

## Desenvolvimento Sustentável e a Relação Crescimento-Degradação Ambiental na Moderna Teoria da Curva de Kuznets

### *Sustainable Development and the Growth-Environmental Degradation Relationship in the Modern Kuznets Curve Theory*

Rhayza Alves Figueiredo de Carvalho <sup>1</sup>

Abner Vilhena de Carvalho <sup>2</sup>

Mario Tanaka Filho <sup>3</sup>

Rodolfo Maduro Almeida <sup>4</sup>

**Resumo:** *O presente estudo verificou a existência da hipótese da Curva de Kuznets Ambiental – CKA na Região de Integração do Baixo Amazonas por meio da construção de um modelo econométrico com dados em painel, para o período de 2000-2010. De modo a contribuir com a discussão socioeconômica e ambiental nessa região, objetivando investigar a relação entre variáveis e degradação ambiental e crescimento econômico, utilizou-se como proxies o desmatamento (variável dependente), e a renda per capita (variável independente), respectivamente. Os resultados obtidos mostraram que não há evidências que corroboram a hipótese teórica da CKA, pois, os resultados dos coeficiente da regressão não foram estatisticamente significativos.*

**Palavras-chave:** *Curva de Kuznets Ambiental, degradação ambiental, Região de Integração do Baixo Amazonas, crescimento econômico.*

**Abstract:** *The present study verified the hypothesis of the Environmental Kuznets Curve – CKA for the Region of Integration of the Lower Amazon by means of the construction of an econometric model with data in short panel with the objective to investigate the relation between these variables during the period of 2000 and 2010, in order to contribute to the environmental discussion in this region, using as proxies of environmental degradation and economic growth: deforestation (dependent variable), and per capita income (independent variable), respectively. The results showed that there is no evidence corroborating the theoretical hypothesis of CKA, since the results of the regression coefficient were not statistically significant.*

**Keywords:** *Environmental Kuznets Curve, Lower Amazon Integration Region, environmental degradation, economic growth .*

<sup>1</sup>Mestra em Ciências da Sociedade pelo PPGCS da UFOPA. E-mail: carvalho.rhayza@gmail.com

<sup>2</sup>Doutor em Ciências Ambientais pelo PPGSND. Docente no PPGCS/UFOPA. E-mail: abnervilhena@hotmail.com

<sup>3</sup>Doutor em Engenharia Mecânica pelo CPPE/UFRJ. Docente no PPGCS/UFOPA. E-mail: tanakafi@gmail.com

<sup>4</sup>Doutor em Computação Aplicada pelo INPE. Docente no PPGCS/UFOPA. E-mail: rodolfomaduroalmeida@gmail.com

## Introdução

No interior das discussões sobre o desenvolvimento foram incorporados novos requisitos para alcançar tal concepção, de modo harmônico e integral, como a inclusão de novos desafios e até mesmo dimensões pouco exploradas pelas teorias tradicionais do desenvolvimento, assumindo diferentes nomenclaturas. Nesse contexto, destaca-se a sustentabilidade, com propósito de utilizar os recursos naturais de maneira prudente, particularmente em economias de base produtiva assentadas no uso intensivo de recursos naturais (ARRAES; DINIZ; DINIZ, 2006).

Há no meio acadêmico, social e político pesquisadores os quais defendem que os problemas ambientais são inevitáveis quando um país se expande ou se desenvolve. No entanto, outros estudiosos como Grossman e Krueger (1995) que a partir da teoria de Kuznets (1955) da existência de uma relação entre crescimento econômico e desigualdade de renda, representada por um “U” invertido, elucidaram que o crescimento econômico só causa grandes problemas em seu estágio inicial e a partir de um determinado ponto a expansão econômica levará a uma melhor qualidade de vida ambiental (MORAES, 2009).

A relação do meio ambiente com a atividade econômica tem sido alvo de várias análises decorrentes ao longo dos anos, principalmente dos impactos causados pelo crescimento econômico sobre o meio ambiente, que ocasionam distintas reações entre os agentes sociais, pois as decisões da sociedade consideram não apenas o cenário econômico, mas também suas preferências, valores e crenças, devido a estes impactos. Tal vínculo apresenta como obstáculo à limitação dos recursos naturais, ou seja, pela questão da escassez, não sendo utilizados como insumos de produção, e assim, minimizando a velocidade de crescimento dos países (LOPES, 2013).

Na economia, a qualidade do meio ambiente passou a ser incorporada nas funções de utilidade, e, portanto relacionados ao bem-estar, principalmente atribuindo perdas destes decorrentes da degradação ambiental. A partir daí, o surgimento de vários modelos modificados tentaram analisar e explicar a relação entre meio ambiente e crescimento econômico, acrescentando maior complexidade à preocupação inicial, tentando relacionar aumento de renda dos países com indicadores de meio ambiente e assim, re-

sultando na hipótese conhecida como Curva Ambiental de Kuznets. Concomitantemente a isso, a ampliação da discussão sobre a pressão ambiental resultou também no desenvolvimento de alguns conceitos, como o de crescimento sustentável (LOPES, 2013).

## 1. Desenvolvimento Sustentável e a Hipótese do “U Invertido” na Teoria da CKA

Nesta seção será realizada a explicação da Curva de Kuznets para o setor ambiental, relacionando crescimento econômico a degradação ambiental seguindo o mesmo formato da curva tradicional (relação crescimento econômico e desigualdade de renda), e considerando o indicador de degradação ambiental mais relevante, o desmatamento (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

A conjugação entre crescimento econômico e meio ambiente é um desafio contemporâneo que perpassa por fenômenos intermediários como redução de problemas sociais: pobreza, desigualdade, para possibilitarem melhores condições de vida para os indivíduos, além de maiores acessos em saúde, alimentação, emprego e moradia, de modo que os custos da degradação ambiental não limitam-se a perda de satisfação, mais riscos à própria saúde humana, além de reduções na produtividade econômica que, por sua vez, pode comprometer o desenvolvimento de gerações futuras, e assim, alcançar uma sociedade sustentável, com prudência ecológica (SACHS, 2008; LUCENA, 2005).

