

## Indutores de impactos ambientais: uma análise comparativa entre BRICS E G7 (1992-2013)

Samia Mercado Alvarenga<sup>1</sup>  
Valny Giacomelli Sobrinho<sup>2</sup>

### Resumo:

O objetivo deste artigo é analisar o impacto ambiental em economias que vivenciam diferentes estágios de desenvolvimento e verificar o comportamento dos indutores população e renda. Para tanto, utiliza-se *Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology* (STIRPAT) aplicada ao G7 e aos BRICS. Os resultados mostram que, no período de 1992 a 2013, a população exerceu impacto estatisticamente significativo e positivo para os dois blocos, enquanto a afluência exerceu impacto negativo no G7 e positivo nos BRICS, sendo estatisticamente significativa para ambos. Conclui-se que os esforços dos BRICS para atingir o desenvolvimento se dão à custa de danos ambientais, e que tanto a população quanto a renda explicam o impacto ambiental nesse grupo. Em contraste, países desenvolvidos tendem a diminuir seu impacto à medida que a renda aumenta.

**Palavras-chave:** Impactos Ambientais; STIRPAT; Dados em Painel; BRICS; G7.

### Inductors of environmental impacts: a comparative analysis between the brics and G7 (1992-2013)

### Abstract:

The objective of this paper is to analyze the environmental impact in economies that have experienced different levels of development, and verify the inducing behavior of population and income. To this end, the *Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology* (STIRPAT) applied to BRICS and G7 countries. The results showed that, between 1992 and 2013, population has a statistically significant and positive impact within both blocs, whereas affluence, equally significant, exerts a negative impact within the G7 and a positive one within the BRICS. It can be concluded that the BRICS's efforts to achieve the development take place at the cost of environmental damage, and that both population and income explain the environmental impact within this group. In contrast, developed countries tend to reduce their impact as their income rises.

**Keywords:** Environmental Impacts; STIRPAT; Panel Data; BRICS; G7.

**Classificação JEL:** O57; C23; Q51.

- 
- 1 Mestranda do Programa de pós Graduação em Economia da Universidade Federal de Sergipe (UFS), graduada em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: samia\_alvarenga@hotmail.com
  - 2 Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), mestre em Environmental Sciences pela Wageningen University and Research Centre (2000), graduado em Ciências Econômicas e também Comunicação Social - Jornalismo pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: giacomelliv@yahoo.com.br

## 1. Introdução

A partir dos anos 1970, uma série de discussões sobre o meio ambiente foi levantada. As preocupações com a poluição e o esgotamento das reservas naturais passaram a questionar a maneira como o sistema econômico se relaciona com a natureza. O crescimento econômico e a expansão da população foram identificados como principais agentes causadores de pressões ambientais (PIRES, 2017). Contudo, as nações desenvolvidas se mostravam pouco dispostas a abrir mão das crescentes taxas de PIB, enquanto as nações em desenvolvimento alegavam que o aumento do produto seria vital para que níveis melhores de bem-estar fossem atingidos. Aos poucos, os tratados e as convenções alertavam, em nível mundial, para a importância e a urgência de se preservar o capital natural.

Diante do dilema de progredir e preservar, as Ciências Econômicas, cuja tarefa é alocar recursos escassos, veem-se impelidas a incluir o meio ambiente em suas análises. Preocupados com as agressões à natureza, cientistas de todas as áreas desenvolveram estudos para avaliar as consequências da ação humana no ambiente natural. Assim, foi desenvolvida a *Impacts by Population Affluence and Technology* (IPAT), fórmula multiplicativa desses fatores que tem como resultado o tamanho do impacto total. A IPAT é muito eficiente em mensurar a magnitude, mas limitada em termos de variáveis e tempo. Para análises em horizontes temporais mais longos, é preciso utilizá-la na forma estocástica, denominada *Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology* (STIRPAT). Além de permitir uma explanação mais ampla do fenômeno, a STIRPAT possibilita a inclusão de mais variáveis no modelo. Outra vantagem da STIRPAT é o fato de ela mostrar a contribuição relativa de cada indutor no impacto, isto é, em termos de taxas de variação individual de cada fator, o que na IPAT é impossível, visto que ela calcula o impacto em termos absolutos.

