

Relação mundial per capita entre renda e emissão de dióxido de carbono

World relation per capita between income and emission of carbon dioxide

Fernando Artico Bigarani¹
Irene Domenes Zapparoli²

Resumo

O objetivo deste artigo é verificar a existência de relação per capita entre emissão de dióxido de carbono e o crescimento da renda. A metodologia utilizada consiste na análise exploratória de dados espaciais para os anos de 1994 e 2009 usando programa Geoda. Por meio de mapas e do Índice de Moran busca-se observar a existência de autocorrelação espacial, per capita, entre a emissão de gás carbônico e Produto Interno Bruto dos países da Europa e da África, identificando a existência de *clusters* espaciais. A análise dos resultados apresentou autocorrelação espacial significativa entre as variáveis estudadas e permitiu a identificação de clusters espaciais na Europa e na África. A conclusão confirma a teoria da Curva de Kuznets Ambiental e também identifica que o protocolo de Kyoto foi capaz de promover alterações nos *clusters* univariados analisados no período.

Palavras Chaves: análise exploratória de dados espaciais; dióxido de carbono per capita; renda per capita; Curva de Kuznets Ambiental.

Abstract

The aim of this article is to verify the existence of relation per capita between emission of carbon dioxide and the growth of the income. The used methodology is the exploratory analysis of space data for the years of 1994 and 2009. By means of maps and of the Index of Moran one searched to observe the existence of space autocorrelation enters carbonic gas emission the per capita and per capita Gross domestic product of the countries of the Europe and Africa and to verify the space existence of clusters. The analysis of the results presented significant space autocorrelation between the studied variable and allowed the space identification of clusters in the Europe and Africa. The conclusion confirms the theory of the Curve of Ambient Kuznets and also it was identified that the protocol of Kyoto was capable to promote alterations in univariate clusters analyzed in the period.

Key-words: exploratory spatial data analysis; per capita carbon dioxide; Environmental Kuznets Curve.

JEL: Q50, R11, R12

¹ Economista, Mestrando em Economia Regional –PPE/UEL. E-mail: fernandoartico@yahoo.com.br

² Economista, Doutora em Educação pela PUC-SP. Professora e pesquisadora do Programa de Mestrado em Economia Regional – PPE/UEL e do Mestrado em Bioenergia UEL. E-mail: izapparoli@sercomtel.com.br

INTRODUÇÃO

O progresso econômico é responsável pela geração de renda, emprego e, principalmente, pelo aumento da riqueza da sociedade como um todo. Entretanto, o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB mundial) gera na exploração de algumas atividades impacto ambiental (COSTANZA, CUMBERLAND, DALY, H. *et al.*, 2000) O aumento da emissão de gás carbônico é uma das externalidades negativas do crescimento da economia, por ser este o principal gás responsável pelo aquecimento global.

A camada gasosa que envolve a Terra, a Atmosfera, tem como principais atribuições à filtração da radiação, a regulação do clima, do ciclo das chuvas, dos ventos, do efeito estufa, o fornecimento de oxigênio para a manutenção da vida, e a proteção contra a queda de meteoros. Algumas destas funções estão sofrendo alterações ou estão se intensificando devido ao aumento das emissões de certos gases, como o Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Clorofluorcarbonetos (CFCs), Hidrofluorcarbonetos (HFCs) e Hexafluoreto de enxofre (SF₆). O Dióxido de Carbono é o gás mais emitido pela atividade humana, representando aproximadamente mais de dois terços dos gases lançados à atmosfera, portanto, o principal responsável pelo aquecimento global.

O objetivo deste artigo é verificar a existência de relação per capita entre emissão de dióxido de carbono e o crescimento da renda. O estudo busca identificar os impactos da adoção do protocolo de Kyoto (1997) nas emissões de CO₂ pois o mesmo protocolo previa a redução entre 2008 e 2012, da emissão de poluentes em 5,2% em relação aos níveis de 1990. Para entrar em vigor, o pacto precisa virar lei em pelo menos 55 países que somem, ao todo, 55% das emissões de CO₂. A metodologia procura identificar se existe uma relação espacial entre renda e a emissão de CO₂, realizando uma análise multivariada usando o programa Geoda. O período de análise compara a relação entre os anos de 1994 e 2009, para os países da África e Europa.

Neste âmbito, o estudo sobre a emissão do gás carbônico vem ganhando seu espaço junto aos vários ramos da ciência e também se mostra o precursor de várias discussões na mídia sobre o meio ambiente. Por isso, seu estudo é fundamental para compreendermos melhor a relação do CO₂ com a causa antropogênica.

Além desta introdução, este artigo está organizado em outras cinco seções. A segunda seção apresenta uma revisão literária sobre curva de Kuznets Ambiental e o protocolo de Kyoto. Na terceira tem-se a metodologia e o procedimento de preparação dos dados. A quarta parte traz os mapas obtidos por meio do programa Geoda para a análise univariada de CO₂ per capita e suas respectivas considerações. Na quinta seção têm-se os mapas obtidos por meio do Geoda para a análise bivariada de CO₂ per capita e renda per capita. Sendo, a última parte, dedicada a apresentação das conclusões.

A CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL E O PROTOCOLO DE KYOTO

A curva de Kuznets Ambiental e o Protocolo de Kyoto são os marcos ordenadores da revisão sobre a relação entre dióxido de carbono e renda.

A curva de Kuznets Ambiental

No ano de 1955, Simon Kuznets, inicialmente observando os Estados Unidos, Grã-Bretanha e Alemanha, percebeu uma relação entre crescimento econômico e distribuição da renda pessoal em formato de U-invertido. Os diferenciais de rendimentos dos trabalhadores entre os setores da economia, na transição de uma economia agrícola para uma economia industrial, é a sua explicação para esse comportamento. A distribuição de renda era pensada por Kuznets como uma interação da população urbana e rural, onde a primeira é mais concentrada com relação à segunda, sendo sua renda média também mais elevada. Além disso, ele enfatizava que quando a renda aumentava, a diferença entre a renda per capita das áreas urbana e rural se mantinha ou até mesmo se ampliava em favor da primeira, devido ao crescente aumento de produtividade desta área. (ARRAES *et al*, 2006)

Lomborg (2002, p.42) argumenta que “o desenvolvimento ambiental em geral é fruto do desenvolvimento econômico – só podemos nos dar o luxo relativo de nos importar com o meio ambiente quando nos tornamos suficientemente ricos”. Portanto nos estágios iniciais de desenvolvimento, a degradação ambiental ocorre como um efeito colateral ruim que, contudo, não será mais aceito a partir de certo nível de bem-estar econômico. Ainda de acordo com Lomborg (2002):

Por um período de 100 a 300 anos, o ocidente viu sua renda aumentar e poluição também. Nas décadas de 1930 e 1940, Londres era ainda mais poluída do que Pequim, Nova Déli e Cidade do México atualmente. Em geral, somente nos últimos 40 a 100 anos os países desenvolvidos dissociaram o crescimento econômico do aumento da poluição. A explicação, segundo o Banco Mundial, é que, com a maior afluência, o mundo ocidental gradualmente teve condições de pagar por um ambiente mais limpo e, ao mesmo tempo, passou a aceitar cada vez menos um ambiente poluído. Tomaram-se as decisões políticas e obteve-se um ambiente mais limpo (LOMBORG, 2002, p.210).

Sendo assim, "a intervenção ambientalista é necessária se quisermos prevenir a poluição desnecessária e evitar que as pessoas se esquivem de suas responsabilidades. Entretanto, só devemos intervir quando for razoável" (LOMBORG, 2002, p.41).

O conceito de que a preservação ambiental depende do crescimento econômico, não leva em consideração, que os efeitos deste quanto ao meio ambiente não podem ser ignorados, e que capacidade do planeta não pode suportá-lo indefinidamente. Se a degradação for irreversível, a atividade econômica pode estar em risco (ARROW *et al*, 1995).

Segundo Rattner (1999, p. 102):

Contradições crescentes entre crescimento econômico e seus sistemas de apoio ambiental estão ameaçando as precárias condições de vida dos pobres nos países em desenvolvimento, assim como os padrões relativamente altos de consumo material nos países desenvolvidos.

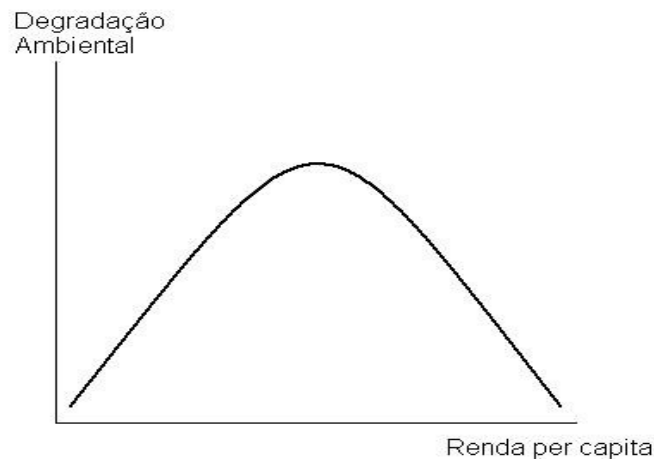
Podemos, entretanto, tratar do crescimento econômico e da preservação ambiental de forma conjunta, possibilitando a melhoria de ambos simultaneamente. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (2007), o conceito

de desenvolvimento estava associado com a industrialização, e medido apenas pela atividade econômica e aumentos na renda. A preservação ambiental era percebida por muitos como um obstáculo ao desenvolvimento. Contudo o relatório “Nosso Futuro Comum” reconheceu meio ambiente ou desenvolvimento como uma falsa dicotomia:

Meio ambiente e desenvolvimento não constituem desafios separados; estão inevitavelmente interligados. O desenvolvimento não se mantém se a base de recursos ambientais se deteriora; o meio ambiente não pode ser protegido se o crescimento econômico não leva em conta as consequências da destruição ambiental (CMMAD, 1988, p.40).