A teoria da Curva de Kuznets foi estendida para um novo nível, no qual a partir do estudo empírico realizado por Grossman e Krueger (1991) que examinaram a relação entre PIB *per capita* e emissão de poluentes para os Estados Unidos, e tomando um forma de um U-invertido, denominada na literatura como Curva de Kuznets Ambiental. Dessa forma, verificaram que, em estágios iniciais de crescimento, um aumento da renda *per capita* implica em piora da qualidade do ar, perdurando tal efeito até um determinado nível de renda que, quando ultrapassado, passa a indicar uma melhora dos indicadores de poluição atmosférica, gerando uma curva em formato de U-invertido.

A explicação para a dinâmica da CKA revela que o aumento ou redução da poluição à medida que a atividade produtiva aumenta depende da resultante de três efeitos diversos: escala, correspondendo ao aumento da poluição diretamente ligado ao aumento do produto, tudo mais mantido constante, dado o fato de que sempre que há

produção há resíduos dessa produção, que podem ser encarados como algum tipo de poluição, o efeito composição industrial e tecnologia, mantém o nível de produção e a tecnologia constante e altera somente o “mix produtivo”, supondo existir setores com diferentes níveis de poluição e por fim, o efeito composição poderia tanto atenuar o ritmo de expansão da poluição como até reduzi-lo, a depender do estado da CAK. Estes efeitos relacionam-se respectivamente com o incremento da atividade econômica, com a estrutura do consumo e da produção e com a tecnologia a ser empregada (GROSSMAN; KRUEGER, 1991; LUCENA, 2005; BIAGE; ALMEIDA, 2015).

O conceito de Curva de Kuznets Ambiental (CKA) surgiu na década de 1990, e tornou-se um dos principais instrumentos que analisam os impactos do crescimento econômico sobre a degradação ambiental, mostrando que o desenvolvimento econômico, não necessariamente resultaria em maiores níveis de degradação ambiental, dessa forma uma nova caracterização foi dada à questão do crescimento econômico no trabalho empírico de GROSSMAN, Gene M. e KRUEGER, Alan B. (1995), considerou existir uma forte tendência de aumento dos níveis de poluição durante o período inicial de crescimento econômico, mas caíssem gradativamente à medida que os países fossem se tornando mais ricos, utilizando como proxies de crescimento a renda *per capita*, e de indicadores de degradação ambiental, a poluição atmosférica urbana, oxigenação de bacias hidrográficas e duas contaminações fecal e metais pesados. Em suma, é a ideia de que o crescimento inicial degrada o meio ambiente, porém a continuidade do crescimento resolve os problemas ambientais (CECHIN, 2010; BIAGE; ALMEIDA, 2015).

Dessa forma, a CKA resume um processo dinâmico de mudança no longo prazo, no qual a renda de uma economia cresce ao longo do tempo, acompanhado pelo aumento de degradação ambiental até atingir um ponto que posteriormente tende a diminuir, tendo uma trajetória de desenvolvimento descrita com fases distintas. Portanto, alguns autores consideram que a hipótese da CKA assume que o inicial aumento da degradação ambiental é temporário, porém as diminuições subseqüentes são permanentes, portanto a CKA em “U-invertido” não se sustentaria no longo prazo, resultando em uma curva em forma de “N”, indicando que a degradação volta a aumentar em estágios com maiores níveis de renda, essa curva também foi sugerida em um formato parecido com um “S – espelhado”, no qual a degradação voltaria a elevar-se em maiores níveis

de renda, podendo ser justificado pela dificuldade de manter melhorias na eficiência tecnológica, inovações, com crescimento contínuo de produção, além da pouca eficiência das instituições ambientais internalizarem as externalidades negativas decorrentes da atividade econômica (DINDA, 2004; AVELINO, 2018).

Além dos efeitos de escala, composição industrial e tecnológica, encontrados na relação entre crescimento econômico e qualidade do meio ambiente, outros fatores explicam a dinâmica da CKA, como a elasticidade-renda positiva para qualidade ambiental, de maneira que quando a renda cresce, as pessoas alcançam maiores padrões de vida e tendem a querer e cuidar melhor do ambiente, reduzindo a degradação ambiental, outro elemento de suma importância é o comércio internacional, pois à medida que diminui a qualidade do ambiente devido o aumento do volume de comercial, eleva o tamanho da economia e conseqüentemente a poluição, além disso, a existência de um mecanismo de mercado auto-regulador relacionado aos recursos naturais, proporcionando que os recursos negociados nos mercados elevem a renda mas não a degradação ambiental, e por fim, o instrumental de regulamento, efetuado por instituições que reforcem a regulamentação ambiental (DINDA, 2004).

Vale ressaltar as implicações importantes desta análise, pois a equação estimada permite descrever a relação existente entre as *proxies* utilizadas no modelo, além de constituir um bom instrumento para o Estado na formulação de políticas públicas e na tomada de decisões quanto à preservação do meio ambiente e crescimento econômico. As pesquisas empíricas em relação à CKA, além de testar a hipótese do formato da curva com os dados disponíveis, estimam também o ponto extremo de diversos tipos de indicadores de qualidade ambiental, podendo ser interpretado como o patamar de renda a partir do qual se espera que haja uma melhora das condições ambientais (SERRANO; LOUREIRO; NOGUEIRA, 2014; LOPES, 2013).