Diante do exposto, este estudo parte das seguintes hipóteses: a primeira é que, devido aos seus altos níveis de renda per capita, os países desenvolvidos teriam a afluência como maior indutor de impacto; já a segunda supõe que, para países em desenvolvimento, a população exerça maior impacto. O estudo retratado neste artigo tem o intuito de responder: quais indutores, dentre a população e a renda, exercem maior pressão sobre a natureza no período de 1992 a 2013 nos BRICS e no G7? Assim, tem-se como objetivo geral verificar o comportamento dos indutores população e renda em economias que vivenciam diferentes estágios de desenvolvimento.

Para tanto, define-se, como amostra para os países desenvolvidos, o bloco G7; para os países em desenvolvimento, o bloco dos BRICS. O período escolhido para análise tem a pretensão de contemplar a década de 1990 e os anos 2000, haja vista sua importância na história da política climática e hegemônica do mundo, não só porque nos anos 1990 foram realizadas conferências internacionais sobre meio ambiente e desenvolvimento e a ratificação do Protocolo de Kyoto, mas também porque no início dos anos 2000 houve o reconhecimento dos BRICS como bloco

econômico emergente. Em busca de resposta, aplica-se a IPAT na sua forma estocástica, a STIRPAT.

Nas próximas seções são contextualizados o meio ambiente e os impactos ambientais nas discussões econômicas, reunindo os elementos necessários para compreender o que é o impacto ambiental, como ele é calculado e sua relação com as variáveis utilizadas no estudo. Posteriormente são expostos os resultados e, por último, nas considerações finais, retomam-se os resultados juntamente com algumas discussões pertinentes ao tema.

## 2. Natureza, economia e impactos ambientais

A exacerbada poluição nos países desenvolvidos, somada à crise do petróleo na década de 1970, colocou em dúvida o crescimento econômico, cujas prerrogativas eram a perfeita substituição dos insumos e a utilização intensiva dos recursos naturais (FAUCHEUX, 1995). Há bem pouco tempo, as questões que mais ocupavam os economistas estavam ligadas à maximização da eficiência, cujo fim último era o aumento da riqueza material. O potencial produtivo das nações servia como indicador de progresso. No pós-Segunda Guerra, diante da missão de recuperar as economias solapadas pelo conflito mundial, as preocupações econômicas com o aumento do Produto Interno Bruto deram espaço a medidas que englobavam o melhoramento da economia no âmbito social e ambiental (LEAR, 2010).

Nessa época, vieram à tona uma série de discussões internacionais acerca da degradação ambiental, as quais culminaram com o relatório intitulado Limites ao Crescimento (OLIVEIRA, 2017). Nele, constam previsões do destino da humanidade em longo prazo. As principais conclusões apontavam para um futuro temeroso, cujo colapso se daria em menos de cem anos, caso fossem mantidos os ritmos vigentes de crescimento populacional, industrialização, poluição e depleção de recursos naturais (BRÜSEKE, 1995). Para retardar esse processo, o relatório sugeria um crescimento zero a ser atingido mediante o congelamento do crescimento populacional global e do capital industrial. Tais medidas soaram como uma afronta à sociedade capitalista. Se, por um lado, os países desenvolvidos precisavam frear o ritmo de crescimento, por outro, os países em desenvolvimento acreditavam que melhores níveis de bem-estar só seriam possíveis com aumento do produto.

Mais adiante, foi divulgado o Relatório do Planeta Vivo pelo *World Wildlife Fund For Nature* (WWF, 2006). Nele são descritas as condições ambientais e o nível de pressão antropogênica exercido sobre a natureza. Para tal mensuração, foi utilizada a Pegada Ecológica<sup>3</sup>, cujos cálculos demonstraram que em 2013 a civiliza-

3 A Pegada Ecológica (PE) está ligada ao conceito de biocapacidade, ou seja, à capacidade ecológica que os ecossistemas têm de se sustentarem. De maneira simplificada, a PE fornece o saldo líquido, expresso em hectares globais, de tudo o que a sociedade demanda para manter seu padrão de vida.

