

CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL PARA EMISSÕES DE CO₂: ESTIMATIVAS EM UMA AMOSTRA DE PAÍSES DA OCDE – 1971-2005

André Luiz Campos de Andrade, Ministério do Planejamento, alca_rj2002@yahoo.com.br

Jaqueson Kingeski Galimberti, University of Manchester, jakaga2002@yahoo.com.br

Resumo

O atual debate sobre mudanças climáticas envolve diretamente a maneira como sistema econômico atual relaciona-se com o meio ambiente que o cerca. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), após o início da revolução industrial a Terra teria sofrido um aumento de sua temperatura média global equivalente ao ocorrido entre as duas últimas era glaciares. A variável mais utilizada para medir o impacto das atividades humanas sobre o clima é a evolução das emissões de gases do efeito estufa, onde o principal desses gases é o dióxido de carbono (CO₂). Dessa forma, o presente artigo objetiva verificar a existência de uma relação entre o estágio de desenvolvimento em uma amostra de países da OCDE e seus respectivos níveis de emissão de CO₂, no período de 1971 a 2005. Para isso, busca identificar a fase no processo de desenvolvimento em que cada país se encontra, dentro do arcabouço da curva de Kuznets ambiental, e propõe uma nova forma funcional para a relação, na qual a curva assume uma forma de “sino”. Os resultados permitiram identificar a fase em que cada país da amostra encontra-se, bem como permite classificá-los de acordo com seu desenvolvimento ambiental. A evidência revela que apenas 28% dos países da amostra encontram-se na fase descendente da evolução ambiental, o que permite concluir que os efeitos do processo de aprimoramento tecnológico ambiental ainda não se generalizaram para a maior parte das economias da amostra. Apesar disso, os resultados estiveram de acordo com o preconizado pela curva de Kuznets ambiental formulada, sendo que apenas um país apresentou evolução ambiental contraditória a esta hipótese.

Palavras-chave: Emissões de CO₂, curva de Kuznets ambiental, crescimento econômico

1. Introdução

A discussão sobre mudanças climáticas realizada nas últimas décadas vem mostrando cada vez mais a importância da atividade humana neste processo. Fundamentado em dados e análises que insinuam a decisiva participação do homem na questão, o Painel Internacional sobre Mudanças Climáticas (IPCC), principal organismo multilateral da discussão sobre as mudanças do clima, aponta as emissões de gases do efeito estufa (GEE) oriundas da queima de combustíveis fósseis em processos produtivos e de consumo como o principal vetor causador do aceleramento das alterações climáticas verificadas nos últimos cento e cinquenta anos.

Devido à extrema dependência que o atual sistema econômico mundial possui em relação à energia, e mais especificamente, em relação à energia de origem fóssil, o assunto torna-se extremamente complexo e polêmico, na medida em que qualquer mudança

significativa no atual padrão de consumo energético mundial trará repercussões importantes na economia mundial (Campos de Andrade, 2010).

Este debate envolvendo o sistema econômico mundial e as emissões de GEE vem adquirindo relevância nas discussões sobre o crescimento econômico. Afinal, a economia deveria respeitar os limites ambientais e ecológicos dados pelo planeta e reduzir suas taxas de crescimento econômico de modo a conseguir aliar as necessidades da sociedade às restrições impostas pelo meio ambiente ou deveria buscar outros meios, que não a redução do crescimento econômico, para viabilizar um desenvolvimento “sustentável”?

Para uma parte da academia, classificada como economistas ambientais¹, a segunda opção seria o caminho a ser tomado. Ao invés de questionar os limites ao crescimento econômico da maneira que o conhecemos atualmente, deveríamos buscar alternativas, ancoradas principalmente nas inovações tecnológicas, que nos permitam superar as barreiras físicas do planeta.

Uma dos pontos mais disseminados na literatura da economia ambiental, e que tenta justificar a manutenção do atual *modus operandi* do sistema econômico mundial, é a hipótese da existência de uma relação em formato de “U” invertido entre renda *per capita* e poluição.

Esta relação, denominada Curva de Kuznets Ambiental (CKA), vem sendo objeto de estudo de um vasto grupo de especialistas e organismos internacionais. A maioria dos resultados obtidos sugere que o suposto *trade-off* entre crescimento econômico e poluição é mais uma questão do estágio econômico no qual determinada economia se encontra do que uma impossibilidade absoluta de “crescimento limpo”.

Neste sentido, este trabalho tem o objetivo de verificar a existência de uma relação entre o estágio da economia em uma amostra de países da OCDE² e seus respectivos níveis de emissão de CO₂, no período de 1971 a 2005. Para isso, busca identificar a fase econômica na qual cada país se encontra, dentro do arcabouço da curva de Kuznets ambiental.

Para cumprir este objetivo, o texto está organizado, além desta introdução, como segue: a seção 2 apresenta aspectos teóricos da relação entre desenvolvimento e poluição; na seção 3 é formulado o modelo econométrico para verificação da relação hipotética; a seção 4 trata das

¹ Existem duas correntes principais no estudo da economia ambiental. A primeira, de orientação neoclássica, é denominada de Economia Ambiental e advoga que os recursos naturais são perfeitamente substituíveis por outros fatores de produção, que seria fundamentado no avanço tecnológico. A segunda corrente, Economia Ecológica, entende que essa substituição entre os fatores de produção possui limites físicos e naturais. Sendo assim, a Economia deveria buscar uma maior compreensão e aceitação em relação aos limites ecossistêmicos do planeta.