Em contraposição, alguns autores destacam severas críticas ao modelo da curva de Kuznets Ambiental ou U invertido, sobretudo aquelas que apontam para insuficiência metodológica e a fraca previsibilidade de resultados, bem como a exclusão de problemas ambientais globais desse modelo. Todavia, alguns elementos parecem beneficiar a qualidade do ambiente, compatíveis com a redução da poluição, como a difusão de

tecnologias limpas por meio do comércio e de assistências internacionais e até mesmo a globalização (DINDA, 2004; CECHIN, 2010).

## 2. Crescimento e Degradação Ambiental – Estado da Arte da CKA

Nesse contexto, alguns pesquisadores estenderam a Curva de Kuznets para estudos sobre a área ambiental que possui o mesmo formato de “U” invertido, e as evidências empíricas também apresentam uma relação controversa entre o desenvolvimento e o meio ambiente, denominada de Curva de Kuznets Ambiental (CKA) é conceituada em três estágios, de modo que os problemas ambientais seriam causados nas fases iniciais do desenvolvimento, e que a partir da obtenção de certo nível de renda per capita e educação ocorreria diminuição da degradação ambiental.

As diversas formas de degradação ambiental foram utilizadas nos trabalhos que refutam ou confirmam a hipótese Curva de Kuznets Ambiental (CKA), seja por poluentes – emissões de CO<sub>2</sub> (LUCENA, 2005; BIAGE; ALMEIDA, 2015; ÁVILA; DINIZ, 2015; SOUSA; SOUSA; SANTOS, 2017), desmatamento (TEIXEIRA; BERTELLA; ALMEIDA, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2008; ALMEIDA; SOUZA, 2011) ou até mesmo instrumentos como indicadores de saúde ambiental (AVELINO, 2018) e indicadores de sustentabilidade (FLORES, 2017), que passaram a ser objeto de investigação empírica, gerando resultados distintos.

Portanto, surgiram vários trabalhos que utilizam distintas técnicas econométricas bem como diferentes períodos com o propósito de investigar a presença de relações em formato de “U” invertido e outros formatos, dentre os quais a forma de “N” foi encontrada em alguns estudos, verificado pela forma funcional cúbica, testa a possibilidade de um novo ponto de inflexão na relação crescimento-degradação ambiental. Dessa forma, alguns estudos buscaram analisar a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental para o processo de desmatamento da Amazônia Legal brasileira.

Dentre os quais, Santos *et al.* (2008) analisaram empiricamente a validade da hipótese da Curva Ambiental Kuznets a nível regional, ou seja, qual a relação existente na Amazônia Legal entre crescimento econômico e impacto ambiental, utilizando como proxy de crescimento o valor do PIB *per capita* dos 792 municípios desta região, que foi

logaritmizado, e como *proxy* de degradação ambiental o percentual da área desmatada de cada município, por meio de dados em painel. Os resultados observados das duas *proxies*, apresentaram em média, aumentos significativos no decorrer do anos de 2000 à 2004, o que indica uma piora no que tange a renda, bem como da *proxy* ambiental, concluindo a existência de evidência a favor da CKA, principalmente sob as formas funcionais cúbicas e o modelo que utiliza como medida o índice de Gini e L de Theil, onde a condição de concavidade exige que  $\beta_2 > 0$ , para aceitar a hipótese de Kuznets.

Oliveira *et al.* (2011) investigaram a relação entre crescimento econômico e o indicador de degradação ambiental mais relevante, o desmatamento, expresso pelo incremento anual da área desmatada, sob a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (Environmental Kuznets Curve – EKC) na Amazônia Legal, considerando os municípios dessa região, no período de 2001 a 2006 com dados em painel, os resultados mostram que o formato encontrado para a relação entre desmatamento e crescimento não é o “U” invertido tradicional, mas em “N” invertido, ou seja, o desmatamento é decrescente para baixos níveis de PIB *per capita*, para depois crescer à medida que o PIB *per capita* se eleva, e torna-se decrescente novamente para níveis mais elevados de PIB *per capita*, e assim indica que há uma perspectiva de redução do desmatamento em níveis mais altos de renda, após uma fase de crescimento econômico com degradação ambiental, ressaltando que a maior parte dos municípios encontra-se na fase ascendente dessa relação.

Brito (2012) testou empiricamente a existência da relação entre crescimento e degradação ambiental para os municípios da Amazônia Legal Brasileira, utilizando como *proxies* de tais PIB *per capita* dos municípios e desmatamento respectivamente, utilizando dados em painel, com modelos termos quadrático e cúbicos, os resultados obtidos mostraram a ausência de evidências para a CKA, e que só no modelo quadrático é possível obter uma relação linear entre a renda e o desmatamento.

Babu e Datta (2013) fizeram uso da Curva de Kuznets Ambiental (hipótese CKA) para modelar empiricamente o crescimento econômico e a relação de degradação ambiental, de 22 países em desenvolvimento, dependentes de seus estoques de recursos naturais, inclusive o Brasil, no período de 1980 a 2008 por dados em painel, através

da variável dependente Índice de degradação ambiental e o Produto interno bruto (PIB) como variável explicativa em um modelo, e no outro modelo o Índice de equilíbrio de desenvolvimento (DBI), que combina cálculos de IDH e pegada ecológica, sendo este uma melhor medida pois explica a distribuição de renda e estresse ambiental de forma abrangente, utilizando a forma funcional polinomial cúbica. Os resultados mostram um padrão em forma de N para a maioria dos países considerados, apesar de revelarem que os países não estão no mesmo grau de desenvolvimento.

Almeida (2012) com o objetivo de averiguar a relação entre o desmatamento e o PIB dos municípios, por meio da Curva de Kuznets Ambiental para 62 municípios do Estado do Amazonas, construiu um modelo econométrico com dados em *cross-section* para o ano de 2008, a fim de verificar se existe alguma relação entre a implantação deste programa e a diminuição do desmatamento, os resultados mostraram que não foi evidenciado a existência de uma Curva de Kuznets Ambiental para o estado do Amazonas.