O desenvolvimento deve, assim, ser tratado de modo mais amplo, integrando “a produção com a conservação e ampliação de recursos” (CMMAD, 1988, p.43), possibilitando-se a distribuição equitativa de seus benefícios à população. Além disso, ele deve ser objetivo não apenas das nações em desenvolvimento. As mudanças exigidas em níveis locais e internacionais o fazem necessário em todos os países.

Gráfico 1 – Curva de Kuznets Ambiental (CKA)



Fonte: LOMBORG, (2002, p.210) e THOMAS, CALLAN (2010, p.487)

Alguns autores, levando em conta o cenário econômico de seu período (década de 90) e a teoria da curva de Kuznets, criaram o conceito da curva de Kuznets ambiental (CKA). A CKA descreve a trajetória da poluição de um país como resultado de seu desenvolvimento em um determinado período de tempo. Ela prevê que a degradação ambiental se eleva à medida que o crescimento econômico aumenta, isto nos estágios iniciais do desenvolvimento, e, conforme o tempo, se alcançará um certo nível de renda que fará tal degradação diminuir, segundo Almeida e Carvalho(2010). Os autores citam os estudos de De Bruyn et al.(1998) que sugerem que a CKA não se sustentaria a longo e teria um formato de N, sugerindo o retorno da degradação ambiental em maiores níveis de renda e desenvolvimento econômico.

Supondo um país que possui níveis de pobreza altos, quando o crescimento deste começa a ocorrer, sua poluição também crescerá. Um dos fatores é, sem dúvida, que o aumento da produção aumenta a emissão de poluentes. Já o outro

fator é devido à sua pobreza, que o limita, fazendo-o utilizar pouca ou nenhuma técnica de controle de poluição sobre a sua produção. À medida que a renda desse país emerge para níveis mais altos e sua produção se torna mais competitiva, a prioridade deste país muda para a proteção da qualidade ambiental, ou seja, a melhoria ambiental está relacionada com o crescimento econômico. (ALMEIDA; CARVALHO, 2010 e THOMAS, CALLAN, 2010)

Almeida e Carvalho (2010) explicam os estágios de desenvolvimento dos países de acordo com a curva ambiental de Kuznets:

[...] os países passariam por estágios de desenvolvimento, regidos pelas forças de mercado e por mudanças na regulação governamental. No primeiro estágio, marcado pela transição de uma economia tradicional agrícola para uma industrializada, o crescimento econômico implica em uma pressão cada vez maior sobre o meio ambiente, resultado da criação e ampliação do parque industrial. O estágio seguinte seria caracterizado pela maturação da sociedade e da infraestrutura industrial. Nesse ponto, o atendimento das necessidades básicas permite o crescimento de setores menos intensivos em recursos e poluição, e as melhorias técnicas começam a reduzir a intensidade de matéria/energia e rejeitos da produção. Por fim, no terceiro estágio de desenvolvimento, ocorreria o 'descolamento' (de-linking) entre o crescimento econômico e a pressão sobre o meio ambiente, a partir de quando o primeiro não mais implica em um aumento do segundo [...] (ALMEIDA ; CARVALHO, 2010, p.3)

O impacto ambiental será uma função que assumirá formato de U invertido na renda per capita. A curva de Kuznets Ambiental assume esse formato devido alguns elementos, como a elasticidade positiva para a qualidade ambiental, de modo que esta se torna mais valorizada pela sociedade de acordo com o aumento da renda; alteração na composição da produção e do consumo; educação e conscientização ambiental; organismos políticos mais abertos. Outras possíveis causas são a liberalização comercial, mudanças tecnológicas positivas e maior rigidez das legislações ambientais. (ALMEIDA; CARVALHO, 2010 e THOMAS, CALLAN, 2010)

No longo prazo, a curva de Kuznets Ambiental não se mantém neste formato de U invertido. Este se manteria apenas no início da relação entre crescimento econômico e pressão ambiental. Chega um momento em que após um determinado nível de renda, ocorre um novo ponto de inflexão e a trajetória da CKA volta a ser ascendente, assumindo um novo formato, similar a um N, ou seja, a degradação ambiental tornaria a aumentar em altos níveis. (ALMEIDA; CARVALHO, 2010)

Os efeitos que atuam sobre a relação de crescimento econômico e qualidade ambiental podem ser decompostos em efeito escala (conforme há aumento da produção, a pressão sobre o meio ambiente também tende a aumentar); efeito composição (o crescimento ocorre principalmente em setores com baixos níveis de emissão de poluentes); efeito técnico (um nível mais alto de produção é compensado pelos avanços tecnológicos, mantendo a qualidade ambiental quase inalterada).

O primeiro efeito pode ser anulado pelos outros dois efeitos, portanto, quando se analisa a CKA tem-se que tê-los em mente. Normalmente, nos países desenvolvidos a ocorrência do efeito escala sendo anula os outros dois efeitos, pois estes países possuem taxas de crescimento relativamente baixas. Já nós países em desenvolvimento, que possuem taxas de crescimento mais altas, normalmente o efeito escala não é completamente anulado pelos efeitos composição e técnico, segundo Almeida e Carvalho(2010).

A tecnologia possuirá um papel chave quando o total da poluição declinar com a renda. Neste cenário, as inovações tecnológicas são classificadas em autônomas (exógena) e induzidas (endógenas). Esta última ocorre quando a nova tecnologia introduzida na produção é forte o suficiente para provocar um declínio na poluição total entre os países perante um aumento da renda. Às políticas do governo como regulamentações, taxas de poluição e a criação de permissões de emissões aparentam ser um forte incentivo à mudança para processos de produção que gerem menores impactos ambientais. (ALMEIDA; CARVALHO, 2010)

Protocolo de Kyoto

No ano de 1997, na Conferência das Partes 3 (COP-3) o documento definido como protocolo de Kyoto, definiu metas de redução nas emissões de gases do efeito estufa (GEE). Os países foram divididos em dois grupos: os classificados no Anexo I e os Não-Anexo I (aqueles não inclusos no primeiro anexo). Nesse documento a redução da emissão de GEE ficou estabelecida em, no mínimo, 5,2%, abaixo dos níveis de 1990, com base nos inventários nacionais apresentados, até 2012, para países do Anexo I. Atualmente essa redução consiste em 80%, até o ano 2050. (BRASIL, MMA, 2014)

Aos países do Não-Anexo I, o crescimento necessário de suas emissões foi limitado pela introdução de medidas apropriadas. Para a viabilização dessas medidas, contaram com recursos financeiros e acesso à tecnologia de países industrializados. (BRASIL, MMA, 2014)

Os mecanismos de flexibilização presentes no protocolo são: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), Comércio de Emissão (CE) e Implementação Conjunta (IJ). O primeiro se aplica aos países presentes no grupo dos Não-Anexo I, os dois últimos se aplica aos países do grupo do Anexo I. (BRASIL, MMA, 2014)

Exposto no artigo sexto do protocolo de Kyoto a Implementação Conjunta da liberdade aos países que possuem uma redução de emissão ou compromisso de limitação de suas emissões desenvolver um projeto de redução de emissão em outro país presente no anexo B. O país desenvolvedor do projeto fica com os créditos de carbono, conhecidos como unidades de emissão reduzida, cada unidade desta equivale a uma tonelada métrica de CO₂. (UNFCCC, 2014-C)

Presente no artigo 12 do protocolo o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é visto como um projeto pioneiro a oferecer instrumentos de compensação de emissão padronizada. O MDL consiste na implementação de projetos nos países em desenvolvimento com a intenção de reduzir ou retirar da atmosfera os gases responsáveis pelo efeito estufa. Para uma tonelada de CO₂ ou equivalente é emitido um crédito de carbono que recebe o nome de Redução Certificada de Emissão (*Emission Reduction Credits*), que pode ser negociada internacionalmente, tendo como principais compradores países e outros que por algum motivo desejam reduzir suas emissões. Portanto, o MDL permite aos países desenvolvidos maior flexibilidade nas formas de atingir suas metas. (UNFCCC, 2014-A)

Os compromissos assumidos no protocolo de Kyoto estabelecem metas para limitar ou reduzir as emissões, que foram expressas em níveis de emissões permitidas ou quantidades atribuídas e estas foram divididas em unidades de quantidades atribuídas (*Assigned Amount Units – AAUs*). O artigo 17 do protocolo de Kyoto é referente ao Comércio Internacional de Emissão que dá liberdade aos países que possuem unidades de emissão sobrando vender esse excesso de

unidades para os países que desejam adquirir para abater em sua cota estipulada. (UNFCCC, 2014-B)

O comércio de emissão criado através dessas unidades de emissão possui como principal representante as unidades de dióxido de carbono que, por sua vez, denominou-se “mercado de carbono”. As AAUs podem ser vendidas e comercializadas sob o regime do protocolo de Kyoto e cada uma delas equivale a uma tonelada de CO₂. Sendo comercializadas e classificadas pelo UNFCCC (2014-B) da seguinte forma:

- As baseadas no uso da terra, por exemplo, atividades de reflorestamento, recebem a classificação de *removal unit* (RMU);
- As geradas pela implementação conjunta de projetos recebem o nome de *emission reduction* (ERU);
- Aquelas geradas a partir de um mecanismo de desenvolvimento limpo são classificadas como *certified emission reduction* (CER).