ção estaria consumindo mais de 50% dos recursos naturais disponíveis no planeta (WWF, 2017). Aos poucos, as preocupações com a escassez e a depleção do capital natural desencadearam estudos que investigavam a interação do homem com a natureza tornando crescente o desafio científico de mensurar de forma quantitativa e correta a magnitude do impacto ambiental<sup>4</sup>, bem como a escolha dos indicadores apropriados para tal tarefa.

Alguns estudos entram em consenso ao identificar a população, a atividade econômica e a tecnologia como principais forças motrizes das alterações ambientais provocadas pelo homem (JORGENSEN, 2003). Dessa forma, sobressaem-se os posicionamentos de Ehrlich, Holdrem (1971) e Commoner (1972), que relacionam os impactos ambientais ao aumento geométrico da população, da evolução dos padrões de consumo e dos ajustamentos tecnológicos da produção. Ehrlich e Holdrem (1971) acreditavam que uma população em ritmo crescente exerceria forte pressão sobre a natureza, pois mais pessoas representariam uma maior demanda por bens, especialmente alimentos. Para que essa demanda fosse atendida, seria preciso aumentar a produção, o que, conseqüentemente, aumentaria a geração de resíduos e poluentes, além de levar os recursos naturais à exaustão.

Os autores reativam as discussões malthusianas, segundo as quais a população crescerá em progressão geométrica, ao passo que a produção de alimentos crescerá em progressão aritmética. Também se atrelam os impactos ambientais ao crescimento da afluência, dado que a demanda por bens, intensificada pela indústria do consumo de massa, faz crescer a degradação do meio ambiente. Pioneiramente, os efeitos da afluência sobre a natureza já haviam sido analisados por Grossman e Krueger (1995) através da Curva Ambiental de Kuznets (CAK). A CAK relaciona renda (Produto Interno Bruto) com indicadores de degradação ambiental, tais como as emissões de dióxido de carbono, e mostra, através da sua trajetória em “U” invertido, que as emissões crescem com o aumento da renda até um ponto de inflexão. Com isso, as emissões tendem a cair com o aumento da renda.

O evidente otimismo dessa análise mostra que o crescimento econômico, embora gere pressões ambientais na sua fase inicial, produziria externalidades positivas à medida que aumentos da renda possibilitassem o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e limpas (CAVIGLIA- HARRIS et. al., 2009). Enquanto alguns trabalhos corroboram o comportamento da Curva Ambiental de Kuznets, tais como os de Grossman e Krueger (1995), outros divergem quanto aos resultados. Dinda, Coondoo e Pal (2000) relacionaram a renda às emissões de dióxido

---

No cálculo da Pegada Ecológica (PE), são levadas em consideração as áreas de pastagem, de floresta, de pesca, de plantações, além da área construída e da área necessária para o sequestro de carbono (EWING et. al., 2010). Assim, a PE pode ser traduzida como área produtiva que consegue repor o capital natural necessário para sustentar o modelo de vida de uma pessoa ou população.

4 Impacto ambiental é toda e qualquer alteração (física, química ou biológica) no meio ambiente proveniente direta ou indiretamente da atividade antropogênica. Os fatores que acarretam ou potencializam tais alterações são denominados indutores de impacto (FOGLIATI et. al., 2014).

de enxofre e mostraram que, primeiramente, as emissões de dióxido de enxofre declinam à medida que a renda cresce e, num segundo momento, apresentam uma trajetória conjunta ascendente.