² OCDE: Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

estimativas econométricas e da análise dos resultados; por fim, a seção 5 apresenta as conclusões e considerações finais.

2. Curva de Kuznets Ambiental

O modelo formulado inicialmente por Simon Kuznets (1955) tinha como objetivo relacionar crescimento econômico com distribuição, que, por meio de observações realizadas para Estados Unidos, Grã-Bretanha e Alemanha, indicava como explicação mais apropriada o diferencial de renda de uma economia agrícola para uma industrializada. A idéia inicial consiste no fato de que a concentração de renda verificada por ocasião da transformação de uma economia não se sustentaria com o tempo, levando a uma distribuição de riqueza para as gerações futuras.

Em trabalho seminal, Grossman e Krueger (1991), buscando evidenciar a relação entre emissão de poluentes (material particulado em suspensão (SPM) e dióxido sulfúrico (SO_2)) e o PIB *per capita* para os Estados Unidos, encontraram uma curva em formato de “U” invertido, que a partir de então foi denominada Curva de Kuznets Ambiental (CKA). A Figura 1 ilustra esta relação.

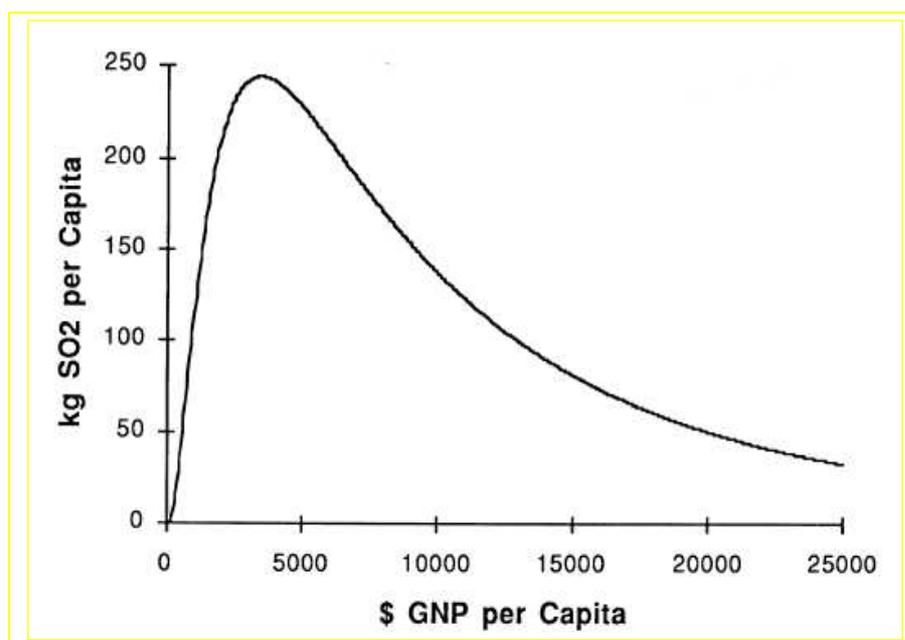


Figura 1: Curva de Kuznets Ambiental para SO_2 .

Fonte: Panayotou (1993).

A trajetória ascendente representaria o estágio de mudança de uma economia agrícola para uma estrutura industrial, num contexto de baixa ou nenhuma regulamentação ambiental que associado às prioridades estatais no que se refere ao aumento da renda colocaria a questão ambiental num plano secundário frente ao crescimento econômico.

Com o incremento da renda e, sobretudo, com o crescente custo marginal da poluição oriundo das externalidades negativas decorrentes do processo de industrialização da economia aliado a uma maior conscientização ecológica da sociedade e a crescente escassez de recursos naturais, o país se encontraria obrigado a buscar um novo formato de desenvolvimento, com tecnologias mais limpas que, juntamente com o incremento da importância da economia de serviços, levaria a economia ao trecho descendente da curva.

A aceitação do segundo trecho (declinante) da curva não é tão consensual quanto o primeiro, uma vez que, como sugerem Suri e Chapman (1998), a declividade negativa poderia estar ocorrendo não apenas por uma vontade sócio-estatal, mas pela transferência de métodos produtivos intensivos em poluição dos países industrializados para os países em desenvolvimento (exportação de poluição).

A partir do seminal estudo muitos outros vêm sendo realizados, na tentativa de associar a evolução da renda *per capita* com os índices de poluição. Variáveis como emissões automotivas, emissão de gases do efeito estufa e desmatamento são utilizadas na tentativa de se buscar evidências empíricas que comprovem a CKA. Levantamentos das diversas análises sobre a relação podem ser encontrados em Stern(1998), Stiglitz (1999), Dinda (2004) e He (2007).

A maioria dos estudos chega às mesmas conclusões quanto à existência da CKA, como, por exemplo, as investigações de Cropper e Griffiths (1994) e de Hilton e Levinson (1998). A falta de consenso, no entanto, parece persistir nas explicações quanto ao trecho descendente da curva, isto é, como e porque se verifica uma melhora nos indicadores ambientais mantendo-se o incremento da renda *per capita*.