METODOLOGIA

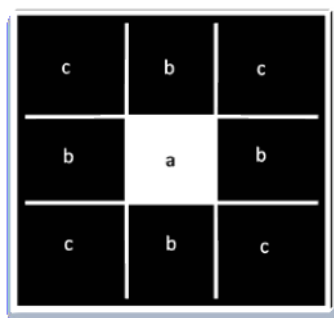
Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE)

A análise exploratória de dados espaciais de acordo com Almeida, Ferreira e Perobelli (2008) é fundamentada nos efeitos decorrentes da heterogeneidade espacial e da dependência espacial. Esta análise busca investigar a existência de distintos regimes espaciais, não-estacionariedade (instabilidade espacial) e identificar *outliers* (observações discrepantes), além de apresentar a distribuição espacial e os clusters espaciais (padrões de associação espacial).

A AEDE utiliza a matriz de pesos espaciais (w), que é entendida por Almeida (2004), por meio da relação de vizinhança da distância geográfica ou/e socioeconômica. Anselin (1999) explica que os elementos da matriz de pesos estão embasados na contiguidade ou nos arranjos geográficos das observações. Portanto, a matriz objetiva captar a ponderação que determinada variável de cada região recebe quando vier a fazer vizinhança com a região analisada.

Entre as matrizes de pesos espaciais, a utilizada neste artigo é a denominada de Rainha (*QUEEN*). Almeida (2004) explica que ela aborda as fronteiras com extensões diferentes de zero. Na figura 1 o quadrado *a* pode se avizinhar com os quadrados *b*, ou se avizinhar com os quadrados *c*, ou ambas as combinações podem ocorrer.

Figura 1 - Matriz “Rainha”



Fonte: Diniz et al. (2014).

Autocorrelação Espacial Global Univariada

O grau de combinação linear entre os vetores apresentados no tempo e os valores médios ponderados da vizinhança é fornecido pelo Índice de Moran, de acordo com Almeida, Ferreira e Perobelli (2008).

A equação estatística do I de Moran é apresentada abaixo:

$$I = \frac{n}{\sum \sum w_{ij}} \frac{\sum \sum w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

onde: n : representa o número de unidades espaciais; y_i : representa variável de interesse; w_{ij} : representa peso espacial para as unidades espaciais i e j , ponderando o grau de interação entre elas.

O valor resultante do I de Moran caso não houvesse um padrão espacial nos valores apresentados são representados por $- [1/(n - 1)]$. Portanto, os valores que indicam autocorrelação espacial são os valores de I que excedem $- [1/(n - 1)]$ e os valores de I inferior ao valor esperado representam autocorrelação negativa. (ALMEIDA, 2004)

Para que haja similaridade entre os valores das variáveis consideradas é necessário a presença de autocorrelação espacial positiva. A existência de dissimilaridade entre os valores das variáveis apresentadas revela a presença de autocorrelação espacial negativa. (ALMEIDA, 2004)

Autocorrelação Espacial Local Univariada

De acordo com Almeida (2004), o I de Moran local é explicado pelo agrupamento dos valores similares da região estudada formando clusters espaciais, significativos estatisticamente. Para Anselin (1995) constata-se de uma decomposição do indicador global de autocorrelação em quatro categorias, onde cada uma representa um quadrante no diagrama de dispersão.

A estatística I de Moran local é apresentada pela seguinte equação:

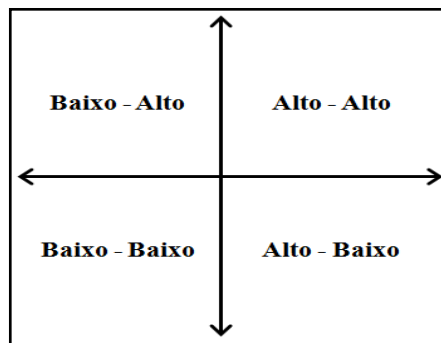
$$I_i = \frac{(y_i - \bar{y}) \sum w_{ij} (y_j - \bar{y})}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2 / n} \quad \text{ou} \quad I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j$$

Onde:

z_i e z_j são variáveis padronizada, a somatória de j é tal que unicamente os resultados dos vizinhos $j \in J_i$ são incluídos. O conjunto J_i agrega os vizinhos da variável i , por definição $w_{ii} = 0$.

O diagrama de dispersão de Moran apresenta quatro padrões distintos de associações local espacial entre as regiões analisadas e sua vizinhança (ALMEIDA, FERREIRA, PEROBELLI, 2008). Abaixo é ilustrado o diagrama de dispersão de Moran:

Figura 2: Diagrama de dispersão



Fonte: Diniz *et al.*(2014).

Nas regiões Baixo-Baixo do diagrama encontram-se agrupamentos que apresentam valores baixos e suas regiões também apresentam valores baixos. Já as regiões Alto-Alto do diagrama encontram-se agrupamentos que apresentam valores altos e suas regiões também apresentam valores altos. No quadrante Alto-Baixo, encontram-se agrupamentos que apresentam altos valores e que são cercados por regiões com baixos valores. Finalmente, no quadrante Baixo-Alto, encontram-se agrupamentos que apresentam baixos valores e que são cercados por regiões com altos valores.

Autocorrelação espacial global bivariada³

O objetivo é verificar se os valores observados em uma dada região guardam alguma relação com os valores observados de outra variável em regiões vizinhas, ou seja, se pretende verificar a existência de um padrão global entre duas variáveis diferentes. Para atingir tal objetivo necessário calcular a estatística I de Moran para duas variáveis diferentes padronizadas, digamos z_1 e z_2 :

$$I_{z_1z_2} = n/S_0 \cdot (z_1 Wz_2) / z_1z_1$$

A expressão acima se transforma em,

$$I_{z_1z_2} = (z_1 Wz_2) / z_1 z_1$$

Caso a matriz W seja normalizada na linha. O coeficiente possuirá dois componentes distintos. O numerado representará uma medida de covariância do tipo produto cruzado, o denominador se refere a um reescalonamento, utilizando a variância dos dados. A ideia é averiguar se existe uma associação linear entre a emissão de CO_2 per capita e o PIB per capita.

O diagrama de dispersão plota é explicado por Almeida (2012):

[...] no eixo das abscissas, os valores de uma variável padronizada, observados numa determinada região, com o valor de outra variável padronizada, observado nas regiões vizinhas, no eixo das ordenadas. O diagrama de dispersão de Moran bivariado é o gráfico da dispersão da nuvem de pontos representando valores de duas variáveis observadas nas regiões, com a indicação da declividade da reta de regressão. Para conseguir a

³ Esta seção está baseado Almeida (2012), Capítulo 4.

declividade dessa reta, estima-se uma regressão linear simples por mínimos quadrados ordinários [...]. (ALMEIDA, 2012, p. 119)

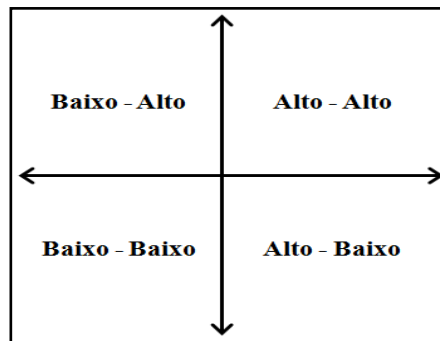
Abaixo está representada a declividade da reta, onde α é a constante da regressão, β é o coeficiente angular e ε é um termo de erro aleatório.

$$Wz_2 = \alpha + \beta z_1 + \varepsilon$$

Ao fazer o coeficiente angular da reta de regressão da defasagem espacial (Wz_2) contra a variável z_1 (de interesse), estimado pelo MQO (mínimo quadrados ordinários) obtém-se:

$$\beta = I_{z_1 z_2} = z_1 Wz_2 / z_1 z_1$$

Figura 3 - Diagrama de dispersão



Fonte: Diniz *et. al.*(2014).

No primeiro quadrante do diagrama de dispersão de Moran, situa-se os valores Alto-Alto (são as regiões com valores altos da variável de interesse no eixo das abscissas, circundados por regiões que também possuem valores altos da outra variável de interesse, está no eixo das ordenadas), no segundo quadrante temos os valores Baixo-Alto (são regiões com valores baixos da variável de interesse no eixo das abscissas, circunvizinhos por regiões com valores altos da outra variável), o terceiro quadrante apresenta os valores Baixo-Baixo (significa que os valores baixo de uma das variáveis são vizinhos dos valores baixo da outra variável) e o quarto quadrante exibe o agrupamento Alto-Baixo (neste os valores Alto da variável analisada estão rodeados pelos valores baixo da outra variável).

Autocorrelação Espacial Local Bivariada⁴

Supondo a existência das variáveis de interesse x_i e y_i , padronizando-as estas, obtemos respectivamente z_1 e z_2 . Assim a fórmula do I de Moran local será:

$$I_{z_1 z_2} = z_{1i} Wz_{2i}$$

Onde Wz_{2i} é a defasagem da variável padronizada z_{2i} . Unicamente os vizinhos da amostra i são incluídos no cálculo, de acordo com a matriz de pesos espaciais. A interpretação desta estatística é que ela apresenta uma indicação do grau de associação linear entre uma variável de localização i e a média das variáveis das localidades vizinhas. Portanto, é possível mapear os valores, estatisticamente significativos, da probabilidade medida, obtendo-se o Mapa de significância bivariada do Moran local.