Outro estudo que investigou a relação entre o desmatamento e o crescimento da renda foi Teixeira (2012) que utilizou o instrumental da Curva de Kuznets Ambiental (CKA) para 139 municípios do Mato Grosso, no ano de 2006, na forma de *cross-section*, estimou a CKA para a variável dependente: desmatamento per capita contra as variáveis exploratórias: renda *per capita*, com seu termo quadrático e cúbico, a razão de bovinos pela área destinada à pecuária, a densidade demográfica, a extração de madeira per capita e os efeitos espaciais. Os resultados obtidos sugerem a presença de uma CKA na forma de “U” invertido. Contudo, ao se incorporar um termo cúbico para a renda, o crescimento econômico deixaria de expressar qualquer relação com o desmatamento dos municípios mato-grossenses, ou seja, não se pode aceitar a hipótese da CKA com formato de “N”.

De acordo com Prates (2008), o aumento do nível de renda municipal impacta diretamente no aumento da demanda por bens, inclusive dos segmentos agrícolas e florestais, como a extração madeireira que impacta duplamente sobre os recursos florestais, devido ação extrativa e pode contribuir para abertura e o exercício de atividades não oficiais que provocam aumento do desmatamento. O estudo também verificou que o estado do Pará não apoia a validade da CKA, sugerindo que muito da extração madeireira



do estado é ilegal e não compõe as estimativas oficiais sobre a atividade e tornando-se difícil detectar seu efeito em análises empíricas.

### **3. Aspectos Metodológicos da Pesquisa – Área de abrangência, base de dados (periodicidade), descrições das variáveis e a especificação do modelo.**

Esse trabalho realizou o teste da hipótese da Curva de Kuznets Ambiental – CKA para a Região de Integração do Baixo Amazonas, utilizando para o modelo da CKA, as variáveis foram: renda domiciliar per capita e desmatamento acumulado, respectivos dos microdados do Censo Demográfico nos anos de 2000 e 2010 e a área desmatada foram coletados do PRODES, um sistema de mapeamento por satélites gerenciado pelo INPE (2011).

A partir do desenvolvimento do modelo de regressão polinomial de terceiro grau, considerando o PIB *per capita* (variável a ser explicada) e; o indicador de desmatamento total acumulado (variáveis explicativas) como *proxies* do crescimento econômico e da degradação ambiental, respectivamente, para diferentes períodos, visando à observação da influência dos diversos contextos sobre as variáveis consideradas.

#### **3.1. Modelo de regressão linear polinomial e as formas funcionais da CKA**

Na aplicação da CKA para o desmatamento, segue a especificação tradicional do modelo que inclui a variável renda *per capita* e seu termo quadrático (BARBIER; BURGESS, 2002). Alguns trabalhos incluem ainda a forma cúbica e logaritmizada (GOMES; BRAGA, 2008; SANTOS *et al.*, 2008).

A proposta desenvolvida por Kuznets (1955) e a aquela posteriormente adaptada por Grossman e Krueger (1995) inspirou muitos pesquisadores em estudar as relações associativa entre o nível de crescimento econômico e a degradação ambiental, sob a hipótese da forma de “U invertido” da CKA. Contudo, conforme afirma Ahluwalia (1976) *apud* Tabosa, Filho e Gomide (2016 p. 249) “[...] tais relações são mais bem descritas como ‘fatos estilizados’, que podem ser observados, mas, no entanto, necessitam de formulações teóricas para explicá-las”.

Retomando os principais resultados da revisão, conforme apresentado em seções

anteriores, parece longe de se avistar um consenso, seja no campos das discussões teóricas quanto nas evidências empíricas, sobre a existência de uma padronização da relação entre crescimento e degradação ambiental. Isto, respaldado, sobretudo, no fato dos estudos se basearem em amostras, variáveis e metodologias diferentes, o que levam os resultados encontrados dificilmente convergirem para uma conclusão definitivamente comum (TABOSA; FILHO; GOMIDE, 2016).

Além disso, diversas abordagens econométricas foram empregadas com o fim de se testar a hipótese do “U invertido”, e percebe-se que, de forma geral, não há um modelo teórico estabelecido que sugira um conjunto de regressores que devam ser incluídos na estimação do modelo. Entretanto, averiguou-se entre os estudos que a forma funcional mais usual é o polinômio de 2º grau, muito embora estudos atuais já se utilizem da forma polinomial de 3º grau.

Os modelos polinomiais, representados graficamente por uma curva na forma de “U” – parábola, mostra que a relação entre  $X$  e  $Y$  não é linear. Dito de outra maneira, este tipo de modelo captaria, primeiro, a queda e, depois o aumento nos pontos de dispersão das variáveis relacionadas (GUJARATI, 2006; 2015). Matematicamente, a parábola é representada pela seguinte equação:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 \quad (1)$$

A equação anterior é conhecida como função quadrática ou, de modo mais geral, *polinômio de segundo grau* na variável  $X$  (GUJARATI, 2006; 2015). A versão estocástica, daquele *polinômio de segundo grau*, denominada regressão *polinomial de segundo grau*, pode ser representada da seguinte forma:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{it} + \beta_2 X_{it}^2 + u_t \quad (2)$$

Na equação polinomial, Gujarati (2006, p. 182) “o expoente mais alto de  $X$  representa o grau do polinômio”. Se acrescentássemos, por exemplo,  $X^3$  à função descrita na equação (1) teríamos um polinômio de terceiro grau e,  $X^{3it}$  à função descrita na equação (2) teríamos dessa maneira, uma regressão polinomial de terceiro grau.