Os resultados apresentados até o momento sugerem que, na verdade, existe uma conjugação de fatores, tais como intervenção governamental por meio da tributação da poluição, aumento do rigor da legislação ambiental, conscientização da sociedade acerca dos impactos da atividade humana sobre o meio ambiente e o aumento do fluxo de investimentos estrangeiros em países menos desenvolvidos, o que reforçaria a tese de exportação da poluição, sendo que este último ainda carece de uma série histórica razoável para estimativas consistentes haja vista o ainda recente processo de globalização. Nesse sentido a evolução da política ambiental na direção de uma regulamentação mais rigorosa e atenta às relações

dinâmicas da produção com o meio ambiente seria benéfica, uma vez que estimularia as empresas a utilizarem seus insumos produtivos de maneira ótima, buscando permanentemente a evolução tecnológica.

No que diz respeito à fundamentação teórica para a relação entre poluição e desenvolvimento preconizada pela CKA, pode-se dividir as propostas em duas classes. A primeira considera a poluição como um subproduto da atividade produtiva, sendo que a evolução da relação poluição-produto depende da evolução da intensidade poluidora das tecnologias de produção. Já a segunda distingue a poluição como uma atividade econômica adicional, e a relação poluição-produto se associa à evolução das tecnologias de abatimento. De acordo com Egli (2005), uma dos problemas da que envolve a CKA reside na implicância de que no longo prazo as tecnologias de abatimento levariam a uma situação de poluição negativa.

Não obstante as controvérsias acima referidas, Smulders *et al* (2005) obtiveram sucesso na formulação de um modelo de quatro estágios (*innovation and pollution in four stages*), que explica a passagem de uma economia do modo agrário “limpo” para uma economia de serviços “limpa” passando por uma fase industrial poluidora, por meio de um modelo de crescimento endógeno cuja adoção de tecnologias eficientes, do ponto de vista energético, seria fundamental para a explicação da redução dos níveis de poluição.

Na primeira etapa, chamada de fase verde (*green phase*) a economia é composta por empresas homogêneas do ponto de vista da não degradação do meio ambiente. A segunda fase (*confidence phase*) é marcada pela adoção de um novo modelo de produção intensivo em poluição, mas ainda não disseminado por toda estrutura econômica. Nessa etapa os prováveis efeitos oriundos da degradação ambiental ainda são desconhecidos pela sociedade. Com o passar do tempo a economia entraria num terceiro estágio, fase do alarme, onde os danos ambientais começariam a ser percebidos e sentidos pela sociedade, levando o Estado a intervir na atividade econômica por meio da tributação da poluição e por um marco regulatório ambiental mais rigoroso, fatos que levariam as firmas a buscarem a adoção de tecnologias mais limpas em suas plantas industriais, o que marcaria o ingresso da economia em sua quarta fase (*cleaning-up phase*). Com o ingresso nessa derradeira fase a economia ingressaria numa trajetória de crescimento sustentável, aliando crescimento econômico com preservação ambiental, confirmando as condições iniciais da Curva de Kuznetz Ambiental.

Assim, partindo-se da formulação de Smulders *et al* (2005), bem como tendo-se em conta a implausibilidade de uma situação em que a poluição torne-se negativa (EGLI, 2005), pode-se propor uma nova forma funcional para a CKA que subdivide-se em quatro fases, e no

longo prazo tende a estabilizar-se em um nível de poluição-produto sustentável. A Figura 2 ilustra esta CKA que assume a forma de um “sino”, podendo ser matematicamente representada pela primeira derivada de uma função logística.

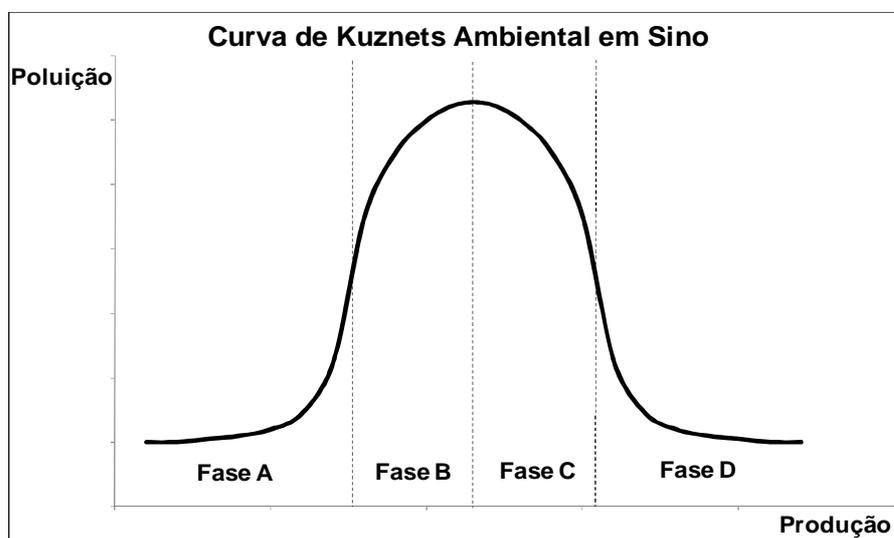


Figura 2: Curva de Kuznets Ambiental em Sino.
Fonte: elaboração própria.