A literatura sobre impactos ambientais ainda carece de pesquisas para determinar categoricamente se a afluência diminui ou aumenta a pressão sobre a natureza, e se essa pressão é maior ou menor que a exercida pela população. Bongaarts (1992) argumenta que, para determinar a relevância dos indutores de impacto, é preciso, antes de tudo, atentar para o contexto de desenvolvimento dos países. Assim, para nações menos desenvolvidas, o impacto ambiental seria dado em primeiro lugar pelo crescimento econômico, que intensificaria as emissões de poluentes; em segundo, viria o crescimento populacional. Já em países desenvolvidos, as mudanças nas intensidades energéticas são mais importantes que os fatores econômicos e populacionais.

Commoner (1971) chama atenção para os riscos ecológicos inerentes ao modo de produção tóxica. De acordo com o autor, o impacto seria especificado pela quantidade de poluentes lançada anualmente na natureza. Assim, os fatores tecnológicos teriam influência direta no impacto ambiental, uma vez que demonstram a eficiência dos meios de produção em reduzir ou aumentar a descarga de poluentes por unidade de produto (MATTOS, 2007). As ideias de Ehrlich e Holdrem (1971), aliadas a Commoner (1972), deram origem ao pensamento quantitativo do impacto ambiental quando desenvolveram a IPAT (Equação 1).

$$I=P \times A \times T$$

A IPAT é uma identidade matemática simples, sistemática e robusta, que mede a intensidade e o impacto ambiental por meio da multiplicação da população (P); da afluência (A), representada pela riqueza ou atividade econômica; e da tecnologia (T) por unidade de atividade econômica, determinada pela maneira como se produzem bens e serviços (DIETZ; ROSA, 1997). Trata-se, portanto, de um modelo contábil que evidencia o fato de os indutores atuarem de forma conjunta, uma vez que mudanças em um fator são multiplicadas pelos demais fatores. Isso significa que, mesmo existindo variação em um dos fatores, mantendo-se os demais constantes, o fator variável é incapaz de explicar sozinho o impacto (YORK; ROSA; DIETZ, 2002). O modelo é até hoje utilizado por cientistas do mundo inteiro. Todavia, tem recebido severas críticas.

Dentre as limitações da IPAT, Dietz e Rosa (1994) apontam a impossibilidade de incorporar outras variáveis relevantes no impacto, por exemplo, da taxa de crescimento, distribuição e composição da população; como também de avaliar o impacto associado a cada indutor, uma vez que seus coeficientes são todos iguais à unidade.

No intuito de corrigir algumas das limitações mais graves da IPAT, Dietz e Rosa (1994, 1997) lançam mão da STIRPAT, uma versão estocástica do modelo anterior que acomoda um número maior de variáveis e permite a análise do impacto

sob várias dimensões (institucionais, culturais e geográficas). Para Dietz e Rosa (1994), o STIRPAT é um modelo que estima os efeitos diretos e indiretos das forças motrizes, captando sua complexidade e suas interações. No STIRPAT, cada variável multiplicativa (P, A, T) representa uma função potência, tal que  $I = P^a A^b T^c$ . Com  $a$ ,  $b$  e  $c$  não nulos e diferentes da unidade, é possível avaliar, separadamente, o impacto atribuído a cada variável independente, conforme segue:

$$I_i = aP_i^b A_i^c T_i^d \varepsilon_i \quad (2)$$

A variável “T” passa a ser uma *proxy* para o impacto causado pela ação humana, ou seja, uma medida que se aproxima da realidade. P, A e T preservam o mesmo significado empregado à IPAT, com a diferença de que a tecnologia “T” passa a ser analisada independentemente de I, P e A. O termo de erro “ $\varepsilon$ ” engloba todas as variáveis não controladas que podem vir a gerar impactos ambientais, sejam elas organizacionais, institucionais, sociais ou de efeitos não incluídos no modelo (DIETZ; ROSA, 1994). O subscrito “i” adicionado às variáveis demonstra que as quantidades variam de acordo com as unidades observadas. Esse índice não era necessário na IPAT porque a contabilização considerava apenas uma observação no tempo. Os coeficientes “a”, “b”, “c” e “d” são os termos a serem estimados de acordo com as observações (DIETZ; ROSA, 1994). No caso de  $a = b = c = d = 1$ , tem-se a clássica IPAT, o que assegura os pressupostos originais e evidências que a STIRPAT é a derivação do modelo inicial (DIETZ; ROSA, 1994). Dados os coeficientes constantes, a estimação pode ser feita por meio de logaritmos naturais:

$$\ln(I) = \ln(a) + b[\ln(P)] + c[\ln(A)] + d[\ln(T)] + \ln(\varepsilon) \quad (3)$$

