realização de pesquisas sobre o tema, na medida em que instaura uma cisão entre, por um lado, teóricos defensores da tese de que não há necessidade de promover a contração do crescimento econômico em virtude de preocupações ambientais (GROSSMAN; KRUEGER, 1991; BO, 2011), e, de outro, acadêmicos críticos dessa concepção teórica, pois partem do pressuposto de que o contínuo processo de expansão do capitalismo (via crescimento dos níveis de produção e consumo) se coloca, em última instância, como causador da ampliação da degradação do meio ambiente (GEORGESCU-ROEGEN, 1971, 1993; FUKS, 2012).

A luz do exposto o seguinte questionamento emerge: o crescimento econômico gera, por si só, uma degradação automática ao meio ambiente, vis à vis ao desenvolvimento sustentável? A fim de responder a esta indagação e contribuir com a discussão sobre a temática, este documento objetiva analisar a relação entre crescimento/desenvolvimento econômico e degradação ambiental expressa na hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (CAK) para os Estados brasileiros, por meio de um painel de dados para o período 2000-2014.

Embora o presente estudo aborde um tema amplamente discutido, diferentemente das outras investigações sobre a relação entre crescimento e meio ambiente, opta-se aqui por testar a validade da hipótese da CAK não apenas para os indicadores de degradação tradicionais, como acesso (ou *déficit*) a serviços de saneamento e água, mas também para indicadores de saúde (morbidade e mortalidade por falta de saneamento), sendo esta a principal contribuição e o mais relevante avanço do trabalho.

Ademais, outra relevante contribuição desta pesquisa, de cunho metodológico, refere-se à utilização de um painel dinâmico de dados com o acréscimo do termo de efeito fixo, possibilitando o controle sobre a influência do viés de endogeneidade possivelmente existente nos dados nos modelos estimados. Logo, a intenção é verificar diferentes dimensões ambientais e a forma como se relacionam com o crescimento econômico, por meio da heterogeneidade dos Estados brasileiros observados (espaço de análise) e, simultaneamente, testar a validade da hipótese fundamental da Curva Ambiental de Kuznets.

O estudo segue dividido em quatro seções, além desta introdução. A segunda seção realiza a revisão teórica que permeia a análise empírica acerca da CAK. Na terceira seção, efetua-se a apresentação da base de dados que será utilizada, a especificação do modelo empírico a ser estimado e a descrição das variáveis utilizadas na análise. Em seguida, na quarta seção, expõem-se e discute-se os resultados obtidos a partir da estimação dos modelos empíricos de análise em conformidade com o objetivo proposto. Por fim, a última seção relata as conclusões e contribuições derivadas do estudo.

2. Revisão de literatura

Kuznets (1955) buscou analisar como a desigualdade na distribuição de renda era afetada durante o período de crescimento econômico e encontrou uma alteração da relação entre o nível de renda e desigualdade. Os resultados do estudo apontam que a distribuição de rendimentos se torna mais dispare na fase inicial de crescimento econômico do país e, em seguida, o processo se reverte promovendo maior igualdade distributiva entre os indivíduos. Esta relação descrita por Kuznets (1955) pode ser representada por uma curva em forma de U-invertido.

Nos anos anteriores a 1970, existia uma crença generalizada de que o crescimento econômico de uma nação seria a fonte da maioria dos problemas ambientais. Assim, a relação entre crescimento econômico e degradação ambiental ocupou papel de destaque, tornando-se objeto de pesquisas em diversas áreas da ciência.

Durante a década de 1970, a disponibilidade de acesso a recursos naturais na terra passou a constituir preocupação da comunidade internacional (MEADOWS et al., 1972). O argumento sustentado no Clube de Roma referia-se à impossibilidade de manutenção do ritmo de crescimento/desenvolvimento econômico sem comprometer o estoque de recursos ambientais existentes e, por esta razão, defendia-se "crescimento zero" a fim de evitar repercussões perversas sobre a qualidade de vida das futuras gerações. Contudo, esse ponto de vista tem sido criticado em diversos estudos teóricos e empíricos (GROSSMAN; KRUEGER, 1991; PANAYOTOU, 1993; GROSSMAN, G.; KRUEGER, 1995).

O relatório Brundtland, publicado no ano de 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), considerou a possibilidade de alcance da sustentabilidade ambiental sem a necessidade de realização de modificações estruturais no sistema econômico mundial (CMMAD, 1991). Desde então, pesquisadores passaram a ver no desenvolvimento e crescimento econômico um caminho pelo qual problemas ambientais poderiam ser efetivamente resolvidos (SELDEN; SONG, 1994; COLE, 2004).

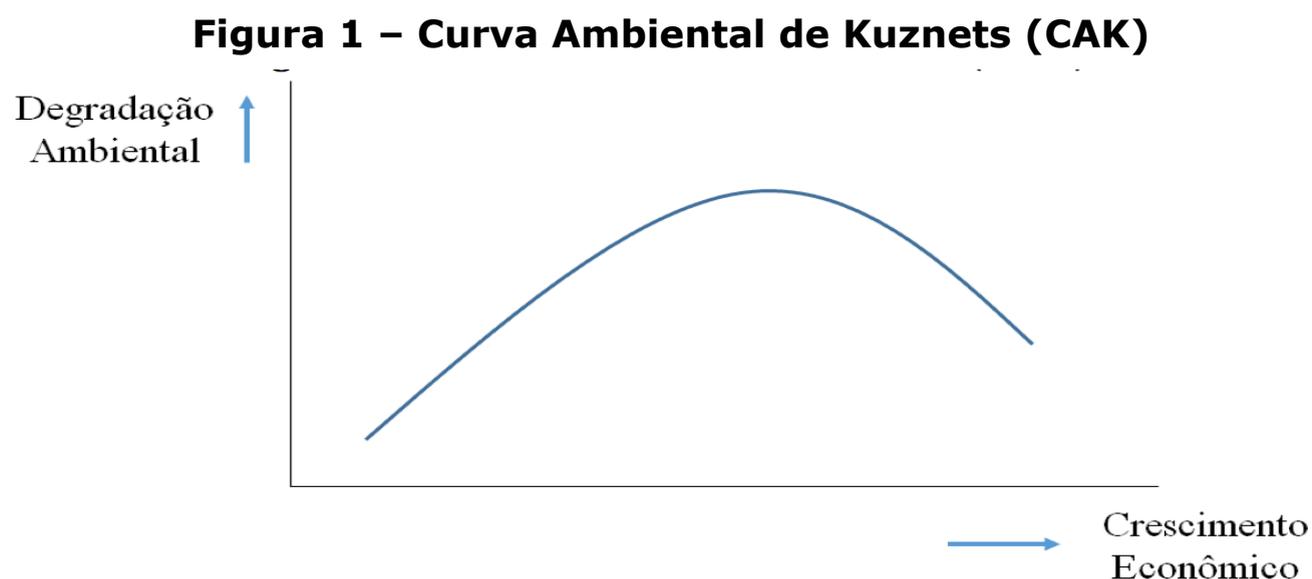
Logo, a visão pessimista sobre a relação entre crescimento econômico e meio ambiente foi relativizada, na medida em que desconsiderava-se a relevância do potencial de impactos promovidos por meio de alterações no âmbito educacional, tecnológico, econômico e político, que acompanham o desenvolvimento de uma nação e podem amenizar os problemas ambientais (GROSSMAN; KRUEGER, 1991). Desse modo, os estudos têm buscado investigar se, de fato, existe um *trade-off* entre crescimento e poluição ou se é possível almejar um amadurecimento das economias sem que o meio ambiente seja por isto degradado (FONSECA; RIBEIRO, 2005).