Cabe ressaltar algumas propriedades da formulação proposta no que diz respeito às diferenças entre as quatro fases. Primeiramente, observa-se que nas fases A e B, a relação entre a produção e a poluição é positiva, ou seja, incrementos na produção são acompanhados por incrementos na poluição. Já nas fases C e D, a relação passa a ser negativa. Assim, a evolução da fase A-B para a fase C-D é identificada pela mudança de sinal na relação produção-poluição.

Em segundo lugar, observa-se que a evolução das fases A e C para as fases B e D, respectivamente, está associada a alterações na forma como a relação produção-poluição evolui. Na fase A, além desta relação ser positiva, ela é crescente. A partir do momento em que a evolução da relação passa de crescente para decrescente, a economia entra na fase B, permanecendo na mesma até que o ponto de poluição máxima seja atingido, revertendo o processo evolutivo da poluição para uma relação negativa com a produção. Nesta etapa (fase C), a relação produção-poluição apesar de passar a ser negativa, continua a evoluir no sentido decrescente até atingir o ponto em que passa a ser novamente crescente, iniciando a fase D. Já nesta fase final, apesar de a relação assumir uma forma recíproca de forma que tenda a uma assíntota, que pode ser tido como a relação produção-poluição sustentável.

Fica evidente a proximidade entre as quatro fases esboçadas na Figura 2 e o modelo de quatro estágios de evolução da poluição em relação às inovações, formulado por Smulders *et al* (2005). E é neste arcabouço que a seção seguinte propõe uma forma de identificar

econometricamente em qual estágio se encontra cada economia de uma amostra de países da OCDE, no que diz respeito a emissões de CO₂.

3. Formulação do Modelo Econométrico

Um dos pontos mais criticados nos estudos empíricos sobre a CKA diz respeito à metodologia econométrica adotada. Os questionamentos vão desde a forma funcional, até a metodologia utilizada para as estimativas (WAGNER, 2008).

Quanto à forma funcional, a relação entre produção e poluição tem sido tradicionalmente proposta nas formas quadrática e cúbica. Porém, enquanto a primeira forma funcional tem perdido espaço para a segunda, Stagl (1999) cita alguns estudos que tem encontrado evidências de uma curva em forma de “N”, ao invés da forma em “U-invertido” preconizada pela CKA. Assim, as evidências quanto à existência da CKA têm-se demonstrado sensíveis a forma funcional adotada e ao período analisado.

Já quanto à metodologia utilizada nas estimativas, Wagner (2008) salienta duas problemáticas. Primeiro, o uso de transformações não-lineares de regressores integrados. Segundo, no contexto de painel de dados, a existência de dependência *cross-sectional* nos dados. Segundo o autor, estudos que negligenciam tais questões para a relação em questão não podem ser sustentados como evidência significativa para a existência da CKA.

Além destas questões, outra possível explicação para a divergência nas evidências empíricas da CKA pode estar associada ao tamanho temporal das amostras de dados utilizadas. Nesse sentido, assim como a curva de Kuznets da distribuição de renda é visível a partir da análise de dados seculares, pode-se argumentar que para inferências quanto à curva de Kuznets ambiental seriam necessários dados seculares da poluição. No entanto, considerando que a disponibilidade de dados confiáveis é restrita à aproximadamente meio século, a análise de tais dados pode ser tida como representativa de apenas algumas fases da CKA.

Neste sentido, esta seção tem o objetivo de formular um modelo capaz de identificar a fase em que cada país encontra-se, ao invés de identificar a CKA como um todo. Para isso, parte do pressuposto de que a curva pode ser dividida em aproximações lineares, sendo que cada fase pode ser representada por uma equação linear. Logo, economias que se encontram nas fases A ou B da Figura 2, teriam sua relação entre poluição e produção representada por

uma equação linear em que o coeficiente angular é positivo, enquanto que as economias que se encontram nas fases C ou D apresentariam tal coeficiente negativo.

Além disso, pretende-se realizar uma análise de quebra estrutural na relação entre produção e poluição, para com isso identificar não somente em qual lado da curva cada economia se encontra, mas também se a economia apresentou a evolução prevista pela CKA da Figura 2. Assim, o modelo econométrico a ser estimado é apresentado na equação (3.1) a seguir.

$$P_{it}^{PC} = \hat{\alpha}_{1i} \cdot DUM_{it1} + \hat{\beta}_{1i} \cdot DUM_{it1} \cdot Y_{it}^{PC} + \hat{\alpha}_{2i} \cdot DUM_{it2} + \hat{\beta}_{2i} \cdot DUM_{it2} \cdot Y_{it}^{PC} + \hat{u}_{it} \quad (3.1)$$

onde: P_{it}^{PC} : poluição per capita no país i, no ano t;

Y_{it}^{PC} : produto per capita no país i, no ano t;

DUM_{it1} : variável *dummy* para o país i, assumindo o valor 1 do ano inicial até o ano de quebra estrutural, e 0 do ano seguinte à quebra em diante;

DUM_{it2} : variável *dummy* para o país i, assumindo o valor 0 do ano inicial até o ano de quebra estrutural, e 1 do ano seguinte à quebra em diante;

$\hat{\alpha}_{1i}$, $\hat{\beta}_{1i}$: coeficientes a serem estimados para o país i, referentes ao primeiro período;

$\hat{\alpha}_{2i}$, $\hat{\beta}_{2i}$: coeficientes a serem estimados para o país i, referentes ao segundo período;

Cabe ressaltar que a equação (3.1) será estimada de forma independente para cada país da amostra. Além disso, a escolha do ano da quebra estrutural também será feita individualmente para cada país. Para tal, será utilizado o procedimento de estimação recursiva disponível no software econométrico EViews 5.0, mais especificamente, o teste de *One-Step Forecast*. Este procedimento permite a identificação de possíveis pontos de quebra em estimativas pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Após a identificação dos possíveis pontos de quebra para cada país, será realizado ainda o teste de quebra estrutural de Chow, conforme Gujarati (2000), de forma a identificar se a quebra é estatisticamente significativa.