A forma logarítmica estima os parâmetros verificando a variação percentual em I quando P e A variam 1%, sendo  $b$  e  $c$ , portanto, medidas de elasticidade. A tecnologia, por não ter uma variável que a expresse adequadamente, é incorporada ao erro (DIETZ; ROSA, 1994; DIETZ; ROSA, 1997). Outra vantagem da STIRPAT é a possibilidade de agregar-se ao modelo um maior número de variáveis. Alternativamente, a STIRPAT pode ser escrita da forma abaixo:

$$\ln(I) = \ln(a) + b[\ln(P)] + c[\ln(A)] + \sum \beta[\ln(X_i)] + \ln(\varepsilon) \quad (4)$$

Como se pode ver na Equação 4, a variável  $X_i$  corresponde às demais variáveis causadoras de impacto, com a condição de que estejam de acordo com os pressupostos da IPAT. Por sua vez, o vetor  $\beta$  representa os coeficientes a serem estimados. Muitos estudos já aplicaram a STIRPAT como forma de avaliar o impacto ambiental, o que garante a validade do modelo para esse tipo de análise (SILVA et al., 2017). Desde o surgimento da IPAT, as emissões de poluentes são as *proxies* mais comuns, pois seu aumento provoca irreparáveis danos ao meio ambiente, a começar

por transformações nos ciclos bioquímicos, que estão associados a catástrofes climáticas, destruição da cobertura vegetal e extinção de inúmeras espécies (YORK; ROSA; DIETZ, 2003b). Contudo, alguns autores oferecem alternativas a esse indicador de impacto (DIETZ; ROSA, 1994; DIETZ; ROSA, 1997).

York, Rosa e Dietz (2002, 2003) sugerem a utilização da Pegada Ecológica (PE)<sup>5</sup>. No entanto, ainda não se pode concebê-la como medida ideal, uma vez que inclui apenas os produtos economicamente rastreáveis. Outra restrição é a complexidade de seu cálculo e a dificuldade de se obterem dados referentes a seus componentes. Por esse motivo, as emissões de gases poluentes continuam sendo amplamente utilizadas (ROSA; DIETZ, 2010; YORK; ROSA; DIETZ, 2002; YORK; ROSA; DIETZ, 2003b; LIDDLE; LUNG, 2010; LIDDLE, 2011; SILVA et. al., 2017; ZHANG; LIN, 2012; ZHU; PENG, 2012; WANG et. al.; 2013).

### 3. Aplicações empíricas da STIRPAT

Vários estudos já empregaram a STIRPAT para analisar o impacto exercido pelo homem no meio ambiente. Dietz e Rosa (1994, 1997) usaram-na pela primeira vez em uma análise *cross-section*, na qual estimaram os efeitos da população, da afluência e da tecnologia para 111 países. No estudo, foram utilizados os dados de 1989, e as emissões de carbono figuram como variável dependente. Os resultados demonstram que os efeitos da população são proporcionais ao seu tamanho. Em contrapartida, os efeitos da riqueza evidenciaram deseconomias de escala para nações de grande porte, o que contradiz a proporcionalidade (log-linear) de pesquisas anteriores. Dietz e Rosa (1994) sustentam que o crescimento populacional previsto para a década seguinte seria o principal indutor de impacto.