A partir da década de 1990, uma vasta quantidade de dados empíricos sobre poluentes foi disponibilizada por meio do Sistema de Monitoramento Ambiental (GEMS) da OCDE, possibilitando que diversos pesquisadores realizassem estudos cujo foco principal encontra-se em verificar a validade, ou não, da hipótese do U-invertido expressa na Curva de Kuznets com um novo objetivo: investigar a relação entre crescimento econômico e qualidade de indicadores ambientais.

Os estudos seminais de Grossman e Krueger (1991) e Shafik e Bandyopadhyay (1992) inovaram ao realizar a associação direta entre estes dois grandes temas (crescimento econômico e degradação ambiental) com base na abordagem proposta por Kuznets (1955). No entanto, Panayotou (1993) foi o responsável por cunhar o termo Curva Ambiental de Kuznets (CAK) ou *Environmental Kuznets Curve* (EKC), assim denominada em função da semelhança encontrada com a Curva de Kuznets, que exhibe uma relação de U-invertido entre a desigualdade de rendimento e o nível de desenvolvimento.

2.1. Curva Ambiental de Kuznets: aspectos conceituais e teóricos associados

A hipótese fundamental da CAK é que a degradação ambiental se expande com o crescimento econômico até que, ao atingir um dado nível renda *per capita*, a qualidade dos indicadores ambientais evolui, possibilitando que a relação entre a dimensão econômica e ambiental passe a exibir um formato de U-invertido, expresso na Curva Ambiental de Kuznets, conforme ilustra a Figura 1.



Portanto, a conceituação da CAK descreve a trajetória no tempo que os níveis de degradação do meio ambiente de um país tende a seguir como consequência do crescimento econômico. Apesar da hipótese da CAK não definir explicitamente o tempo necessário para que ocorra a inversão da inclinação da curva, diversos fatores podem ser elencados para explicar o formato da CAK, tais como: a elasticidade-renda da qualidade ambiental; efeitos de escala, tecnológicos e composição; mecanismos de mercado; e ambiente institucional.

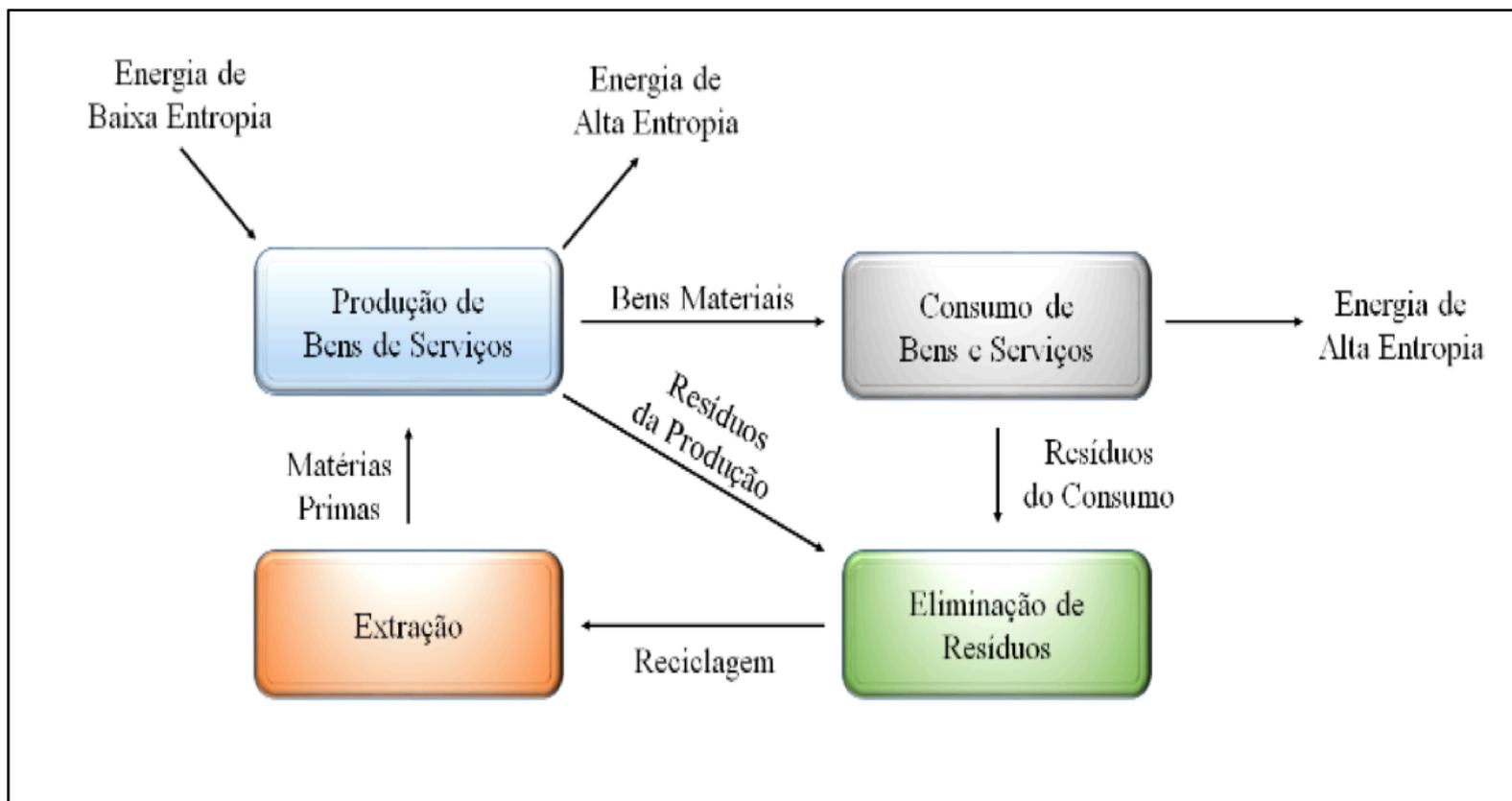
A literatura que aponta a elasticidade-renda da qualidade ambiental como um dos fatores explicativos do formato de U-invertido da CAK, defende que ao longo do processo de crescimento da renda os indivíduos obtêm um maior padrão de qualidade de vida, o que tende a despertar o interesse por atividades intelectuais e questões ambientais, induzindo mudanças estruturais no ambiente econômico que visem reduzir a degradação ambiental (PEZZEY, 1989; SELDEN; SONG, 1994). O estudo de Roca (2003) indica, inclusive, que após determinado nível *per capita* de renda, a disposição a pagar por um meio ambiente limpo aumenta mais que proporcionalmente a elevação do nível de renda.