4. Estimativa do Modelo

Esta seção tem o objetivo de apresentar os aspectos metodológicos para a estimativa do modelo econométrico formulado na seção anterior. Para isso, primeiramente apresenta as fontes dos dados para em seguida apresentar as estimativas, bem como os testes econométricos para validação estatística dos resultados.

4.1. Obtenção dos Dados

Os dados referem-se a uma amostra de países da OCDE no período de 1971 a 2005. Foram selecionados 25 países dos 30 pertencentes à organização, sendo que a exclusão de 5 países da amostra deve-se a insuficiência de dados para as variáveis em questão. Os países selecionados são: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Coreia, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos da América, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Irlanda, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Portugal, Reino Unido, Suécia, Suíça e Turquia. Os países excluídos da amostra são: Hungria, Islândia³, República Eslovaca, República Tcheca e Polônia.

Para a variável poluição *per capita* (P_{it}^{PC}) foram utilizados dados referentes à emissão de CO₂ decorrente do uso de energia, *per capita*, obtidos em OCDE (2008a), sendo que cada unidade na série de dados representa 1 tonelada de CO₂ emitido por habitante. Para a variável produção *per capita* (Y_{it}^{PC}) foram utilizados dados referentes ao produto interno bruto (PIB) *per capita* considerando constantes as paridades do poder de compra e o nível de preços, obtidos a partir de OCDE (2008b), sendo que cada unidade na série de dados representa US\$ 1 de produção *per capita*. Além disso, cabe ressaltar que as duas variáveis foram transformadas em valores de logaritmo neperiano.

Quanto à representatividade da amostra de países selecionados, cabe ressaltar que a emissão média de CO₂ destes países para o período em análise é equivalente a aproximadamente 53% das emissões mundiais deste poluente no período.

4.2. Estimativas e Interpretação dos Resultados

O modelo econométrico da equação (3.1) foi estimado para os países da amostra a partir dos dados descritos na seção anterior, utilizando-se do método dos mínimos quadrados ordinários. Dado que a relevância do estudo reside nas estimativas dos coeficientes angulares, os resultados obtidos são sumarizados na Tabela 1 a seguir, desconsiderando-se as estimativas para os coeficientes de intercepto.

³ Apesar da disponibilidade de dados para a Islândia, optou-se por excluir este país da amostra, pois os dados referentes à emissão de CO₂ apresentam variabilidade insuficiente para o ajuste do modelo.

Tabela 1 – Resultados das estimativas da equação (3.1) por MQO.

Países	Período 1	\square_1	Período 2	\square_2	R ² Ajustado
Alemanha	1971-90	-0.0548	1991-05	-0.7321***	98.08%
Austrália	1971-82	1.6002***	1983-05	0.6839***	94.79%
Áustria	1971-91	0.1770**	1992-05	1.0491***	79.44%
Bélgica	1971-83	-0.3701**	1984-05	0.0992**	52.55%
Canadá	1971-82	0.2533**	1983-05	0.3667***	67.99%
Coréia	1971-81	1.4157***	1982-05	0.9484***	99.06%
Dinamarca	1971-95	-0.0371	1996-05	-2.5126***	49.32%
Espanha	1971-84	1.5667***	1985-05	1.0356***	97.12%
EUA	1971-81	-0.0077	1982-05	0.1050***	75.82%
Finlândia	1971-80	1.0328***	1981-05	0.4372***	48.58%
França	1971-81	-0.1103	1982-05	-0.1474*	90.12%
Grécia	1971-83	1.8246***	1984-05	0.9631***	95.09%
Holanda	1971-80	0.3539**	1981-05	0.2316***	50.43%
Irlanda	1971-86	0.1753**	1987-05	0.2914***	93.64%
Itália	1971-81	0.3905***	1982-05	0.6016***	95.17%
Japão	1971-80	0.2091*	1981-05	0.7252***	90.55%
Luxemburgo	1971-82	-1.6478*	1983-05	-0.3687***	69.56%
México	1971-82	1.5732***	1983-05	0.4990***	98.12%
Noruega	1971-80	0.5321***	1981-05	0.4501**	77.31%
Nova Zelândia	1971-90	0.9847***	1991-05	1.0871***	89.75%
Portugal	1971-80	1.1176***	1981-05	1.4936***	98.63%
Reino Unido	1971-79	-0.1082	1980-05	-0.1973***	84.19%
Suécia	1971-80	-0.6541**	1981-05	-0.4781***	94.37%
Suíça	1971-84	-0.3633	1985-05	-0.3879**	11.63%
Turquia	1971-88	1.5372***	1989-05	0.9713***	98.02%

Notas: * 10% de significância

** 5% de significância

*** 1% de significância

Fonte: Dados da pesquisa. Elaboração própria.