Deste modo, a forma geral da regressão polinomial de *k-ésimo* grau, conforme Gujarati (2006, p. 182) pode ser escrita como:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{it} + \beta_2 X_{it}^2 + \dots + \beta_k X_{it}^k + u_t \quad (3)$$

Destaca-se que, nos diversos tipos de regressão polinomial só há uma variável explanatório do lado direito, mas ela aparece elevada a várias potências o que, necessariamente o torna um modelo de regressão múltipla. Nesse contexto, ressalta-se também, que não podemos esquecer que termos como  $X_2, X_3, X_4$  e etc. são todos eles funções não lineares de  $X$  e, portanto rigorosamente não desrespeitam a premissa da ausência da multicolinearidade. Ou seja, já que o polinômio de *k-ésimo* grau é linear nos parâmetros, os  $\beta$  dos modelos de regressão polinomial podem ser estimados pelo método de mínimos quadrados ordinários (MMQO) ou de método da máxima verossimilhança (MMV) (GUJARATI, 2006). A especificação geral do modelo a ser estimado é:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{it} + \beta_2 X_{it}^2 + \beta_3 X_{it}^3 + u_t \quad (4)$$

- $Y$  : representa o indicador ambiental, neste caso o desmatamento;
  - $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  : são os parâmetros do modelos.
  - $X, X^2, X^3$ : representa o PIB per capita nas formas linear, quadrática e cúbica, respectivamente.
- $u$ : é o termo do erro (resíduos) do modelo.

Reescrevendo o modelo sob a forma logaritmizada, denota-se:

$$\ln(Y_{it}) = \beta_0 + \beta_1(\ln X_{it}) + \beta_2(\ln X_{it}^2) + \beta_3(\ln X_{it}^3) + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

- $\ln(Y_{it})$  = logaritmo natural do desmatamento no município  $i$  no tempo  $t$ ;
- $\ln(X_{it}^1); \ln X_{it}^2; \ln X_{it}^3$  = logaritmo natural da renda média domiciliar per capita nas formas linear, quadrática e cúbica, respectivamente, no município  $i$  no tempo  $t$ ;
- $\ln \beta_0 = \alpha$  = intercepto;  $\beta_1; \beta_2; \beta_3$  = coeficiente angulares da variável  $X$ ; e  $\varepsilon_{it}$  = termo erro estocástico

Denotando o modelo estimado para a curva CKA, temos a relação crescimento-

degradação ambiental (desmatamento) pelo seguinte modelo de teste:

$$\ln Deslocamento = \beta_1 \ln Q Rendapc_{it} + \beta_2 \ln Q Rendapc_{it}^2 + \beta_3 \ln Q Rendapc_{it}^3 + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

Onde, o desmatamento é a variável de interesse,  $Y$ . Os  $X$ 's é a renda per capita (nas formas linear, quadrática e cúbica) e;  $\varepsilon$  é o termo de erro aleatório, e os  $\beta_i$  (vetor  $k \times 1$ , com  $i = 1, 2, 3$ ) são os parâmetros do modelo teórico da CKA, respectivamente;

Onde, o desmatamento é a variável de interesse,  $Y$ . Os  $X$ 's é a renda per capita (nas formas linear, quadrática e cúbica) e;  $\varepsilon$  é o termo de erro aleatório, e os (vetor  $k \times 1$ , com  $i = 1, 2, 3$ ) são os parâmetros do modelo teórico da CKA, respectivamente;

No **Quadro 1** está a descrição das variáveis e suas *proxies* utilizados na estimação dos modelos.

**Quadro 1 – Descrição das Variáveis (*proxies*) utilizados no Modelo CKA**

	Variável ( <i>proxy</i> )	Descrição	Unidade	Sinal esperado do Coeficiente	Fonte dos Dados
<b>Variável Dependente (Y - CKA)</b>	Degradação Ambiental (Desmatamento)	Desmatamento Acumulado Bruto Anual	Km <sup>2</sup>	-	Prodes INPE
<b>Variáveis Explicativas (X's - CKA)</b>	Crescimento (PIB <sub>pc</sub> )	PIB <i>per capita</i> Municipal	R\$ de 2000/2010	Positivo	Censo IBGE
	Crescimento (PIB <sub>pc</sub> <sup>2</sup> )	PIB <i>per capita</i> Municipal ao quadrado	R\$ de 2000/2010 ao quadrado	Negativo	Calculada a partir de X
	Crescimento (PIB <sub>pc</sub> <sup>3</sup> )	PIB <i>per capita</i> Municipal ao cubo	R\$ de 2000/2010 ao quadrado	Positivo	Calculada a partir de X

Fonte: Oliveira *et al.* (2011) – Adaptado pelos autores.

Baseada na função estimadas, ressalta-se que os coeficientes  $\beta_i$  da equação acima determina a relação entre as variáveis – *proxies*, o crescimento econômico – renda *per capita*, e degradação ambiental – desmatamento, a qual pode apresentar vários possíveis resultados, dependendo do desempenho de cada economia (DE BRUYN *et al.*, 1998). Tais resultados estão descritos no quadro a seguir:

Alguns autores acreditam que o modelo baseado na CKA não se sustenta no longo prazo, pois o formato de “U invertido” seria apenas um estágio inicial da curva, pois, após certo nível de renda, haveria um novo ponto de inflexão que tornaria a trajetória ascendente novamente, tornando a CKA com um formato similar ao de um “N”, sugerindo que a degradação ambiental voltaria a aumentar em altos níveis de crescimento quando os

**Quadro 2: Resultados da Função Estimada na Regressão da CKA**

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

Fonte: CARVALHO (2008, p. 58); CIRIACI; PALMA (2009, p. 11); DINDA (2004, p. 440-441); LUCENA (2005, p. 49) – Adaptado pelos Autores.

países já estivessem em estado de desenvolvimento econômico (DE BRUYN, 1997; DE BRUYN *et al.*, 1998).