Nessa perspectiva, as pesquisas que utilizam a abordagem da CAK enfatizam o papel da elasticidade-renda da demanda por preservação ambiental e partem do pressuposto que os indivíduos mais ricos atribuem maior valor ao meio ambiente, considerando, dessa forma, o acesso a um meio ambiente limpo e a preservação ambiental como bens superiores, cujas preferências são monotônicas (BECKERMAN, 1992; CARSON; JEON; MCCUBBIN, 1997; MCCONNELL, 1997).

Adicionalmente, o crescimento econômico também pode afetar o meio ambiente por meio de três outras diferentes vias: (i) efeito de escala, (ii) tecnologia e (iii) composição (GROSSMAN; KRUEGER, 1991). No primeiro caso, considera-se que a expansão produtiva requer a utilização de maior quantidade recursos naturais, implicando diretamente na ampliação dos níveis de degradação da qualidade ambiental.

Nesse contexto, deve-se salienta a relevante contribuição de Georgescu-Roegen, (1971) que, partindo de uma abordagem distinta da adotada no presente estudo, chama a atenção para o fato do sistema econômico ser um subsistema de um ecossistema global finito, do qual absorve e transforma recursos com reduzido grau de entropia e os descarta do sistema na forma de alta entropia (FUKS, 2012) – ver Figura 2.

Figura 2 – Fluxos de matéria e energia no sistema econômico



Fonte: Adaptado de Ayres e Nair (1984).

Daly (1991) fornece contribuição adicional a literatura ao questionar a negligência dos estudos quanto ao debate sobre a relação entre o meio ambiente e a macroeconomia. No entanto, em sua formulação teórica, o autor não considera a possibilidade de que os avanços relativos à renda *per capita* dos países reduzam o uso de recursos naturais, tal como na hipótese da CAK. Assim, nesse contexto, sob amparo *ad hoc*, parte-se do pressuposto de que o crescimento econômico somente pode impactar negativamente no meio ambiente por meio do efeito de escala.

Todavia, esse efeito adverso pode ser, pelo menos em parte, mitigado pelo efeito composição. Uma vez que a ampliação da renda tende a promover modificações estruturais na economia, com a expansão de atividades mais limpas no setor de serviços e tecnologias baseadas em conhecimento intensivo (SURI; CHAPMAN, 1998; STERN, 2004; BO, 2011). Logo, torna-se necessário verificar se o efeito composição e a evolução de técnicas produtivas (avanços tecnológicos) podem ser suficientemente fortes a ponto de sobrepor o efeito adverso sobre o meio ambiente (SELDEN; SONG, 1994; GROSSMAN, G.; KRUEGER, 1995).

Komen, Gerking e Folmer (1997) indicam que nações mais ricas tendem a possuir melhores condições para realizar investimentos em P&D. Defende-se a tese, portanto, de que o progresso tecnológico é uma condição para a promoção do crescimento econômico e vice-versa. Caso esta hipótese seja válida, a repercussão negativa causada pelo efeito escala, que deve prevalecer nos estágios iniciais de crescimento, eventualmente, pode ser superada com o impacto positivo proporcionado pelo efeito composição e tecnologia, que tende a induzir a diminuição dos níveis de emissão (VUKINA; BEGHIN; SOLAKOGLU, 1999).

Por outro lado, Saiani, Toneto e Dourado (2013) afirmam que a maior conscientização ambiental da população pode se refletir no aumento da demanda por políticas públicas e instituições que garantam uma maior preservação. Contudo, a viabilidade de implementação destas medidas depende da capacidade dos indivíduos influenciarem as tomadas de decisões dos governantes, considerando que estes sejam motivados pela maximização de oportunidades eleitorais.

De acordo com Arrow *et al.* (1995) e Dinda (2004), particularmente, dois fatores decorrentes do processo de desenvolvimento capitalista podem contribuir para isso: a expansão do comércio internacional e a globalização, que favorecem o exercício de pressão dos países desenvolvidos sobre os governantes de países em processo tardio de desenvolvimento para que execução de tais medidas sejam realizadas.

A luz do exposto, a CAK caracteriza-se por possuir uma parte ascendente e outra descendente intercaladas. A fase ascendente da curva exhibe a evolução do crescimento econômico, viabilizado pela transformação de um modelo de desenvolvimento e crescimento baseado, majoritariamente, no setor agrícola limpo para outro modelo sustentado pelo setor industrial poluidor (ARROW et al., 1995; BIAGE, 2013; BIAGE; ALMEIDA, 2015).