Primeiramente, no que diz respeito à estimativa do ano de ocorrência da quebra estrutural na relação produto-polição para cada país, cabe salientar que foi realizado o teste de Chow para validação dos períodos adotados. O resultado deste teste indicou a significância estatística das referidas quebras para todos os países em análise, à exceção da Suíça.

Observa-se que dos 25 países em análise, 19 apresentaram quebra na relação produção-polição entre os anos de 1979 a 1984. Esta evidência pode estar associada ao excesso de oferta de petróleo que ocorreu após as crises energéticas de 1973 e 1979, bem como ao aumento das pressões ambientais a partir da década de 80 e ao advento dos primeiros

estudos consistentes sobre o aquecimento global de autoria do professor William D. Nordhaus, que marcaram o surgimento da chamada “*Economia do Aquecimento Global*”. De acordo com Rogner e Toth (2006), os choques dos preços do petróleo da década de 70, em conjunto com o aumento das pressões por políticas para controle da poluição do ar, levaram a uma diminuição sistemática no uso de petróleo como fonte energética, direcionando a matriz energética em direção a fontes de energia menos poluidoras e que não implicassem em dependência externa.

Quanto à significância dos coeficientes angulares, observa-se que para o primeiro período, as estimativas não foram estatisticamente diferentes de zero para os seguintes países: Alemanha, Dinamarca, EUA, França, Reino Unido e Suíça. Já os países que apresentaram coeficiente angular significativo subdividem-se em um grupo com sinal positivo e outro com sinal negativo. Os países que apresentaram sinal negativo foram os seguintes: Bélgica, Luxemburgo e Suécia. Já os países que apresentaram sinal positivo foram os seguintes: Austrália, Áustria, Canadá, Coreia, Espanha, Finlândia, Grécia, Holanda, Irlanda, Itália, Japão, México, Noruega, Nova Zelândia, Portugal e Turquia.

Para o segundo período, observa-se que todos os países apresentaram coeficientes angulares estatisticamente diferentes de zero, sendo que apenas os seguintes países apresentaram coeficiente negativo: Alemanha, Dinamarca, França, Luxemburgo, Reino Unido, Suécia e Suíça. Os países restantes, apresentaram coeficiente angular positivo.

A partir dos resultados obtidos, é possível inferir primeiramente sobre a validade da CKA em forma de sino, para em seguida identificar em que fase cada país se encontra no processo definido na Figura 2. Para tal análise deve-se observar para cada país como se deu a evolução da relação produção-poluição do primeiro período para o segundo. Dado que o produto *per capita* médio de cada período aumentou para todos os países da amostra, a validade da CKA implica que a evolução da relação produção-poluição entre os dois períodos deve enquadrar-se numa dinâmica da esquerda para a direita da Figura 2. A Tabela 2 apresenta diagramaticamente o procedimento de tal análise.

Tabela 2 – Procedimento para identificação da fase na CKA em sino.

Condições		Estados		
Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	
$\hat{\beta}_1 = 0$	$\hat{\beta}_2 < 0$	Entre fase B e C	Fase C-D	
	$\hat{\beta}_2 = 0$	Fim fase D	Fim fase D	
		Início fase A	Início fase A	
		Entre fase B e C	Entre fase B e C	
$\hat{\beta}_2 > 0$	Início fase A	Fase A-B		
$\hat{\beta}_1 < 0$	$\hat{\beta}_2 < 0$	$ \hat{\beta}_2 > \hat{\beta}_1 $	Fase C	
		$ \hat{\beta}_2 < \hat{\beta}_1 $	Fase C	
	$\hat{\beta}_2 = 0$	Fase D	Fase D	
		Fase C-D	Fim fase D	
	$\hat{\beta}_2 > 0$	Viola CKA em sino		
$\hat{\beta}_1 > 0$	$\hat{\beta}_2 < 0$	Fase A-B	Fase C-D	
	$\hat{\beta}_2 = 0$	Fase A-B	Entre fase B-C	
	$\hat{\beta}_2 > 0$	$\hat{\beta}_2 > \hat{\beta}_1$	Fase A	Fase A
		$\hat{\beta}_2 < \hat{\beta}_1$	Fase A	Fase B
			Fase B	Fase B

Exemplo de análise: um país com coeficiente angular do primeiro período estimado em $\hat{\beta}_1 = -1.00$, e coeficiente angular do segundo período estimado em $\hat{\beta}_2 = -0.50$, como $|\hat{\beta}_2| < |\hat{\beta}_1|$, conclui-se que o país estava na fase C ou D no primeiro período, e evoluiu (ou manteve-se) para a fase D no segundo período.

Fonte: Elaboração própria.

Assim, utilizando-se das regras dispostas na Tabela 2, analisam-se os resultados apresentados na Tabela 1 de forma a classificar cada país de acordo com sua possível posição na curva CKA em sino. A Tabela 3 a seguir apresenta os resultados da análise, ordenando os países utilizando como critérios de classificação primeiramente o estágio no processo de desenvolvimento postulado pela CKA em sino, e como segundo critério o valor da estimativa do coeficiente angular do segundo período. Além disso, a Tabela 3 apresenta a diferença entre

o coeficiente angular do segundo período em relação ao primeiro período. Estes valores são indicadores da direção que a relação produção-polição apresentou entre os dois períodos.