⁴ Esta seção está baseado Almeida (2012), Capítulo 4.

Dados

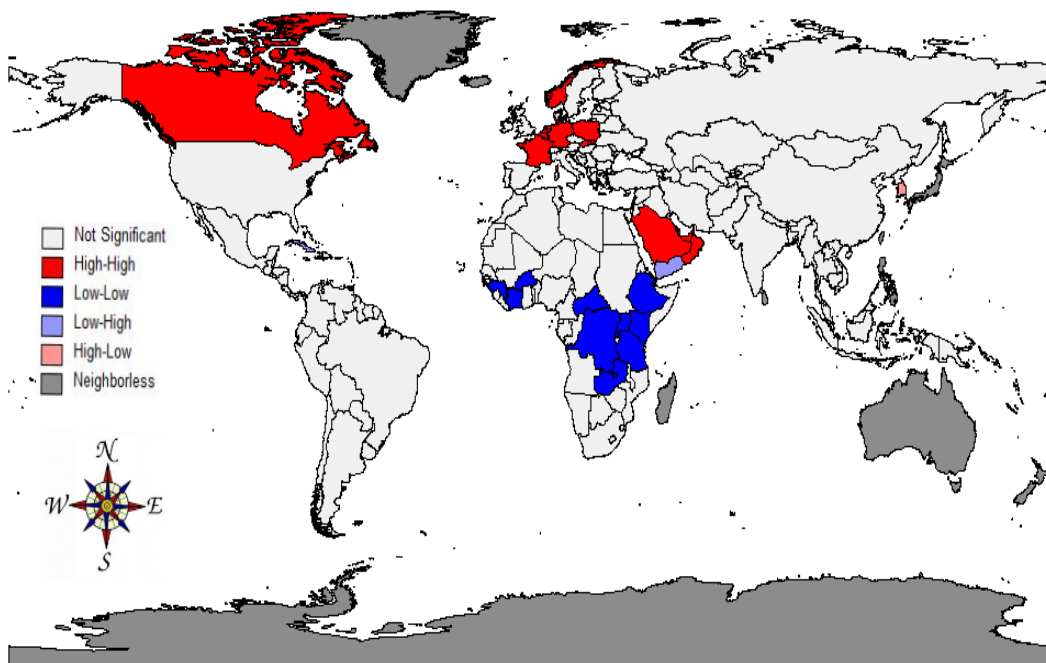
A Curva de Kuznets Ambiental faz a relação entre preço ambiental e nível de renda. Como o objetivo é provar que existe relação entre essas variáveis, entretanto, essas variáveis não estão disponíveis, para resolver este problema utiliza-se o PIB per capita no lugar da renda e para a pressão ambiental escolhe-se uma variável medida globalmente e resultante da atividade humana a emissão de CO₂ per capita.

Os dados foram coletados através do site do Banco Mundial (The World Bank, 2014), contendo 214 regiões. Às regiões que não possuíam valores para as duas variáveis foi atribuído o valor zero. As amostras coletadas foram com relação ao PIB per capita dos países e suas emissões de CO₂ cúbicas per capita. Os anos de 1994 e 2009 foram os selecionados para o estudo. As variáveis foram analisadas usando o programa GEODA.

RELAÇÃO ESPACIAL UNIVARIADA DA EMISSÃO DE CO₂ PER CAPITA.

Na figura 4 há dois clusters de CO₂ per capita univariados Alto-Alto, envolvendo os seguintes países no primeiro Polônia, Países Baixos, Noruega, Alemanha, Bélgica e Eslováquia. No segundo estão presentes os seguintes países, Arábia Saudita, Omã, Emirados Árabes Unidos. Pode-se dizer que essas áreas possuem elevadas emissões de CO₂ per capita e estão circundados por regiões com alta emissão de CO₂ per capita.

Figura 4: Mapa de *Clusters* da emissão per capita de CO₂ do ano de 1994.

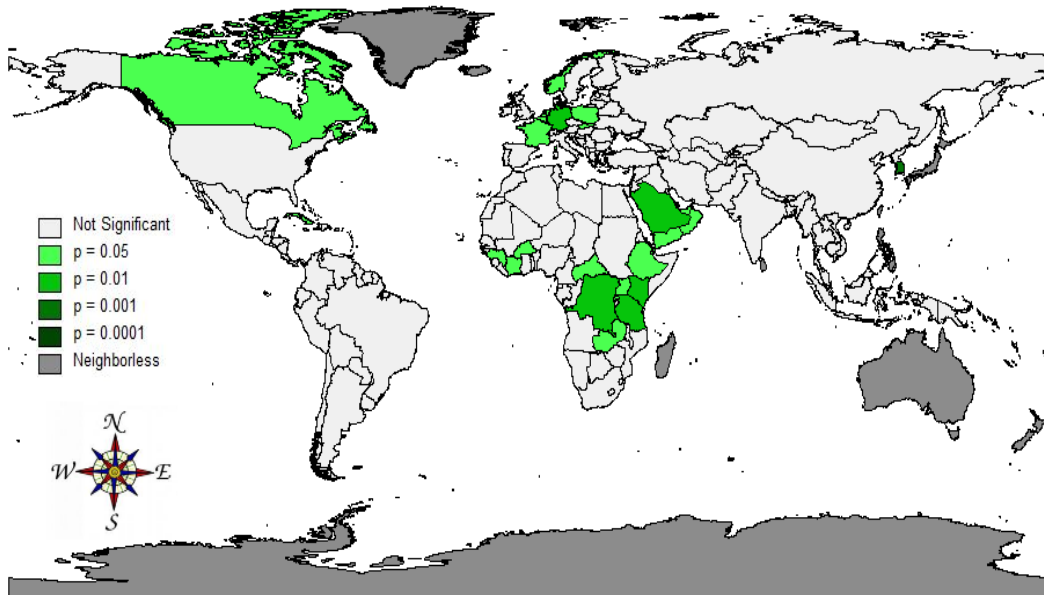


Fonte: Elaborado pelos autores através do programa GEODA

Existem também dois clusters Baixo-Baixo univariados na figura 4, as regiões que contemplam o primeiro cluster são Guiné, Costa do Marfim, Burkina

Faso. No segundo estão presentes os seguintes países Etiópia, Quênia, Tanzânia, Uganda, Zâmbia, Ruanda, República Democrática do Congo e República Centro Africana. Entende-se que essas áreas possuem baixas emissões de CO₂ per capita e estão circundados por regiões com baixa emissão de CO₂ per capita.

Figura 5: Mapa do nível significância do ano de 1994

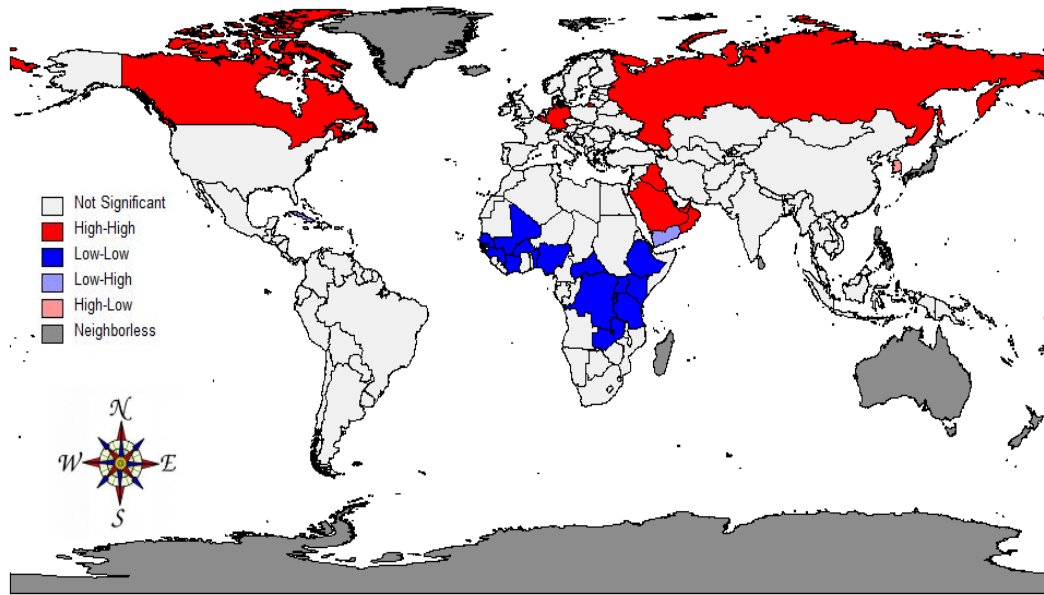


Fonte: Elaborado pelos autores através do programa GEODA

O nível de significância dos resultados é apresentado pela figura 5. A parte branca é não significativa, enquanto a parte cinza representa as regiões que não apresentou relação de vizinha. O nível de significância dos resultados vai aumentando conforme o verde vai se escurecendo, ou seja, quanto mais escuro for o verde mais significativo é o resultado.

A figura 6 mostra que há dois clusters de CO₂ per capita univariados Alto-Alto, envolvendo os seguintes países no primeiro Alemanha e Bélgica. No segundo estão presentes os seguintes países, Iraque, Arábia Saudita, Omã, Emirados Árabes Unidos. Pode-se dizer que essas áreas possuem elevadas emissões de CO₂ per capita e estão circundados por regiões com alta emissão de CO₂ per capita.