No estágio seguinte, a inclinação da curva torna-se negativa, refletindo o processo de exportação da produção intensiva em poluição para economias menos desenvolvidas. Assim, adota-se a hipótese de que, nesta fase, o modelo de desenvolvimento do país passa a estar fundamentado em setores menos intensivos em degradação que, associado ao aprimoramento das leis e regulamentos ambientais, bem como melhorias promovidas por inovações técnico-produtivas, possibilitam a diminuição na intensidade no consumo de energia e geração de resíduos (SURI; CHAPMAN, 1998; STERN, 2004; COLE, 2004).

Essa hipótese é contestada, parcialmente, por alguns estudos que defendem a tese de inviabilidade de sustentação da CAK no longo prazo (DE BRUYN, 1997; DE BRUYN; VAN DEN BERGH; OPSCHOOR, 1998). A inexequibilidade de validação da hipótese fundamental da CAK, segundo De Bruyn (1997) e De Bruyn, Van Den Bergh e Opschoor (1998), Biage (2013) e Biage (2015), refere-se ao seu formato de U-invertido, que representaria apenas um estágio inicial da relação entre degradação ambiental e crescimento econômico.

Para estes autores, a partir de dado nível de renda seria verificado um novo ponto de inflexão que inverteria, mais uma vez, a inclinação da curva tornando-a positiva. Dessa forma, a CAK assumiria o formato de um "N", indicando, portanto, que os níveis de degradação voltariam a ser ampliados com a expansão do crescimento econômico (JONES; MANUELLI, 1998; SAIANI; TONETO; DOURADO, 2013; SERRANO; LOUREIRO; NOGUEIRA, 2014; SOUSA; SOUSA; SANTOS, 2016).

3. Procedimentos metodológicos

A hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (CAK) pode ser testada utilizando-se de um modelo de regressão com dados em painel. Estes são caracterizados por possuírem observações em duas dimensões, em geral, o tempo e o espaço, em que as unidades observáveis são os estados brasileiros no período de tempo que corresponde aos anos de 2000 a 2014. Logo, a especificação do modelo linear simples, com dados em painel, para este estudo, pode ser representada da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 Y_{it} &= \alpha_i + \beta_1 D_{it} + \beta_2 D_{it}^2 + \varepsilon_{it} & (1) \\
 i &\in \{1, 2, \dots, N\} \\
 t &\in \{1, 2, \dots, T\}
 \end{aligned}$$

O subscrito 'i' indexa a unidade *cross-section* e 't' indexa o tempo. A variável dependente, Y_{it} , é uma medida de degradação ambiental da localidade, indexado simultaneamente por 'i' e 't'. α_i refere-se ao parâmetro de intercepto desconhecido para cada indivíduo e que representa a heterogeneidade não observada do modelo. D_{it} representa uma medida de desenvolvimento econômico da localidade e ε_{it} corresponde ao erro estocástico.

Para que seja confirmada a relação entre a degradação ambiental e o desenvolvimento econômico por meio do formato de um "U-invertido", os coeficientes β_1 e β_2 devem ser significativos e submeter-se as seguintes condições de sinais: $\beta_1 > 0$ e $\beta_2 < 0$.

Neste tipo de análise de dados, há informações que permitem uma melhor investigação sobre a dinâmica das mudanças nas variáveis, tornando possível considerar o efeito das variáveis não-observadas. A melhoria na inferência dos parâmetros estudados, também, é uma outra vantagem, uma vez que propiciam mais graus de liberdade e maior variabilidade na amostra em comparação com dados em *cross-section* ou em séries temporais, o que apura a eficiência dos estimadores econométricos (LOUREIRO; COSTA, 2009).

Segundo Loureiro e Costa (2009), o problema encontrado com mais frequência em dados em painel é a heterogeneidade não-observada. Nesse caso, existiria fatores que determinam a variável dependente, mas não estão sendo considerados na equação dentro do conjunto de variáveis explicativas, por não serem diretamente observáveis ou mensuráveis.

A fim de estabelecer controle sobre a heterogeneidade não-observada, a equação (1) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 D_{it} + \beta_2 D_{it}^2 + c_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

em que c_i representa a heterogeneidade não-observada em cada unidade observacional, no caso, cada estado, constante ao longo do tempo. Se c_i for correlacionada com qualquer variável em X_{it} e tentar aplicar o modelo tradicional por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) neste caso, as estimativas serão não apenas viesadas, como inconsistentes (WOOLDRIDGE, 2002).

De acordo com a literatura, a abordagem com dados em painel por efeito fixo é a mais adequada para testar a validade da Curva Ambiental de Kuznets. Isto acontece por tornar possível estimar se indicadores de degradação ambiental de distintos locais seguem as mesmas trajetórias ao longo do desenvolvimento econômico, mesmo com interceptos diferentes.

No modelo de efeitos fixos, a estimação é realizada considerando que existe um viés de endogeneidade entre os indivíduos e que esta é captada pela constante do modelo que é diferente de indivíduo para indivíduo. Isto é, supõe-se que o intercepto varia de um indivíduo a outro, mas é constante ao longo do tempo.

O teste da hipótese da CAK pelo método de efeitos fixos é realizado por meio da estimação de modelos com base na equação (2) – a hipótese continua a ser corroborada com $\beta_1 > 0$ e $\beta_2 < 0$ e quando os dois coeficientes são significativos.

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 D_{it} + \beta_2 D_{it}^2 + c_i + T_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

em que, α_i representa a constante que é diferente para cada indivíduo e capta as diferenças que são invariantes no tempo; Y_{it} é uma medida de degradação ambiental da localidade i no período t ; D_{it} é uma medida de desenvolvimento econômico da localidade i no período t ; c_i um conjunto de características não observáveis da localidade i constantes no tempo (efeitos fixos); T_t é um conjunto de características constantes entre as localidades, mas que variam no tempo e ε_{it} o erro aleatório.