Complementarmente, demonstrou-se que, além da população, fatores como latitude e área de terra per capita são fortes indutores de impacto. Além disso, os aumentos do PIB não são proporcionais aos aumentos de impacto. De resto, variáveis de cunho político, como liberdades civis, ambientalismo de Estado, direitos políticos, dentre outros, não apresentam significância estatística (YORK; ROSA; DIETZ, 2003a). Em outro estudo, York, Dietz e Rosa (2003b) compararam resultados de diferentes métodos analíticos. Em semelhança com o estudo anterior, as emissões de dióxido de carbono e a pegada ecológica permanecem como variáveis dependentes. Entretanto, os resultados corroboram que a população é o fator que mais impacta as variáveis explicadas, embora a urbanização e o setor industrial também exerçam impacto significativo.

Xu, Cheng e Qiu (2005), por meio do método “IMPACTS”, em que a variável dependente é estudada por meio de um *trade-off* entre impactos ambientais e

5 O método pelo qual é calculada a Pegada Ecológica (PE) está embasado no conceito de capacidade de carga (área biologicamente produtiva). Ver nota de rodapé 1.



desenvolvimento, levaram em consideração o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e a Pegada Ecológica. Os autores concluíram que, devido à boa gestão de seus recursos naturais, países desenvolvidos os aproveitam melhor e reduzem os efeitos danosos da ação humana sobre a natureza. Nessa perspectiva, Dietz, Rosa e York (2007) incluem variáveis independentes de cunho socioeconômico. Porém, ao contrário do que se esperava, não foi constatada influência da expectativa de vida, do nível de escolaridade nem do bem-estar humano sobre os níveis de impacto ambiental (DIETZ; ROSA; YORK, 2007).

Liddle e Lung (2010) testam os impactos nas emissões de dióxido de carbono por faixa etária em países desenvolvidos. Para tanto, a população foi dividida em pessoas de 20 a 34 anos, 35 a 49 anos e 50 a 64 anos. Foram levadas em consideração as emissões advindas do uso de transporte, energia residencial e dispêndio de eletricidade. Embora nem sempre significativa, a faixa etária que exerce influência positiva no impacto ambiental compreende pessoas entre 20 e 34 anos, ao passo que a influência negativa se relaciona ao grupo etário de 65 a 79 anos.

Silva et al. (2017) estudaram os países da América Latina. Os dados contemplaram uma amostra de 12 países, de 1970 a 2005. Como metodologia, aplicou-se a STIRPAT com dados em painel. Nesse estudo, a população segue subdividida em estratos etários de 15 anos de idade, resultando em três grupos. Além do PIB per capita e da população total, há, como diferencial, a utilização do percentual de população urbana e da intensidade energética. Foi verificado que todas as variáveis independentes exercem impactos significativos nas emissões de dióxido de carbono. Contudo, ao contrário dos estudos de Liddle e Lung (2010), Silva et al. (2017) apontam que a faixa etária dos 20 aos 34 anos não apresenta significância estatística. Apesar disso, a conclusão tirada do experimento foi que a população, de um modo geral, exerce mais influência nas emissões de dióxido de carbono que as demais variáveis (afluência e tecnologia).

Estudos para países de renda alta ou média alta foram desenvolvidos por Liddle (2011, 2013a, 2013b, 2015). Primeiramente, analisaram-se as nações integrantes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE); posteriormente, nações não pertencentes à OCDE foram incluídas no modelo. Dentre os impactos mais importantes, constavam as emissões de dióxido de carbono oriundas dos transportes e do consumo de energia elétrica residencial. Os resultados mostraram que a estrutura etária influencia de forma significativa o impacto estudado, sendo que, para a variável independente relacionada ao transporte, o impacto maior é atribuído à população que compõe a primeira faixa. Esse impacto se sobressai se comparado ao impacto relacionado ao consumo de energia elétrica residencial, que, por sua vez, é atribuído às demais faixas etárias.

Quanto ao consumo privado de transporte, observou-se que a densidade urbana está negativamente correlacionada com o consumo de energia de transporte urbano privado. Para os países em desenvolvimento, as variáveis demográficas (tamanho da população e densidade urbana) são particularmente importantes na



determinação do consumo de energia de transportes privados. Ficou evidenciado que a elasticidade das emissões de carbono é maior nesses países do que nos países pertencentes à OCDE.