### 3.1.1. As formas funcionais e os termo quadrático e cúbico do crescimento: Empirismo do ‘u’ invertido, a forma de ‘n’ e os possíveis resultados

De forma geral, na aplicação da CKA, para o desmatamento, a especificação tradicional do modelo inclui a variável renda per capita e seu termo quadrático (BARBIER; BURGESS, 2002; SALVATO *et al.*, 2006; CUNHA; GADELHA, 2017), alguns trabalhos também incluíram a forma cúbica para analisar a CKA (ARRAES; DINIZ; DINIZ, 2006; BRITO; MELO; SAMPAIO, 2012) e logaritmizada (GOMES; BRAGA, 2008; SANTOS *et*

al., 2008). A partir de uma função cúbica Tribble (1996) descreve um formato da curva de Kuznets descrito como “S”.

A diferenciação nas formas funcionais do PIB *per capita* se dá de acordo com o intuito do tipo de curva – quadrática ou cúbica, a ser testada no modelo.

O PIB *per capita* ao quadrado é incluído para testar a hipótese da EKC de que o desmatamento cresce a taxas decrescentes para níveis mais baixos de renda, e a partir de determinado ponto, a elevação do nível de renda reduz o desmatamento. O termo cúbico do PIB *per capita* é incluído para testar se essa relação segue uma forma de “N”, ou seja, após a redução, o desmatamento volta a aumentar com o nível de renda (OLIVEIRA *et al.*, 2011, p. 718-719).

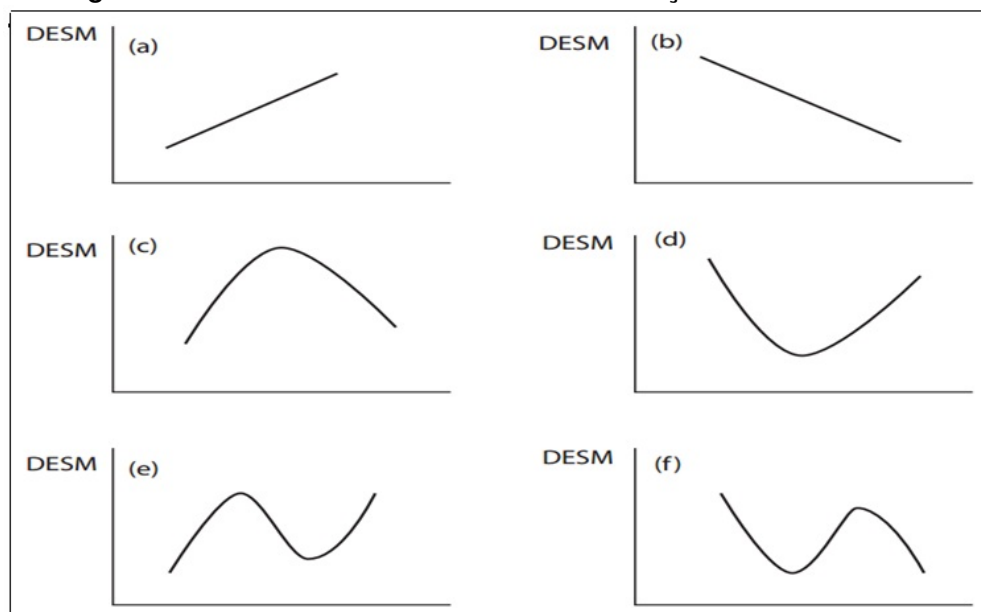
Dentre os trabalhos empíricos que abordaram, sobretudo a CKA, utilizando os mais variados métodos econométrico – regressão de séries temporais, com dados em corte cruzado, com dados em painel, e, em menor escala, modelos econométrico-espaciais, os resultados, quanto as evidências indicadas pela CKA não foram unânimes.

Logo, preconizados pela hipótese do “U invertido” da CKA, e com intenção de investigar a existência da relação entre degradação ambiental e crescimento econômico considerando que na Amazônia Legal, o principal indicador de degradação ambiental mais relevante é o desmatamento, tal hipótese foi verificada por alguns autores e rejeitada por outros, dependendo da escala geográfica, da região estudada e da abrangência temporal (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Dependendo dos sinais dos coeficientes estimados na equação da regressão, a função estimada assume formatos distintos, ilustrando tipos diferentes das curvas que denotam a relação (DE BRUYN *et al.*, 1998) entre crescimento econômico – renda per capita, e degradação ambiental – desmatamento. A Figura abaixo ilustra os diferentes formatos das funções para aquela relação:

As figuras ilustram uma: *a)* e *b)* relação linear; *(c)* e *(d)* relação quadrática e; *e)* e *f)* relação polinomial cúbica, entre as variáveis – *proxies*, o crescimento econômico – renda per capita, e degradação ambiental – desmatamento. Cabe ressaltar que, baseada na relação anterior, a revisão bibliográfica – estudos de casos empíricos, identificou caso em que os resultados sugeriram –faltas de evidências – das formas apresentadas na(s) figura(s) acima (BRITO; MELO; SAMPAIO, 2012).

**Figura 1. Formato das Curvas Baseadas na Função Estimada da CKA**



Fonte: CARVALHO (2008, p. 58); LUCENA (2005, p. 50) – Adaptado por OLIVEIRA (2011, p. 717).

#### 4. Caracterização, Evolução, Correlação, Resultados e Discussões do Modelo

O modelo referente a CKA, relacionando o crescimento econômico e degradação ambiental é representado pela seguinte equação estimada:

$$inDeslocamento = -1,54286inRendapc_{it} + 1,10328inRendapc_{it}^2 - (-0,106401inRendapc_{it}^3) + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

Os resultados da estimação do modelo de regressão que relaciona crescimento econômico com desmatamento estão dispostos na tabela abaixo:

Para este modelo todos os coeficientes dos termos ligados à renda apresentaram o sinal esperado para uma possível CKA na forma de “N” invertido, porém, nenhum desses coeficientes estimados mostrou-se estatisticamente significativo (ao nível de 1%, 5%, 10%), ou seja, de forma geral a renda não estaria atrelada ao processo de desmatamento na Região de Integração do Baixo Amazonas, sob as hipóteses de Kuznets, das curvas nos formatos ‘N’ e ‘U-invertido’. Resultados semelhantes foram observados no trabalho de Teixeira, Bertella e Almeida (2012) que analisaram o estado do Mato Grosso.