Contudo, há evidências de estudos que constataram o formato de um “N” para alguns indicadores ao testar a relação entre a degradação ambiental e o desenvolvimento econômico (JONES; MANUELLI, 1998). Nesse caso, para testar a hipótese da Curva Ambiental de Kuznets, por este método, inclui-se em (3) um polinômio de terceiro grau em relação à medida de desenvolvimento econômico e confirma sua hipótese quando β_1, β_2 e β_3 são (1) significativos, (2) $\beta_1 > 0$, (3) $\beta_2 < 0$ e (4) $\beta_3 > 0$. Ademais, se $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$, mas β_3 não for significativo ou menor que zero, tal relação assume o formato tradicional de um “U-invertido”.

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 D_{it} + \beta_2 D_{it}^2 + \beta_3 D_{it}^3 + c_i + T_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Vale ressaltar que, além do exposto, alguns pesquisadores adotaram variáveis de controle que refletem características distintas das localidades e que influenciariam a degradação ambiental (SAIANI; TONETO; DOURADO, 2013). Essa sugestão foi adotada em alguns estudos que estimaram modelos baseados na equação (4), mas incorporando um conjunto de características observáveis, controles, da localidade no período t (W_{it}).

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 D_{it} + \beta_2 D_{it}^2 + \beta_3 D_{it}^3 + \beta_4 W_{it} + c_i + T_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

Frente ao exposto, neste estudo, serão estimados modelos baseados na equação (5), tanto para efeitos fixos como para efeitos aleatórios, utilizando como medidas de degradação ambiental (Y_{it}) indicadores de déficit de acesso a água e esgoto. Como indicadores de saúde, morbidade e mortalidade por saneamento. Como medida de desenvolvimento será considerada a Renda *per capita* familiar. Já as variáveis de controle são: anos de estudo, população, água canalizada, coleta de lixo e esgoto.

No modelo de Efeitos Aleatórios, a estimação é realizada considerando o efeito não-observado c_i , que é colocado junto com o termo de erro estocástico, u_{it} . Considerando a heterogeneidade dos indivíduos como sendo parte integrante do termo de erro. O modelo é assim representado:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 D_{it} + \beta_2 D_{it}^2 + \beta_3 D_{it}^3 + \beta_4 W_{it} + T_t + (c_i + \varepsilon_{it}) \quad (6)$$

em que $\alpha_i = \alpha + c_i$ e c_i representam o efeito aleatório individual não observável. Ou seja, os modelos de efeitos aleatórios consideram a constante não mais como sendo parâmetros constantes, mas como um parâmetro aleatório não observável.

Logo, a principal diferença entre os dois modelos está no fato de que o modelo de efeitos fixos considera que as diferenças entre os indivíduos são captadas na parte constante, enquanto que, no modelo de efeitos aleatórios estas diferenças são captadas no termo de erro.

Para testar quais destes métodos é o mais apropriado para cada índice de degradação, será utilizado a estatística de *Hausman*. Este é o procedimento de referência para inferir sobre a endogeneidade dos regressores. Podendo ser utilizado noutro contexto, o teste de *Hausman* procura comparar, estatisticamente, dois estimadores $\hat{\beta}_{EF}$ e $\hat{\beta}_{EA}$ para o mesmo modelo de vetor de parâmetros $\hat{\beta}$.

Seja $\hat{\beta}_{EF}$ o vetor de estimativas de efeitos fixos e $\hat{\beta}_{EA}$ o vetor de estimativas de efeitos aleatórios, sob a hipótese nula de:

$H_0: \hat{\beta}_{EF} - \hat{\beta}_{EA} = 0$ (i.e efeitos aleatórios é válido), a estatística:

$$H = [\hat{\beta}_{EF} - \hat{\beta}_{EA}]' [V(\hat{\beta}_{EF}) - V(\hat{\beta}_{EA})]^{-1} [\hat{\beta}_{EF} - \hat{\beta}_{EA}] \quad (7)$$

Possui distribuição X^2 com $K-1$ graus de liberdade. Se esta estatística exceder o valor tabelado, deve-se utilizar efeitos fixos. No Quadro 1 apresenta-se a descrição das variáveis utilizadas nos modelos empíricos estimados em conformidade com o objetivo proposto.

Quadro 1 – Descrição das variáveis da amostra

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO	FONTES
Déficit de acesso a água	Percentual de domicílios sem acesso água	IPEADATA
Déficit de acesso a esgoto	Percentual de domicílios sem acesso esgoto	IPEADATA
Morbidade por saneamento	Total de internações por doenças causadas por saneamento – 100 habitantes	DATASUS
Mortalidade por saneamento	Total de óbitos por doenças causadas por saneamento – 100 habitantes	DATASUS
Renda	Renda domiciliar <i>per capita</i> média da população utilizada como medida do nível de desenvolvimento econômico	PNAD
Educação	Média de anos de estudo dos residentes nos diferentes estados do Brasil	PNAD
Água canalizada	Número de domicílio com acesso a água canalizada	PNAD

Coleta de lixo	Número de domicílio com acesso a coleta de lixo	PNAD
Esgoto	Número de domicílio com acesso a rede geral de esgoto	PNAD
População	Número de habitantes	IPEADATA

4. Descrição e análise dos resultados

A presente seção exhibe os resultados obtidos a fim de validar, ou não, a hipótese de existência da Curva Ambiental de Kuznets associada ao déficit de acesso a água e rede geral de esgoto e doenças vinculadas ao déficit de acesso à serviço de saneamento básico para os Estados brasileiros. Inicialmente, efetua-se uma análise descritiva de variáveis referentes aos dados que compõe a amostra utilizada no estudo. Em seguida, testa-se a validade da hipótese da CAK.

Conforme ilustrado no Quadro 2, com exceção da educação, todas as séries apresentam significativa heterogeneidade ao longo da amostra, como pode ser observado pelos valores do coeficiente de variação (CV) que excede 42% (renda), quanto menor esse percentual, maior a homogeneidade da amostra de dados. A série mais heterogênea é a de esgoto que possui coeficiente de variação de 212,98%.