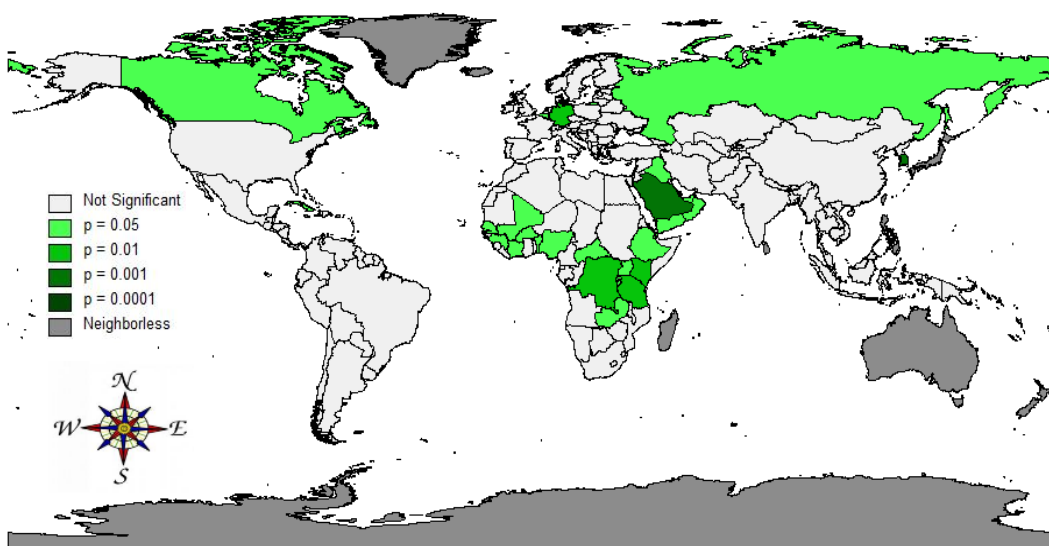
Figura 6: Mapa de *Clusters* da emissão per capita de CO₂ do ano de 2009



Fonte: Elaborado pelos autores através do programa GEODA

Há também dois clusters Baixo-Baixo univariados na figura 7, as regiões que contemplam o primeiro cluster são Guiné, Costa do Marfim, Burkina Faso, Nigéria, Benim, Mali e Senegal. No segundo estão presentes os seguintes países Etiópia, Quênia, Tanzânia, Uganda, Zâmbia, Ruanda, República Democrática do Congo, República Centro Africana e Burundi. Entende-se que essas áreas possuem baixas emissões de CO₂ per capita e estão na África reflexo direto das más condições econômicas, sociais e políticas que este continente vive. Eles estão cercados por regiões com baixa emissão de CO₂ per capita.

Figura 7: Mapa do nível significância do ano de 2009



Fonte: Elaborado pelos autores através do programa GEODA

O nível de significância dos resultados é apresentado pela figura 7. A parte branca é não significativa, enquanto a parte cinza representa as regiões que não apresentou relação de vizinha. O nível de significância dos resultados vai aumentando conforme o verde vai se escurecendo, ou seja, quanto mais escuro for o verde mais significativo é o resultado.

Pode-se perceber que os clusters Alto-Alto sofreram algumas modificações, no primeiro em 2009 apenas apareceram Alemanha e Bélgica, no segundo no mesmo ano apenas houve a inclusão do Iraque. Os clusters Baixo-Baixo também sofreram algumas mudanças entre elas, no primeiro no ano de 2009, houve a inclusão de Burundi, no segundo no mesmo ano, Nigéria, Benim, Mali e Senegal foram incluídos. Além das modificações nos clusters também percebemos novos países Alto-Alto que não formaram clusters, como a Rússia.

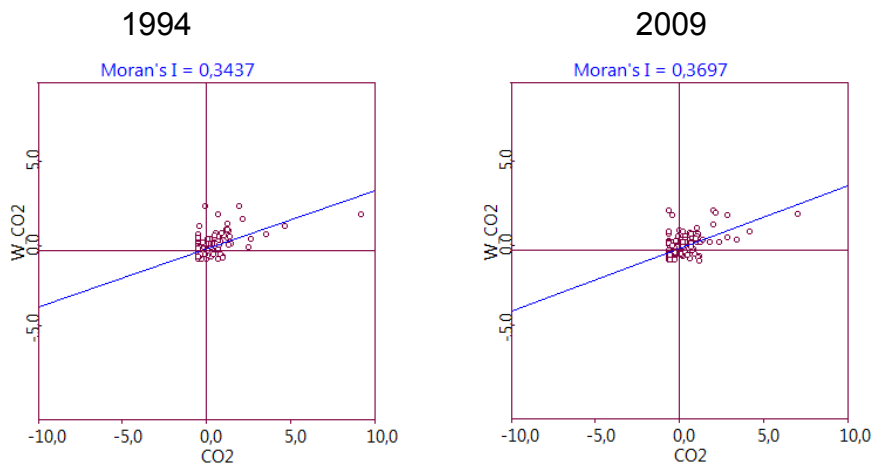
O protocolo de Kyoto deve atuar de forma negativa sobre a variável de emissão de CO₂ per capita, ou seja, o protocolo deve reduzir as emissões de CO₂ per capita. Provocando modificações no cenário dos mapas principalmente onde se concentra os países presentes no anexo I que tem metas obrigatórias, no caso principalmente a Europa.

Ao comparamos os mapas de 1994 e 2009 a expectativa com relação às alterações do cenário devido em partes ao protocolo de Kyoto são consideráveis, principalmente na Europa, ocorrendo uma clara modificação do cluster alto-alto formado. Em 1994 o cluster era composto por Polônia, Países Baixos, Noruega, Alemanha, Bélgica e Eslováquia e em 2009 apenas Alemanha e Bélgica mantiveram a relação alto-alto significativa, portanto representando uma melhora nos níveis de emissão de CO₂ per capita nas relações de vizinha entre os países.

O segundo cluster formado alto-alto não são de países presentes no anexo I, portanto não possuem metas obrigatórias, isso pode ter levado ao aumento de países neste cluster. No ano de 1994 o cluster era formado por Arábia Saudita, Omã, Emirados Árabes Unidos. Já no ano de 2009 por Iraque, Arábia Saudita, Omã, Emirados Árabes Unidos.

As mudanças são lentas nas relações de vizinhança de emissão de CO₂ per capita e certamente refletem acordos internacionais, como o protocolo de Kyoto, e políticas internas adotadas para a contenção da emissão de CO₂. O cluster Alto-Alto formado na Europa sofreu significativa mudança e o protocolo de Kyoto com o objetivo de reduzir as emissões de CO₂ merece destaque, porque foi adotado principalmente pelos países europeus e suas obrigações são mais significativas para estes (lembrando que as metas são obrigatórias apenas para os países no Anexo I, este contempla a maioria dos países europeus) é onde ocorreu maior modificação relativa nas relações de vizinha nos anos analisados. Portanto, é indubitavelmente o protocolo de Kyoto foi significativo para essa mudança de cenário.

Também percebemos que os clusters Baixo-Baixo se concentram principalmente na África devido principalmente aos problemas sociais, políticos e econômicos presentes neste continente que fazem sua atividade econômica e a renda na região ser relativamente baixa comparada ao restante do mundo. Na Europa temos uma atividade econômica relativamente mais elevada devido às condições sociais políticas e econômicas mais estáveis, além de fortes acordos econômicos na região, como a União Europeia, que propiciam uma renda maior na região, além de uma maior integração entre esses países nas áreas sociais, política, econômica e cultural. O resultado dessa disparidade cultural, econômica e social resulta em uma emissão mais baixa de CO₂ per capita no continente africano.

Figura 8: Diagrama de dispersão para o ano de 1994 e 2009

Fonte: Elaborado pelos autores através do programa GEODA

Analisando a figura 8, o resultado indica a existência de autocorrelação espacial positiva para emissão de CO₂ per capita cúbica para o ano de 1994 e 2009, ou seja, o I de Moran univariado é positivo (0,3437 e 0,3697 respectivamente) e este é maior que o I de Moran previsto (-0,004). Em outras palavras, o I de Moran é estatisticamente significativo, rejeitando-se a hipótese nula da aleatoriedade espacial.

Ao compararmos os I de Moran dos anos de 1994 e 2009, respectivamente 0,3437 e 0,3697, notamos que o ano de 2009 possui um I de Moran maior com relação ao ano de 1994. Tal resultado sugere que está havendo um aumento na relação de vizinhança espacial entre as regiões. Em outras palavras, a relação de emissão de CO₂ cúbica per capita de uma dada região está tendo um maior impacto em outra dada região vizinha. Como os indicadores são significativos percebemos também que a emissão de CO₂ cúbica per capita apresenta concentração em determinadas áreas, como visto nos mapas acima.

Na região Baixo-Baixo do diagrama acima se situam agrupamentos que apresentam valores baixos e suas regiões também apresentam valores baixos. Já as regiões Alto-Alto do diagrama encontram-se agrupamentos que apresentam valores altos e suas regiões também apresentam valores altos. No quadrante Alto-Baixo, encontram-se agrupamentos que apresentam altos valores e que são cercados por regiões com baixos valores. Finalmente, no quadrante Baixo-Alto, se situam agrupamentos que apresentam baixos valores e que são cercados por regiões com altos valores.