Porém, ressalta-se que, a relação entre a degradação ambiental e o PIB, apesar

**Tabela 1. Resultados do MMQO e Teste de significância das variáveis do Modelo**

<b>VAR. EXPLANATÓRIAS</b>	<b><i>I_Rendapercapita</i></b>	<b><i>I_Rendapercapita2</i></b>	<b><i>I_Rendapercapita3</i></b>
Coeficientes	-1,54286	1,10328	- 0,106401
(Erro Padrão)	(4,97765)	(1,82746)	0,166954
T- valor	- 0,3100	0,6037	-0,637
p-valor	0,7596	0,5525	0,5308

Fonte: Resultados do Gretl com base nos dados dos Censos Censitários.

de insignificante para o modelo cúbico, esta tem a forma linear no modelo quadrático, resultado semelhante ao encontrado por Brito (2012). Muito embora, a correlação entre as variáveis PIB (linear) e degradação ambiental– desmatamento foi da ordem de 0,456, considerada moderada para a Região de Integração do Baixo Amazonas.

Adverte-se que para além do teste da hipótese de Grossman e Krueger (1991), diversos estudos incorporam em seus modelos outras variáveis, além da renda, como possíveis determinantes do desmatamento, sendo os principais representantes, sobretudo na Amazônia Legal, suas unidades federativas e municípios, a expansão demográfica e as atividades econômicas da agricultura e pecuária (GOMES; BRAGA, 2008; SANTOS et al., 2008).

## **5. Considerações Finais**

O objetivo deste estudo foi analisar a possível relação do crescimento econômico e degradação ambiental através da investigação de evidências da hipóteses da Curva de Kuznets Ambiental. A grande contribuição deste trabalho para a literatura foi testar a validade da CKA em recorte municipal.

Dessa forma foi construído um modelo econométrico com dados em painel curto com o objetivo de investigar a relação entre tais variáveis, utilizando como proxies o PIB dos municípios e o desmatamento nos municípios da RIBA (exceto Mojuí dos Campos) com microdados dos Censo Demográficos (IBGE) além da quantidade de área desmatada (em ha), monitorado pelo Sistema Prodes (INPE), durante o período de 2000 e 2010, de modo a contribuir para a discussão ambiental nessa região, usando como



*proxies* de degradação ambiental e crescimento econômico: o desmatamento (variável dependente), e a renda *per capita* (variável independente), respectivamente.

A relação entre crescimento econômico e meio ambiente observada na Região de Integração do Baixo Amazonas foi analisada, também, por meio da validação das hipóteses do “U invertido” proposta da Curva de Kuznets Ambiental, considerando os anos de 2000 à 2010. Os resultados obtidos mostraram que não há evidências que corroboram com as hipóteses teórica da CKA, pois, apesar de apresentarem na equação de regressão estimada os sinais esperados para uma CKA com a forma de “N” invertido, os resultados dos coeficiente da regressão não foram estatisticamente significativo, ou seja, a renda, não estaria atrelada ao processo de desmatamento na Região de Integração do Baixo Amazonas no período, considerando unicamente a dinâmica proposta pela CKA. Resultados semelhantes podem ser observados nos trabalhos de Teixeira, Bertella e Almeida (2012) que analisaram o estado do Mato Grosso.

## Referências

ALMEIDA, N. A. S. de; SOUSA, O. T. de. Curva de Kuznets Ambiental e o Programa Bolsa Floresta no estado do Amazonas: Uma aplicação da Econometria Espacial. In: ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL, 14., 2011, Florianópolis, SC. Anais... Florianópolis: ANPEC-SUL, 2011.

ALMEIDA, N. A. S. de. Desenvolvimento Sustentável na Amazônia: um estudo do padrão espacial do desmatamento e do programa bolsa floresta. 2012. 60f. Dissertação (mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Economia do Desenvolvimento, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012. Disponível em:<<http://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/3941/1/445273.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

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

AVELINO, B. A.. Saúde ambiental e crescimento econômico nos municípios brasileiros: teste das hipóteses da curva de Kuznets Ambiental e da transição epidemiológica. 2018. 75 f. Dissertação (mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2018. Disponível em:<<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21479>>. Acesso em: 9 jul. 2018.

ÁVILA, E. S. de; DINIZ, E. M. Evidências sobre curva ambiental de Kuznets e convergência das emissões. Estudos Econômicos, São Paulo, v. 45, n.1, p. 97-126, jan./mar. 2015. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/0101-4161201545197ese>

BABU, S. S.; DATTA, S. K. The relevance of environmental Kuznets curve (EKC) in a fra-

mework of broad-based environmental degradation and modified measure of growth – a pooled data analysis. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, v. 20, n. 4, p. 309-316, 2013.

BARBIER, E. B.; BURGESS, J. C. The Economics of Tropical Deforestation. *Journal of Economic Surveys*, v. 15, n. 3, p. 413-432. 2002.

BIAGE, M.; ALMEIDA, H. J. F. Desenvolvimento e impacto ambiental: uma análise da Curva Ambiental de Kuznets. *Pesquisa e Planejamento econômico*, Rio de Janeiro, v. 45, n. 3, p. 505-556, dez. 2015.

BRITO, R. A. de. Curva de Kuznets ambiental: uma revisão teórica e aplicação para a Amazônia legal. Recife, 2012. 51p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCSA. Economia, 2012.