Quadro 2 – Estatística descritiva da amostra de dados observados

Variáveis	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Coeficiente de Variação
Água canalizada	1690633.9	761120.0	2454872.6	38474.0	14283524.0	1.4520
Coleta de lixo	1802079.6	827805.5	2521534.5	53708.0	14728844.0	1.3992
Esgoto	1069240.5	258380.0	2277281.2	783.0	13436418.0	2.1298
Sem água	0.1425	0.1138	0.1293	0.0029	0.5617	0.9077
Sem esgoto	0.4146	0.4416	0.2115	0.0262	0.8940	0.5100
Renda	750.02	669.64	316.11	314.28	2279.70	0.4215
Educação	6.6323	6.6098	1.2838	3.8080	10.5700	0.1936
População	6875203.1	3494965	8128939.7	324397	42500000	1.1824
Morbidade	0.4445	0.3797	0.2530	0.0832	1.2616	0.5692
Mortalidade	0.0034	0.0023	0.0032	0.0003	0.0182	0.9586

As variáveis água canalizada, coleta de lixo, esgoto, população, morbidade e mortalidade tendem a não apresentar uma distribuição normal nos dados, uma vez que os seus valores médios se distanciam do seu valor central, principalmente para os três primeiros e para população.

A seguir, apresentam-se os resultados dos modelos com dados em painel, para as variáveis selecionadas, nos quais verificam-se a validade, ou não, da hipótese fundamental da Curva Ambiental de Kurznets (CAK) a partir de diferentes dimensões de análise. Cabe destacar, em todos os modelos estimados, a presença de variáveis dependentes que denotam um déficit ou aspecto negativo para crescimento econômico.

Assim, ao partir da hipótese original da CAK, considera-se que o sinal positivo para a variável renda e negativo para seu termo quadrático, tornam-se necessários para que se verifique a validade da Curva Ambiental de Kuznets. O termo cúbico da variável renda apenas indica se há ou não um novo ponto de inflexão na curva.

De acordo com os resultados obtidos, evidencia-se que apenas a variável mortalidade por saneamento confirma a hipótese da CAK. Todavia, não apresentou coeficiente estimado estatisticamente significativo. Todas as demais variáveis não fornecem evidência de ocorrência de um formato de “U-invertido”, mas sim de “U”. Esses resultados convergem com os encontrados por Arraes, Diniz e Diniz (2006) e divergem do estudo de Saiani, Toneto e Dourado (2013).

A Tabela 1 apresenta os resultados para o déficit de acesso à água e a rede geral de esgoto. Salienta-se que, em ambos os casos considerados, por meio do Teste F/Wald Qui2 verifica-se que todos os modelos estimados por efeitos fixos e aleatórios se apresentam globalmente adequados à análise.

No entanto, a estatística de Hausman, que visa testar se os efeitos da heterogeneidade individual são ou não correlacionados com os regressores, não permite rejeitar a hipótese nula de que há diferenças sistemáticas entre os parâmetros estimados pelos modelos de efeitos fixos e variáveis. Assim, tanto para o déficit de acesso a água quanto para o déficit de acesso a esgoto, o teste de Hausman indica a um nível de 5% de significância estatística que o melhor modelo é o de efeitos aleatórios.

Isto não confirma, para o caso em tela, os resultados obtidos por Stern (2004) quanto à superioridade do modelo de efeitos fixos para estimações da Curva Ambiental de Kuznets. Entretanto, no que se refere à variável de déficit de acesso a serviço de abastecimento de água, o resultado obtido converge com Arraes, Diniz e Diniz (2006), que evidencia, neste caso, o melhor ajuste do modelo com efeitos variáveis.

Tabela 1 – Resultados das estimações para variável dependente déficit de acesso

Variáveis	Déficit de Água		Déficit de Esgoto	
	Efeito Fixo	Efeito Variável	Efeito Fixo	Efeito Variável
Renda	-0,00144*	-0,00144*	-0,000949*	-0,000953*
	(9,21x10-5)	(9,11x10-05)	(0,000188)	(0,000185)
Renda2	0,0000011*	1,10x10-06*	5,04x10-07*	5,18x10-07*
	(8,2x10-8)	(8,08x10-08)	(1,67x10-07)	(1,64x10-07)
Renda3	-2,62x10-10*	-2,59x10-10*	-9,07x10-11***	-9,57x10-11**

	(2,29x10 ⁻¹¹)	(2,26x10 ⁻¹¹)	(4,66x10 ⁻¹¹)	(4,60x10 ⁻¹¹)
Educação	-0,01692*	-0,01726*	-0,01354***	-0,01112
	(3,74x10 ⁻⁰³)	(0,00354)	(0,00761)	(0,00722)
População	-6,18x10 ⁻⁰⁹	-2,32x10 ⁻⁰⁹	6,68x10 ⁻⁰⁹	-5,83x10 ⁻⁰⁹ ***
	(4,70x10 ⁻⁰⁹)	(1,53x10 ⁻⁰⁹)	(9,58x10 ⁻⁰⁹)	(3,32)
Constante	0,817*	0,800*	0,899*	0,967*
	(0,0368)	(0,0297)	(0,0750)	(0,0617)
R2	0,5878	0,6875	0,1663	0,4568
F / Wald Qui2	173,04	-	50,09	-
	[0,0000]	-	[0,0000]	-
Hausman	3,26		4,99	
	[0,1957]		[0,0825]	

Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: (-) erros-padrão; ***significante a 10%; **significante a 5%; *significante a 1%.

Os resultados indicam uma redução tanto do déficit de acesso à água quanto para o déficit de acesso à esgoto no estágio inaugural de crescimento/desenvolvimento econômico dos Estados brasileiros, e à medida que a renda *per capita* aumenta, esses déficits tendem também a aumentar, caindo novamente para faixas de renda mais altas. Logo, indica-se que o formato tradicional de U-invertido da CAK ocorre apenas a partir de certo nível de desenvolvimento econômico para o caso dos Estados brasileiros durante o período de análise. Todos os coeficientes de renda nos modelos de efeitos fixos (em nível, ao quadrado e ao cubo) apresentam significância estatística inferior a 10%.

As variáveis educação (definida como média de anos de estudo) e população (número total de habitantes) tomadas como variáveis explicativas exibem uma relação inversa com a variável de déficit de acesso a água, ou seja, as condições de acesso melhoram à medida em que o nível educacional expande-se e, também, quando ocorre uma ampliação dos níveis de adensamento populacional no território dos Estados do Brasil. De outra forma, quanto à variável de déficit de acesso a rede geral de esgoto, embora a educação apresente o mesmo comportamento, o mesmo não pode ser constatado no que tange ao impacto causado pela variação do quantum populacional, uma vez que esta variável não exhibe significância estatística aceitável.