Ao compararmos os I de Moran univariados obtidos para emissão de CO₂ per capita (0,3437 e 0,3697 respectivamente) com os obtidos pelo PIB per capita (que apresentaram os seguintes valores 0,5910 e 0,5126 respectivamente), percebemos que a uma relação inversa entre eles. Ou seja, um aumento no I de Moran da emissão de CO₂ per capita leva a uma queda no I de Moran do PIB per capita, mais que proporcional. Verifica-se a seguir que o I de Moran bivariado é significativo, portanto, existe relação entre as variáveis. Estes fatos revelam uma provável existência da curva de Kuznets Ambiental com o formato de U invertido. Os resultados vão na direção da pesquisa realizada pelo Carvalho e Almeida(2010)

Os resultados obtidos com a estatística I de Moran estão de acordo com a expectativa teórica da curva de Kuznets Ambiental, ela prevê que nos estágios

iniciais do desenvolvimento econômico, no nosso caso as emissões de CO₂ per capita, se elevarão conforme a renda per capita aumentar, entretanto, somente até certo ponto. A partir de certo nível as emissões de CO₂ per capita irão começar a declinar com os aumentos na renda per capita, como resultados teremos que no curto prazo a CKA assumira o formato de U invertido.

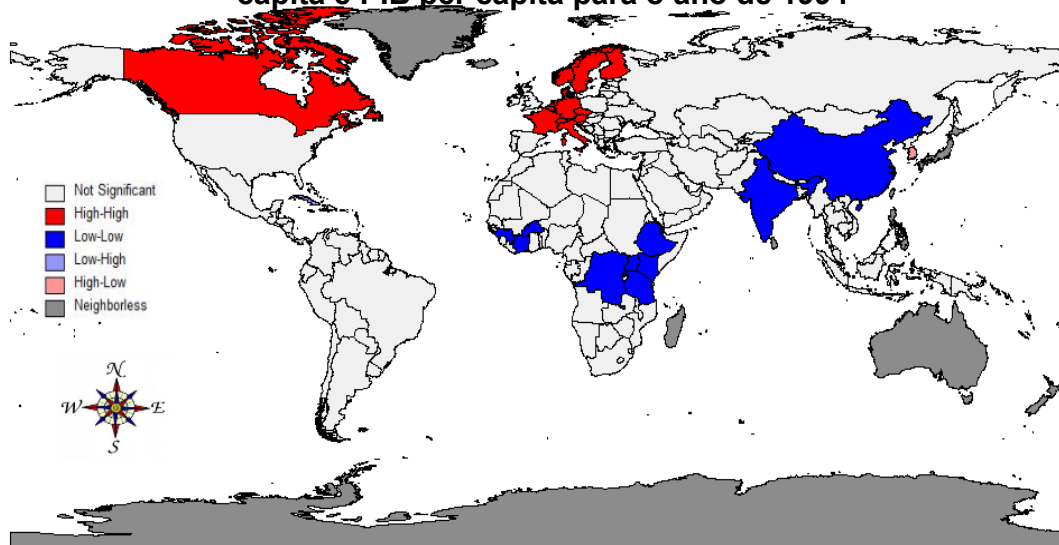
Almeida e Carvalho (2010) nos explica que isso ocorre porque a produção está aumentando e o país inicialmente está limitado pela sua baixa renda, o que faz ele utilizar pouca ou nenhuma técnica para controlar as suas emissões de poluentes. Conforme a renda vai aumentando e a produção deste país se torna mais competitiva, as prioridades dele mudaram para um controle maior das suas emissões de poluentes. Portanto, notamos a existência de uma relação inversa entre a emissão de CO₂ per capita e renda per capita.

Percebe-se que a estatística I de Moran também está tendo este comportamento, no ano de 1994 se obteve o valor de 0,34 para o mapa de emissões de CO₂ per capita e 0,36 para o ano de 2009. A estatística I de Moran univariada do mapa de emissão de CO₂ per capita sofreu um leve aumento de 0,02. Como a relação é inversa espera-se que o mapa de PIB per capita tenha sofrido uma queda e mais que proporcional. Obtivemos o valor de 0,59 para o I de Moran de 1994 do mapa de PIB per capita e 0,51 para o ano de 2009, portanto uma queda na estatística de 0,08, em proporção maior que o aumento da estatística do mapa de emissão de CO₂.

RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO PER CAPITA E PIB PER CAPITA

A figura 9 mostra que há um cluster bivariado Alto-Alto envolvendo os seguintes países, França, Itália, Suíça, Áustria, Alemanha, Países Baixos, Bélgica, Dinamarca, Reino da Noruega, Suécia e Finlândia. Pode-se dizer que essas áreas possuem elevadas emissões de CO₂ per capita e estão rodeadas por regiões com elevada renda per capita.

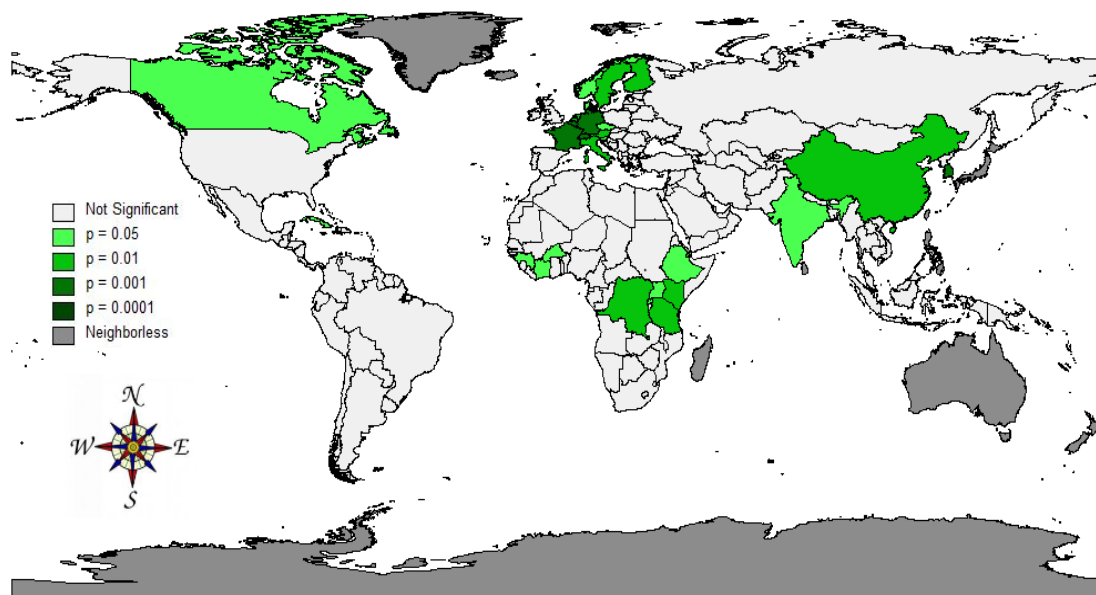
Figura 9: Mapa de *Clusters* para a relação entre emissões de CO₂ cúbica per capita e PIB per capita para o ano de 1994



Fonte: Elaborado pelos autores através do programa GEODA

Existe também três cluster bivariado Baixo-Baixo, o primeiro contemplando os seguintes países, China e Índia. O segundo contendo as seguintes regiões Etiópia, Quênia, Tanzânia, Burundi, Ruanda, Uganda, Congo, e Benim. O último é formado pelos seguintes países Burkina Faso, Costa do Marfim e Guiné. Essa região possui baixas com baixa emissão de CO₂ per capita que estão rodeados por regiões com baixa renda per capita. Existe ainda uma relação Alto-Baixo para Coreia do Sul, o que significa uma relação de emissão de CO₂ alta com uma renda per capita abaixo da média.

Figura 10: Mapa de Significância do ano de 1994



Fonte: Elaborado pelos autores através do programa GEODA.

O nível de significância dos resultados é apresentado pela figura 10. A parte branca é não significativa, enquanto a parte cinza representa as regiões que não apresentou relação de vizinha entre as variáveis. O nível de significância dos resultados vai aumentando conforme o verde vai se escurecendo, ou seja, quanto mais escuro for o verde mais significativo é o resultado.

Agora analisando para o ano de 2009, a figura 11 mostra que há um cluster bivariado Alto-Alto envolvendo os seguintes países, Reino Unido, França, Itália, Suíça, Áustria, Alemanha, Bélgica, Países Baixos, Noruega, Suécia e Finlândia. Pode-se dizer que essas áreas possuem elevadas emissões de CO₂ per capita e estão rodeadas por regiões com elevada renda per capita.