Tabela 3 – Resultados da análise dos resultados obtidos.

Países	\square_1	\square_2	$\square_2 - \square_1$	Período 1	Período 2
Portugal	+	+	0,3760	Fase A	Fase A
Nova Zelândia	+	+	0,1024	Fase A	Fase A
Áustria	+	+	0,8721	Fase A	Fase A
Japão	+	+	0,5161	Fase A	Fase A
Itália	+	+	0,2111	Fase A	Fase A
Canadá	+	+	0,1134	Fase A	Fase A
Irlanda	+	+	0,1161	Fase A	Fase A
EUA	0	+	0,1050	Início fase A	Fase A-B
Espanha	+	+	-0,5311	Fase A ou B	Fase B
Turquia	+	+	-0,5659	Fase A ou B	Fase B
Grécia	+	+	-0,8615	Fase A ou B	Fase B
Coréia	+	+	-0,4673	Fase A ou B	Fase B
Austrália	+	+	-0,9163	Fase A ou B	Fase B
México	+	+	-1,0742	Fase A ou B	Fase B
Noruega	+	+	-0,0820	Fase A ou B	Fase B
Finlândia	+	+	-0,5956	Fase A ou B	Fase B
Holanda	+	+	-0,1223	Fase A ou B	Fase B
França	0	-	-0,1474	Entre fase B e C	Fase C-D
Reino Unido	0	-	-0,1973	Entre fase B e C	Fase C-D
Suíça	0	-	-0,3879	Entre fase B e C	Fase C-D
Alemanha	0	-	-0,7321	Entre fase B e C	Fase C-D
Dinamarca	0	-	-2,5126	Entre fase B e C	Fase C-D
Luxemburgo	-	-	1,2791	Fase C ou D	Fase D
Suécia	-	-	0,1760	Fase C ou D	Fase D
Bélgica	-	+	0,4693	Viola CKA em sino	

Fonte: Dados da pesquisa. Elaboração própria.

A partir dos resultados obtidos, observa-se que 68% dos países da amostra encontram-se ainda na fase ascendente da CKA em sino, enquanto 28% encontram-se na fase descendente, e apenas a Bélgica apresentou uma evolução que não pode ser enquadrada no preconizado pela CKA em sino. Além disso, o grupo de países menos desenvolvido ambientalmente foi responsável por aproximadamente 84% da emissão total (da amostra) de CO₂ em 2005, enquanto o grupo de país que se apresentou já na fase descendente representa cerca de 15% da emissão total de CO₂.

5. Conclusões e considerações finais

No presente trabalho, procurou-se verificar a existência de uma relação entre o nível de produção *per capita* em uma amostra de países da OCDE e seus respectivos níveis de emissão de CO₂ *per capita*, no período de 1971 a 2005. Primeiramente foi abordada a proposição teórica da existência de uma curva de Kuznets ambiental (CKA), para em seguida, propor um modelo teórico e econométrico capaz de identificar em que fase do processo de desenvolvimento ambiental cada país se encontra. Neste sentido, foi proposta uma nova forma funcional para a CKA, passando esta a assumir a forma de um “sino”.

Partindo-se do pressuposto de que a relação proposta pela CKA é uma relação de longo prazo (secular) e que não há disponibilidade de dados sobre poluição para tal intervalo de tempo, o modelo foi formulado de forma a possibilitar a identificação da fase em que cada país se encontra, em detrimento de identificar a CKA como um todo. Ou seja, o ajuste econométrico do modelo proposto identifica a fase em que o país se encontra correspondente ao período em análise, sem necessariamente identificar a CKA deste país por completo. Para isso utilizou-se de uma especificação log-linear com a identificação de quebras estruturais na relação como forma de identificar mudanças de fase no processo de desenvolvimento ambiental postulado pela CKA.

As estimativas foram realizadas a partir do método dos mínimos quadrados, estimando-se equações independentes para cada país. Além disso, as quebras estruturais foram identificadas através de procedimentos de estimativas recursivas, e testadas pelo teste de Chow para quebras estruturais, sendo que apenas para a Suíça a quebra estrutural identificada não foi significativa.

Os resultados obtidos permitiram identificar a fase de desenvolvimento ambiental em que cada país encontra-se no período de análise, sendo que 68% dos países da amostra apresentaram-se na fase ascendente da CKA em sino, enquanto outros 28% encontram-se na fase descendente, e apenas a Bélgica apresentou uma evolução que não pode ser enquadrada no preconizado pela CKA em sino. Disso conclui-se que o processo de aprimoramento tecnológico ambiental, para redução da poluição associada à produção, apesar de já demonstrar resultados positivos para alguns países, ainda não se generalizou para a maior parte das economias da amostra.

Assim, conclui-se que a relação entre emissão de CO₂ *per capita* e nível de desenvolvimento econômico (representado pelo PIB *per capita*) pode ser representada por uma curva no formato de “sino”, semelhantemente ao preconizado pela curva de Kuznets

ambiental. Porém, o resultado deve ser entendido como restrito aos países da amostra em análise.