A fim de contribuir e preencher lacuna ainda existente na literatura nacional sobre o tema proposto, buscou-se testar a validade ou não da Curva Ambiental de Kuznets por meio do uso de indicadores de saúde, como morbidade e mortalidade por causas vinculadas ao déficit de acesso à saneamento básico adequado – ver Tabela 2.

	(0,0112)	(0,0113)	(0,0106)	(0,0109)	(0,000122)	(0,0002)	(0,000117)	(0,000199)
População	8,72x10 ⁻⁹	2,21x10 ⁻⁹	-6,22x10 ⁻⁹	-1,33x10 ⁻⁸	-3,56x10 ^{-10**}	6,73x10 ⁻¹⁰	-4,23x10 ⁻¹¹	7,18x10 ⁻¹⁰
	(1,41x10 ⁻⁸)	(2,94x10 ⁻⁸)	(3,89x10 ⁻⁹)	(9,49x10 ⁻⁹)	(1,48x10 ⁻¹⁰)	(5,21x10 ⁻¹⁰)	(6,60x10 ⁻¹¹)	(1,58x10 ⁻¹⁰)
Água canalizada		1,48x10 ⁻⁷		4,85x10 ⁻⁸		-3,75x10 ^{-9***}		-3,11x10 ⁻⁹
		(1,25x10 ⁻⁷)		(1,14x10 ⁻⁷)		(2,21x10 ⁻⁹)		(1,92x10 ⁻⁹)
Coleta de lixo		-1,44x10 ⁻⁷		-3,30x10 ⁻⁸		-7,60x10 ⁻¹⁰		-9,67x10 ⁻¹⁰
		(1,19x10 ⁻⁷)		(1,04x10 ⁻⁷)		(2,11x10 ⁻⁹)		(1,76x10 ⁻⁹)
Esgoto		1,33x10 ⁻⁸		8,49x10 ⁻⁹		2,64x10 ^{-9*}		2,05x10 ^{-9*}
		(4,65x10 ⁻⁸)		(3,93x10 ⁻⁸)		(8,24x10 ⁻¹⁰)		(6,38x10 ⁻¹⁰)
Constante	0,931*	0,992*	1,03*	1,06*	0,00275***	0,00894	0,000949	0,00846*
	(0,111)	(0,157)	(0,0855)	(0,0943)	(0,00156)	(0,00279)*	(0,00146)	(0,00164)
R2	0,0990	0,1521	0,3946	0,3759	0,0116	0,0348	0,0428	0,0459
F / Wald Qui2	18,51	11,79	-	-	4,28	37,58	-	-
	[0,0000]	[0,0000]	-	-	[0,0000]	[0,0000]	-	-
Hausman			0,21	1,89			11,56	2,60
			[0,8991]	[0,3889]			[0,0031]	[0,4572]

Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: (-) erros-padrão; ***significante a 1%; **significante a 5%; *significante a 10%.

Assim, de modo geral, expressa-se uma diminuição tanto dos indicadores de degradação ambiental associados à dimensão de saúde utilizados (morbidade e mortalidade causados por déficit de acesso a saneamento básico adequado) quanto dos níveis de crescimento econômico dos Estados brasileiros nos estágios iniciais de desenvolvimento.

Por conseguinte, os indicadores referentes à morbidade e mortalidade, em um segundo momento, tendem a aumentar com a expansão da renda *per capita*, reduzindo-se mais uma vez para faixas mais altas de renda. Este resultado corrobora a tendência apresentada nos resultados da Tabela 1, nos quais a característica imanente da curva indica um formato de “N-

invertido” para relação entre o crescimento/desenvolvimento econômico e os indicadores de degradação ambiental, que no presente caso – resultados expressos na Tabela 2 – equivale a indicadores de saúde ambiental.

No caso da estimação referente à mortalidade por déficit de acesso a serviços de saneamento básico, entre as variáveis de controle adicionadas, apenas a população apresentou coeficiente estatisticamente significativo a 5%, porém com sinal inesperado, uma vez que ilustra uma redução da mortalidade à medida que a população cresce, mantendo todos os outros parâmetros constantes, no caso do *Modelo I*. Para o *Modelo II*, as variáveis educação e esgoto foram significativas, mas a segunda possui sinal contrário ao esperado.

5. Considerações finais

Este trabalho buscou analisar a relação entre desenvolvimento econômico e degradação ambiental expressa na hipótese da curva ambiental de Kuznets (CAK) para os Estados brasileiros, por meio de um painel de dados para o período 2000-2014. O teste da validade desta hipótese, tanto para os indicadores de degradação tradicionais quanto para acesso (ou déficit) a serviços de saneamento básicos e, também, para indicadores de saúde (morbidade e mortalidade por falta de saneamento).

A fim de possibilitar o alcance do objetivo proposto, utilizaram-se dados do IBGE, IPEADATA, DATASUS e PNAD para estimar os modelos empíricos com dados organizados em painel para o período 2000-2014. Os resultados obtidos indicam que há grande heterogeneidade nas séries de dados utilizados no estudo. O coeficiente de variação, por exemplo, apresentou variação entre 42% e 212,98% em todas as variáveis, exceto a educação que é mais homogênea, com CV de 19,36%.

No que se refere ao modelo econométrico, enquanto a literatura especializada defende o uso de dados em painel com efeitos fixos para a estimação da CAK, para o caso dos Estados brasileiros, os testes sugerem melhor ajuste dos modelos de efeito aleatório.

Os principais resultados indicam uma redução, tanto do déficit de acesso a água quanto para o déficit de acesso a esgoto, no estágio inaugural de crescimento/desenvolvimento econômico dos Estados brasileiros e à medida que a renda *per capita* aumenta, esses déficits tendem também a aumentar, revertendo-se a inclinação da curva para faixas de renda mais altas. Logo, indica-se que o formato tradicional de U-invertido da CAK ocorre apenas a partir de certo nível de desenvolvimento econômico, para o caso dos Estados brasileiros, durante o período de análise.