BRITO, R. A. de; MELO, A. S. S. de A.; SAMPAIO, Y. da S. B. Curva De Kuznets Ambiental: falta de evidências para o desmatamento da Amazônia Legal Brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 40., 2012, Porto de Galinhas, PE. Anais... Pernambuco: ANPEC, 2012.

CARVALHO, T. S. A Hipótese da Curva de Kuznets Ambiental Global e o Protocolo de Quioto. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Faculdade de Economia e Administração, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2008.

CECHIN, A. A Natureza Como Limite da Economia: A Contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen. São Paulo: Editora Senac São Paulo/Edusp, 2010.

CIRIACI, D.; PALMA, D. Geography, environmental efficiency and economic growth: how to uncover localized externalities through spatial econometric modeling. *SEA, III World Conference*. Barcelona, 2009. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/237255591\\_Geography\\_environmental\\_efficiency\\_and\\_economic\\_growth\\_how\\_to\\_uncover\\_localised\\_externalities\\_through\\_spatial\\_econometric\\_modelling](https://www.researchgate.net/publication/237255591_Geography_environmental_efficiency_and_economic_growth_how_to_uncover_localised_externalities_through_spatial_econometric_modelling)>. Acesso em: 14 ago. 2018.

DE BRUYN, S. M. Explaining the Environmental Kuznets Curve: Structural Change and International Agreements in Reducing Sulphur Emissions. *Environment and Development Economics*, v. 2, n. 4, p. 485-503, 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.

DINDA, S. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, v. 49, p. 431-455, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800904001570>>. Acesso em: 17 ago. 2018.

FLORES, R. J. G. Teste da hipótese da curva de Kuznets ambiental para os países do BRICS. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Economia. Minas Gerais, 2017.

GOMES, S. C.; BRAGA, M. J. Desenvolvimento Econômico e Desmatamento na Amazônia Legal: uma análise econométrica. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Econo-

mia e Sociologia e Rural, 46., 2008, Rio Branco. Anais... 2008.

GROSSMAN, G.; KRUEGER, A. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. National Bureau of Economic Research - NBER, Working Paper n. 3914, Cambridge, MA, EUA, 1991. Disponível em:<<http://www.nber.org/papers/w3914.pdf>>. Acesso em: 09 jul 2018.

———, Economic Growth and the Environment. The Quarterly Journal of Economics, v. 110, n. 2, 1995, p. 353-377. Disponível em:<<http://www.nber.org/papers/w3914.pdf>>. Acesso em: 09 jul.2018.

GUJARATI, D. N. Econometria Básica. 4ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

GUJARATI, D. N; DAWN, C. P. Econometria Básica. AMGH Editora Ltda, 2011.

LOPES, G. B. Um estudo sobre a Curva Ambiental de Kuznets e a convergência da Pegada Ecológica. Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto/USP.136 p, 2013.

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. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

KUZNETS, S. Economic growth and income inequality. American Economic Review, Pittsburgh, v. 45, n. 1, p. 1-28, 1955. Disponível em: <[https://www.jstor.org/stable/1811581?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/1811581?seq=1#page_scan_tab_contents)>. Acesso em: 09 jul. 2018.

MORAES, O. J. de M. Economia ambiental: instrumentos econômicos para o desenvolvimento sustentável. São Paulo: Centauro, 2009.

OLIVEIRA, R. C *et al.* Desmatamento e Crescimento Econômico no Brasil: uma análise da Curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal. Revista de Economia e Sociologia Rural (RESR). Piracicaba – SP, v. 49, n.3, p. 709-740, jul/set, 2011.

PRATES, R. C. O desmatamento desigual na Amazônia brasileira: sua evolução, suas causas e conseqüências sobre o bem-estar. 2008, 135 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-06082008-162358/pt-br.php>>. Acesso em: 18 set. 2018.

SACHS, I. Desenvolvimento: Includente, Sustentável, Sustentado. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

SALVATO, M. A.; ALVARENGA, P. S.; FRANÇA, C. S.; JUNIOR, A. F. de A. Crescimento e desigualdade: evidências da Curva de Kuznets para os municípios de Minas Gerais – 1991/2000. Working Paper, n. 33 Ibmec, Minas Gerais.

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, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 304–314, 2014.

SANTOS, R. B. N et al. Estimativa da Curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal. In: CONGRESSO DA SOBER, 16., 2008, Rio Branco, AC. Anais... Rio Branco:

2008.

SANTOS, M. P.; CUNHA, M. S.; GADELHA, S. R. B.; Distribuição de renda e desenvolvimento econômico: análise da hipótese de Kuznets para os estados brasileiros no período 1992-2010. Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 251-271, 2017.

SOUSA, L. C. R.; SOUSA, D. S. P.; SANTOS, R. B. Nascimento. Curva ambiental de Kuznets: uma análise macroeconômica entre crescimento econômico e impacto ambiental de 2005 a 2010. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 227-246, out. /mar. 2016. Disponível em: <[http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao\\_ambiental/article/view/3329](http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/3329)>. Acesso em: 9 jul 2018.

TABOSA, F. J. S.; FILHO, J. A.; GOMIDE, U. S.; Reexaminando a Curva de Kuznets: evidências para o Brasil no período de 1981-2009. Redes (St. Cruz Sul, Online), Santa Cruz do Sul, v. 21, n. 2, p. 245 - 266, mai./ago. 2016.

TEIXEIRA, R. F. A. P.; BERTELLA, M. A.; ALMEIDA, L. T. de. Curva de Kuznets Ambiental para o Estado de Mato Grosso. Revista Análise Econômica, Porto Alegre, v. 30, n. 57, 2012. DOI: <https://doi.org/10.22456/2176-5456.17405>.

TRIBBLE, R. The Kuznets–Lewis Process within the Context of Race and Class in the US Economy. International Advances in Economic Research, v. 2, p. 151-164. 1996.