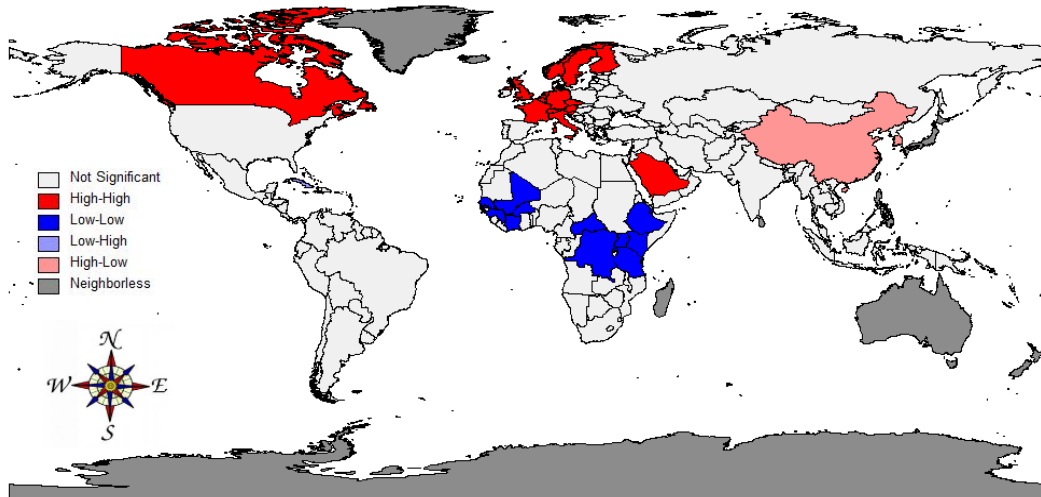
Há também dois clusters bivariado Baixo-Baixo, o primeiro contemplando os seguintes países, Etiópia, Uganda, Quênia, Ruanda, Tanzânia, Congo e Zâmbia. O segundo se constitui pelos seguintes estados Burkina Faso, Mali, Costa do Marfim, Guiné e Senegal. Essa região possui baixas com baixa emissão de CO₂ per capita que estão rodeados por regiões com baixa renda per capita. Existe ainda uma relação Alto-Baixo para Coreia do Sul e China, o que significa uma relação de emissão de CO₂ alta com uma renda per capita abaixo da média.

Ao compararmos os resultados obtidos de 1994 com 2009, percebemos uma pequena mudança nas relações espaciais, portanto, as relações de autocorrelação entre as variáveis analisadas se alteram lentamente. Ou seja, a relação espacial entre emissão de CO₂ cúbica per capita e PIB per capita se modificam pouco no

tempo, resultando em clusters praticamente idênticos. Percebemos isso claramente ao verificar que no cluster Alto-Alto, por exemplo, ouve a inclusão apenas do Reino Unido.

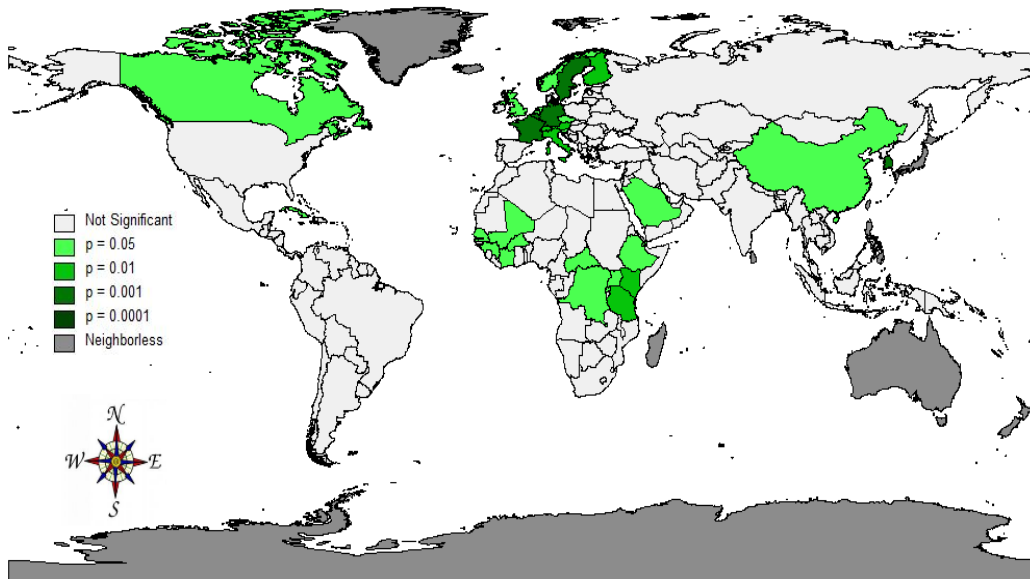
Ao observar os clusters formados tanto para o ano de 1994 e 2009 percebe-se também uma contradição entre o continente Africano e Europeu, o primeiro com clusters Baixo-Baixo e o outro com clusters Alto-Alto que refletem sem dúvida nenhuma as condições sociais, políticas e econômicas de cada região. A Europa apresenta condições sociais políticas e econômicas mais estáveis, além de fortes acordos econômicos na região, como a União Europeia, que propiciam uma renda maior na região, além de uma maior integração entre esses países nas áreas sociais, política, econômica e cultural. Na África temos justamente o contrário, guerras, conflitos internos, economias incipientes, entre outros problemas culturais, sócias, políticos e econômicos, que fazem a renda nesta região normalmente apresentar valores baixos e desiguais ao restante do mundo. Os resultados vão na direção do estudo de Carvalho e Almeida(2010)

Figura 11: Mapa de *Clusters* para a relação entre emissões de CO₂ cúbica per capita e PIB per capita para o ano de 2009



Fonte: Elaborado pelos autores através do programa GEODA

Figura 12 - Mapa de Significância do ano de 2009

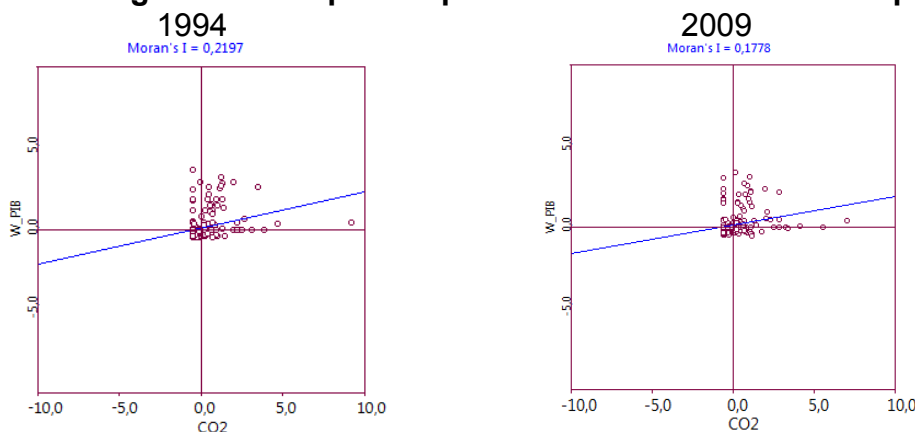


Fonte: Elaborado pelos autores através do programa GEODA

O nível de significância dos resultados é apresentado pela figura 12. A parte branca é não significativa, enquanto a parte cinza representa as regiões que não apresentou relação de vizinha entre as variáveis. O nível de significância dos resultados vai aumentando conforme o verde vai se escurecendo, ou seja, quanto mais escuro for o verde mais significativo é o resultado.

Segundo a Figura 13, o índice de Moran declinou entre 1994 e 2009. Observando o diagrama apresentado na Figura 13, o resultado para o ano de 1994, indica a existência de autocorrelação espacial positiva para emissão de CO₂ per capita cúbica e o PIB per capita, ou seja, o I de Moran bivariado é positivo (0,2197) e este é maior que o I de Moran previsto (-0,004). Em outras palavras, o I de Moran é estatisticamente significativo, rejeitando-se a hipótese nula da aleatoriedade espacial. A interpretação é que as regiões que apresentam elevada emissão de CO₂ cúbica per capita tendem a estarem rodeadas por microrregiões vizinhas com um PIB per capita alto, as regiões com baixa emissão de CO₂ cúbica per capita são vizinhas de microrregiões com baixa renda per capita (PIB per capita).

Figura 13 - Diagrama de dispersão para o ano de 1994 e 2009 respectivamente



Fonte: Elaborado pelos autores através do programa GEODA

Analisando a figura 10 para o ano de 2009, o resultado indica a existência de autocorrelação espacial positiva para emissão de CO₂ per capita cúbica e o PIB per capita, ou seja, o I de Moran bivariado é positivo (0,1778) e este é maior que o I de Moran previsto (-0,004). Em outras palavras, o I de Moran é estatisticamente significativo, rejeitando-se a hipótese nula da aleatoriedade espacial. A interpretação é que as regiões que apresentam elevada emissão de CO₂ cúbica per capita tendem a estarem rodeadas por microrregiões vizinhas com um PIB per capita alto, as regiões com baixa emissão de CO₂ cúbica per capita são vizinhas de microrregiões com baixa renda per capita (PIB per capita).

De acordo com Almeida (2012), no primeiro quadrante do diagrama de dispersão de Moran, situa-se os valores Alto-Alto (são as regiões com valores altos de emissão de CO₂ cúbica per capita, no eixo das abscissas, circundados por regiões que também possuem valores altos da outra variável (PIB per capita), está no eixo das ordenadas), no segundo quadrante temos os valores Baixo-Alto (são regiões com valores baixos de emissão de CO₂ cúbica per capita no eixo das abscissas, circunvizinhos por regiões com valores altos da outra variável), o terceiro quadrante apresenta os valores Baixo-Baixo (significa que os valores baixo de emissão de CO₂ cúbica per capita são vizinhos dos valores baixo do PIB per capita) e o quarto quadrante exhibe o agrupamento Alto-Baixo (neste os valores Alto da variável analisada (de emissão de CO₂ cúbica per capita) estão rodeados pelos valores baixo da renda per capita).

A comparação dos resultados do I de Moran dos anos de 1994 e 2009, respectivamente 0,2197 e 0,1778, permite verificar que o ano de 1994 possui um I de Moran maior com relação ao ano de 2009. Tal resultado sugere que está havendo uma diminuição na relação espacial entre as regiões. Em outras palavras a relação de emissão de CO₂ cúbica per capita e PIB per capita de uma dada região está tendo um menor impacto em outra dada região vizinha.