5.1. Extensões futuras

Este trabalho é tido como preliminar no estudo da relação entre as emissões de CO₂ e o desenvolvimento econômico das economias. Neste sentido, cabe levantar algumas possibilidades de melhoramentos futuros à análise desenvolvida neste trabalho. Primeiro, a utilização da metodologia econométrica de análise de séries temporais pode ser uma opção interessante para aperfeiçoamento dos resultados. Neste sentido, o próximo passo para validação dos resultados é a verificação da estacionariedade das séries em análise, bem como a verificação de cointegração entre as variáveis de modo a validar se as estimativas obtidas referem-se a relações de longo prazo. Para esta análise é imprescindível a utilização de metodologias que possibilitem a existência de quebras estruturais nas séries em análise. Tais metodologias podem ser encontradas em Margarido (2001).

Uma segunda possível extensão para o modelo seria a introdução de novas variáveis explicativas para o processo de evolução tecnológica, como por exemplo, variáveis referentes à globalização, desenvolvimento humano, e regulação ambiental.

Por fim, a inclusão de outros países à amostra pode ser frutífera para a generalização dos resultados obtidos. Acima de tudo, torna-se importante a inclusão de países em desenvolvimento à análise como o Brasil, China, Índia e Rússia, dada sua relevância internacional.

Referências Bibliográficas

BAUMOL, W.J.; OATES, W.E. **The teory of environmental policy**. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

CAMPOS DE ANDRADE, A.L. Energia e mudanças climáticas: uma discussão da matriz energética brasileira e do setor de transportes. Florianópolis(SC): UFSC – Programa de Pós-Graduação em Economia (**Dissertação de Mestrado**), 2010, 164p.

COPELAND, Brian R.; TAYLOR, M. Scott. North-South Trade and the Environment. **Quarterly Journal of Economics**, v. 109, n. 3, p. 755-787, 1994.

CROPPER, M.; GRIFFITHS, G. The interaction of population, growth and environmental quality. **American Economic Review**, v.84, p.250-254, 1994.

DINDA, Soumyananda. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. **Ecological Economics**, vol. 49, p. 431-455, 2004.

DINIZ, Marcelo B.; DINIZ, Márcia J. Trajetórias da qualidade ambiental e do desenvolvimento sustentável. **Anais da ANPEC**, 2003.

EGLI, Hannes. A new approach to pollution modelling in models of the environmental Kuznets curve. **Economics working paper series 05/39**, CER-ETH - Center of Economic Research (CER-ETH) at ETH Zurich, 2005

GROSSMAN, G.; KRUEGER, A. Environmental Impacts of A North American Free Trade Agreement. **NBER, Working Paper no. 3914**, Cambridge, MA, EUA, 1991.

GUJARATI, Damodar N. **Econometria básica**. 3ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2000.

HE, Jie. Is the Environmental Kuznets Curve hypothesis valid for developing countries? A survey. **Cahiers de recherche 07-03, Departement d'Economie de la Faculte d'administration à l'Universite de Sherbrooke**, 2007.

HILTON, F.G.H.; LEVINSON, A. Factoring the environmental kuznetz curve: evidence from automotive lead emissions. **Journal of Environmental Economics and Management**, v.35, p.126-141, 1998.

KUZNETS, S. Economic Growth and Income Inequality. **American Economic Review** **49**, p. 1-28, 1955.

LEVINSON, Arik. Environmental Kuznetz Curve. **New Palgrave Dictionary of Economics**. Second Edition.

MAGNANI, Elisabetta. The Environmental Kuznetz Curve, environmental protection policy and income distribution. **Ecological Economics**, v.32, p. 431-443, 2000.

MARGARIDO, Mario Antonio. Aplicação de testes de raiz unitária com quebra estrutural em séries econômicas no Brasil na década de 90. **Informações Econômicas**, vol. 31, n. 4, São Paulo, Abril, 2001.

MAY, Peter H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, Valéria da (Organizadores). **Economia do Meio Ambiente – Teoria e Prática**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

OCDE. **OECD Factbook 2008: Economic, Environmental and Social Statistics**. OCDE, Paris, 2008a.

_____. **OECD Stat Beta Version**. OCDE, Paris. Disponível em: <<http://stats.oecd.org/wbos/Index.aspx?usercontext=sourceoecd>>. Acesso: Julho de 2008b.

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

ROGNER, Hans-Holger. TOTH, Ferenc L. Oil and nuclear power: Past, present, and future. **Energy Economics**, vol. 28, p. 1-25, 2006.

SMULDERS, Sjak; BRETSCHEGER, Lucas; EGLI, Hannes. Economic Growth and the Diffusion of Clean Technologies: Explaining Environmental Kuznetz Curves. **CER-ETH Economic Working Paper Series**, 05/42, Zurich: Center of Economic Research, 2005.

STAGL, Sigrid. Delinking Economic Growth from Environmental Degradation? A Literature Survey on the Environmental Kuznets Curve Hypothesis. **Working Papers geewp06, Vienna University of Economics and B.A. Research Group: Growth and Employment in Europe: Sustainability and Competitiveness**. 1999.

STERN, David I. Progress on the environmental Kuznets curva? **Environment and Development Economics**, vol. 3, p. 173-196, Cambridge, 1998.

WAGNER, Martin. The carbon Kuznets curve: A cloudy picture emitted by bad econometrics? **Resource and Energy Economics**, vol. 30, p. 388-408. 2008.