O uso de indicadores de saúde – como morbidade e mortalidade por causas vinculadas ao déficit de acesso a saneamento básico – por meio dos testes empíricos, não possibilitou encontrar evidências que forneçam suporte a hipótese fundamental da CAK. Os indicadores referentes à morbidade e mortalidade tendem a aumentar com a expansão da renda *per capita*, reduzindo-se mais uma vez para faixas mais altas de renda, indicando mais uma vez a tendência da CAK em formato de “N-invertido” para relação entre o crescimento/desenvolvimento econômico e os indicadores de degradação ambiental.

Ressalta-se que, como em Stern (2004), a hipótese da CAK tende a não ser válida para dados globais, aumentando a probabilidade de sua validação para amostras referentes a unidades de análise com elevado nível de desagregação, como municípios por exemplo. Por fim, o estudo contribui no sentido de levar em consideração não apenas para os indicadores de degradação tradicionais, mas também para indicadores de saúde e abre campo para que futuras pesquisas sobre o tema busquem considerar outras dimensões de análise ao testar a validade da CAK em âmbito nacional.

Referências

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. **Science**, v. 15, p. 91–95, 1995.

AYRES, R. U.; NAIR, I. Thermodynamics and economics. **Physics Today**, Discussion Papers. v. Novemb, p. 62–71, 1984.

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

BIAGE, M. Relação entre crescimento econômico e impactos ambientais - uma análise da curva ambiental de Kuznets. **Revista Economia Ensaios**, v. 27, n. 1, p. 7–42, 2013.

BIAGE, M.; ALMEIDA, H. J. F. Desenvolvimento e impacto ambiental: uma análise da Curva Ambiental De Kuznets. **Pesquisa e Planejamento econômico**, v. 45, n. 3, p. 1–52, 2015.

BO, S. A Literature Survey on Environmental Kuznets Curve. **Energy Procedia**, v. 5, p. 1322–1325, 2011.

CARSON, R. T.; JEON, Y.; MCCUBBIN, D. R. The relationship between air pollution emissions and income: US data. **Environment and Development Economics**, v. 2, p. 433–450, 1997.

COLE, M. A. Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages. **Ecological Economics**, p. 71–81, 2004.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum**. 2a ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

DALY, H. Towards an environmental macroeconomics. **Land Economics**, v. 67, p. 255–259, 1991.

DE BRUYN, S. M. Explaining the Environmental Kuznets Curve: structural change and international agreements in reducing sulphur emissions. **Environment and Development Economics**, v. 2, p. 485–503, 1997.

DE BRUYN, S. M.; VAN DEN BERGH, J. C.; OPSCHOOR, J. B. Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves. **Ecological Economics**, v. 25, p. 161–175, 1998.

DINDA, S. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. **Ecological Economics**, v. 49, p. 431–455, 2004.

FONSECA, L. N.; RIBEIRO, E. P. **Preservação ambiental e crescimento econômico no Brasil**. VII Encontro de Economia da Região Sul. **Anais...2005**

FUKS, M. Reflexões sobre o paradigma da economia ecológica para a gestão ambiental. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 101–119, 2012.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the economic process**. Cambridge: Harvard University Press, 1971.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Selections from energy and economic myths. In: DALY, H. E.; TOWNSEND, K. N. (Ed.). **Valuing the Earth: economics, ecology, ethics**. Massachusetts: The MIT Press Cambridge, 1993. p. 75–88.

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**: National bureau of Economic Research Working Paper. Cambridge, MA.: [s.n.].

JONES, L. E.; MANUELLI, R. E. **A positive model of growth and pollution controls**: Working Paper. Cambridge: [s.n.].

KOMEN, R.; GERKING, S.; FOLMER, H. Income and environmental R&D: empirical evidence from OECD countries. **Environment and Development Economics**, v. 2, p. 505–515, 1997.

KUZNETS, S. Economic growth and income inequality. **American Economic Review**, v. 45, n.

1, p. 1–28, 1955.

MCCONNELL, K. Income and the demand for environmental quality. **Environment and Development Economics**, v. 2, p. 383–399, 1997.

MEADOWS, D. H. et al. **The limits to growth**. New York: Universe Books, 1972.

PANAYOTOU, T. **Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development**: Working Paper. Geneva: Technology and Employment Programme, 1993.

PEZZEY, J. C. V. **Economic analysis of sustainable growth and sustainable development**: Working Paper. [s.l.: s.n.].

ROCA, J. Do individual preferences explain Environmental Kuznets Curve? **Ecological Economics**, v. 45, n. 1, p. 3–10, 2003.

SAIANI, C. C. S.; TONETO, R.; DOURADO, J. A. Déficit de acesso a serviços de saneamento ambiental: evidências de uma Curva Ambiental de Kuznets para o caso dos municípios brasileiros? **Economia e Sociedade**, v. 22, n. 3, p. 791–824, 2013.

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.

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

SHAFIK, 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.

SOUSA, L. C. R.; SOUSA, D. S. P.; SANTOS, R. B. N. Curva Ambiental De Kuznets: uma análise macroeconômica entre crescimento econômico e impacto ambiental de 2005 a 2010. **R. gest. sust. ambient.**, v. 5, n. 2, p. 227–246, 2016.

STERN, D. I. The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. **World Development**, v. 32, n. 8, p. 1419–1439, 2004.

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

VUKINA, T.; BEGHIN, J. C.; SOLAKOGLU, E. G. Transition to markets and the environment: effects of the change in the composition of manufacturing output. **Environment and Development Economics**, v. 4, n. 4, p. 582–598, 1999.

1. Doutorando em Economia (UFU), Mestre em Economia (UFPE), Mestre em Engenharia de Produção (UFRN), Graduado em Economia (UFRN). Email: wallacealmeida88@hotmail.com

2. Doutoranda em Economia (UFU), Mestre em Economia (UFC), Graduada em Economia (UFCG).

3. Doutorando em Economia (UFU), Mestre em Economia (UFV), Graduado em Economia (UEG).

4. Professor do Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Uberlândia (PPEGE/UFU), Doutor em Economia (FGV), Mestre em Economia (USP), Graduado em Economia (USP).

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 38 (Nº 39) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a webmaster]