De acordo com Almeida e Carvalho (2010) a estatística I de Moran bivariada objetiva verificar se os valores observados em uma dada região guardam alguma relação com os valores observados de outra variável em regiões vizinhas, ou seja, se pretende verificar a existência de um padrão global entre duas variáveis diferentes.

Como a estatística I de Moran bivariada apresentou valor significativo, aceita-se a hipótese da existência de relação entre a emissão de CO₂ per capita e PIB per capita. Logo, segundo a teoria econômica deverá apresentar o comportamento descrito pela curva de Kuznets Ambiental, que afirma que nos estágios iniciais do desenvolvimento econômico o aumento da renda leva a aumentos na poluição, entretanto, a partir de certo ponto a poluição começa a cair com os aumentos na renda.

Isso ocorre porque nos estagio iniciais do desenvolvimento em um país com baixa renda a preocupação é o crescimento e atividade econômica acelerada pode ocasionar a degradação do meio ambiente, pela falta ou pela inexistência de técnicas ou leis que limitem as emissões de poluentes. Conforme a renda e a produtividade vão aumentando o meio ambiente passa a se tornar prioridade e técnicas de controle da emissão de poluentes são adicionadas a produção, provocando queda nas emissões de poluentes, mesmo com aumentos da renda e também novas leis mais rígidas tendem a valorizar a proteção ambiental.

Como todos os indicadores do I de Moran são significativos pode-se comprovar a existência de relação espacial entre as variáveis PIB per capita e CO₂

per capita, portanto, este é mais um indicio da provável existência da curva de Kuznets ambiental. O formato da curva no curto prazo deverá ter um formato de U uma vez que os resultados apresentados pela análise dos I de Moran univariados realizada no item anterior mostram resultados que levaram a essa conclusão. Para se descobrir se realmente existe relação entre a emissão de CO₂ per capita e PIB per capita, necessitar-se-ia de uma estatística que relacionasse estas duas variáveis. A estatística do I de Moran bivariado foi estimada buscando verificar a existência de possível relação entre as duas variáveis descritas anteriormente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento econômico e a preservação do meio ambiente estão interligados entre si, uma vez que o primeiro não se mantém sem o segundo. Estudar as relações entre a renda per capita e a emissão per capita ajuda a compreender estas relações e como uma influencia na outra.

A teoria da curva de Kuznets descreve a trajetória da poluição de um estado como resultado do seu desenvolvimento econômico em dado período de tempo. A CKA deverá assumir o formato de U invertido no curto prazo, uma vez que está prevê que nos estágios iniciais do desenvolvimento econômico o crescimento da renda provocará a degradação ambiental, mas somente até certo momento, depois os aumentos na renda farão com que tal degradação comece a diminuir.

Portanto, o objetivo deste artigo é buscar elementos que poderiam comprovar a curva de Kuznets Ambiental, através dos I de Moran bivariados que, objetivam verificar se os valores observados em uma dada região guardam alguma relação com os valores observados de outra variável em regiões vizinhas, ou seja, se as variáveis apresentam relação entre si. Eles apresentaram valores significativos o que permite afirmar que há a relação entre as variáveis e esta relação é estatisticamente significativa de forma que se verifica a provável existência da curva de Kuznets ambiental global, uma vez que existe relação espacial entre as variáveis analisadas que são CO₂ per capita e PIB per capita.

Comparando os I de Moran bivariados nos anos de 1994 e 2009, notamos que o primeiro ano possui um I de Moran maior com relação ao ano de 2009. Tal resultado sugere que está havendo uma diminuição na relação espacial entre as regiões. Em outras palavras a relação de emissão de CO₂ per capita e PIB per capita de uma dada região está tendo um menor impacto em outra dada região vizinha.

Obtivemos a formação de clusters bivariados Alto-Alto na Europa e na África ocorreu à formação de clusters bivariados Baixo-Baixo para os anos de 1994 e 2009. Nestes anos o mapa nos revelou apenas pequenas modificações nas inclusões e exclusões de países desses clusters, mostrando que as modificações espaciais ocorrem lentamente. Os clusters formados e suas respectivas características certamente estão relacionados às condições políticas, econômicas e sociais que estas regiões apresentam.

Na análise do I de Moran univariado era esperado que para que fosse aceita a hipótese da curva de Kuznets ambiental a relação entre eles fosse oposta, ou seja, um aumento na estatística da renda gere uma queda mais que proporcional na estatística das emissões de CO₂ e vice e versa.

Comparando os I de Moran univariados obtidos para emissão de CO₂ per capita com os obtidos pelo PIB per capita percebe-se que há uma relação inversa

entre eles. Ou seja, um aumento no I de Moran da emissão de CO₂ per capita leva a uma queda no I de Moran do PIB per capita, mais que proporcional. Estes fatos fortalecem a provável existência da curva de Kuznets Ambiental no formato de U invertido.

Outro ponto da pesquisa era averiguar a mudança nas relações espaciais da emissão de CO₂ per capita e verificar se o protocolo de Kyoto foi capaz de realizar modificações neste cenário uma vez que ele ficou em vigor neste período. O protocolo de Kyoto deve atuar de forma negativa sobre a variável de emissão de CO₂ per capita, ou seja, o protocolo deve reduzir as emissões de CO₂ per capita. Provocando modificações no cenário dos mapas principalmente onde se concentra os países presentes no anexo I que tem metas obrigatórias, no caso principalmente a Europa.

Nota-se que as relações espaciais de CO₂ per capita se modificam lentamente e que apesar disso certamente o protocolo de Kyoto deve ter tido algum efeito. Percebe-se isso ao analisar o cluster Alto-Alto formado na Europa que sofreu significativa mudança. O protocolo de Kyoto foi aprovado com o objetivo de reduzir as emissões de CO₂ e merece destaque, porque foi adotado principalmente pelos países europeus, onde ocorreu a modificação relativa nas relações de vizinhança nos anos analisados e neste sentido os resultados obtidos confirmam para um período mais recente os resultados de Carvalho e Almeida(2010).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E.; CARVALHO, T. S., A hipótese da curva de Kuznets ambiental global: uma perspectiva econométrico-espacial. **Estud. Econ.**, São Paulo, v. 40, n. 3, Sept. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-1612010000300004&script=sci_arttext>. Acessado em: 26 nov. 2013.
- ALMEIDA, E. **Curso de Econometria Espacial Aplicada**. ESALQ-USP: Piracicaba, 2004.
- ALMEIDA, E. **Econometria espacial aplicada**. Campinas: Editora Alínea, 2012.
- ALMEIDA, E. S.; FERREIRA P. G. C.; PEROBELLI, F. S., Existe convergência espacial da produtividade agrícola no Brasil? **RER**, Rio de Janeiro, vol. 46, n. 01, p. 031-052, jan/mar 2008.
- ANSELIN, L. **Spatial Econometrics**. Universidade do Texas em Dallas, Escola de Ciências Sociais, 26 de abril de 1999.
- ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association – LISA. **Geographical Analysis**, 27, n. 2, p. 93-115, 1995.
- ARRAES, R. A.; DINIZ, Marcelo B.; DINIZ, Márcia J. T. Curva ambiental de Kuznets e desenvolvimento econômico sustentável. **RER**, Rio de Janeiro, vol. 44, nº 03, p. 525-547, jul/set 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-20032006000300008&script=sci_arttext>. Acessado em: 25/11/2013.
- ARROW, *et al.* Economic growth, carrying capacity, and the environment. **Science** n.268, p. 520–521, 1995. Disponível em: <http://www.precaution.org/lib/06/econ_growth_and_carrying_capacity.pdf>. Acesso em: 22 jun 2009.
- BANCO MUNDIAL. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC>>. Acesso em: 26 nov. 2013.

- BANCO MUNDIAL. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicador/NY.GDP.PCAP.CD>>. Acessado em: 26 nov. 2013.
- COSTANZA, R., CUMBERLAND, J., DALY, H. *et al.* **An Introduction to Ecological Economics**. ISEE. International Society for Ecological Economics. Florida: St Lucie Press Boca Raton, 2000.
- CMMAD. Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro: FGV, 1988.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente do Brasil. **Protocolo de Quioto**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/protocolo-de-quioto>. Acessado em: 13 nov. 2013.
- DINIZ, S. S.; CAMARA, M. R. G.; MASSAMBANI, M. O.; ANHESINI, J. A. R.; FILHO, A. S., **Análise espacial da produtividade da laranja dos municípios do estado de São Paulo: 2002-2010**. In: Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/?op=paginas&tipo=secao&secao=7&pagina=7>>. Acesso em: 10 abr. 2014.
- LOMBORG, B. **O Ambientalista Cético**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.
- RATTNER, H. **Liderança para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Nobel, 1999.
- THOMAS, Janet M.; CALLAN, Scott J. **Economia Ambiental: aplicações, políticas e teoria**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. **Clean Development Mechanism (CDM)**. Disponível em: http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/clean_development_mechanism/items/2718.php. Acesso em: 08 ago. 2014 .
- UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. **International Emissions Trading**. Disponível em: http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/emissions_trading/items/2731.php. Acessado em: 08/08/2014 - B.
- UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. **Joint Implementation (JI)**. Disponível em: http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/joint_implementation/items/1674.php. Acessado em: 08 ago. 2014.

Enviado em: 15/08/2014

Aprovado para publicação em: 11/12/2014