No Brasil, Mattos e Filippi (2015) utilizaram o Modelo Logístico Ordenado (MLO) para estimar o tamanho do potencial de impacto ambiental nos municípios do estado do Rio Grande do Sul. Diferentemente da STIRPART, que avalia o peso relativo dos indutores por meio da estimação de suas respectivas elasticidades, o MLO, metodologia proposta por Mattos e Filippi (2015), adota uma concepção não linear que consiste em prever as probabilidades de ocorrerem diferentes patamares de impactos ambientais.

Assim como a STIRPAT, o MLO também possibilita avaliar a significância e a sensibilidade das variáveis explicativas. Nesse caso, a pegada ecológica foi utilizada como variável dependente na forma de quartis ordenados em categorias crescentes a fim de expressar os níveis de impactos ambientais, sendo eles definidos como: baixo, médio baixo, médio alto e alto. Os indutores foram divididos entre populacionais e econômicos. A primeira categoria englobou: população total; percentual de população urbana; percentual de população não dependente, isto é, que está entre 15 e 64 anos; e densidade demográfica. Na segunda, figuram: PIB per capita, percentual do PIB que não é oriundo de serviço e área agrícola.

Os resultados demonstram coeficientes positivos e significativos para renda e percentual da população urbana. Além disso, foram verificados onze municípios com probabilidade de impacto ambiental concentrado nas categorias mais baixas, enquanto a grande maioria dos municípios indicam probabilidades maiores de pertencer às categorias média alta e alta. Conforme visto, a maior parte dos estudos converge em torno da proposição de que a população e a renda são os indutores que mais impactam no meio ambiente. O Quadro 1 faz uma síntese dos principais resultados encontrados na literatura no que tange à relação dos impactos ambientais com a renda per capita e o tamanho da população.

Quadro 1 – Síntese dos principais resultados referentes às variáveis de interesse.

Autores	Amostra	Organização dos dados	Principais resultados	
			População	Renda per capita
Rosa e Dietz (1997)	Mundo	<i>Cross-section</i>	+	+
York, Rosa, e Dietz (2003)	Mundo	<i>Cross-section</i>	+	+
York, Rosa, e Dietz (2003)	Mundo	<i>Cross-section</i>	+	+
York, Rosa, e Dietz (2007)	Mundo	<i>Cross-section</i>	+	-
Liddle e Lung (2010)	Países desenvolvidos	Dados em painel	+	+
Silva <i>et. al.</i> (2011)	Países sul-americanos	Série de dados	+	+
Mattos e Filippi (2015)	Municípios do Rio Grande do Sul	<i>Cross-section</i>	+	+

Fonte: Elaboração própria.

Em suma, os trabalhos apresentados, em geral, conduzem à conclusão de que o impacto ambiental tem como maiores indutores fatores populacionais e econômicos, uma vez que suas interações influenciam direta ou indiretamente no aumento do consumo e da produção.

#### 4. Método e modelo de análise

Desde a década de 1970 aumentaram os estudos que visam quantificar e identificar os principais indutores de impacto antropogênico no meio ambiente. Para atender aos objetivos desta pesquisa, utilizar-se-á o modelo estocástico de avaliação de impactos STIRPAT (YORK; ROSA; DIETZ, 2003a; DIETZ; ROSA; YORK, 2007). Com a STIRPAT, pretende-se verificar o comportamento dos indutores de impacto nos blocos econômicos BRICS e G7 para que se possa inferir a pressão ambiental exercida por economias em diferentes estágios de desenvolvimento.

O primeiro bloco é formado por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (BRICS), todos considerados economias emergentes<sup>6</sup>, em pleno desenvolvimento.

6 O Banco Mundial (2016) classifica um país como emergente ou em desenvolvimento quando o seu nível de riqueza econômica, mensurado através da renda per capita, encontra-se abaixo dos níveis das economias desenvolvidas. Nessa classificação são considerados desenvolvidos os países que

Já o segundo bloco, G7, é formado pelas economias que já concluíram seu processo de desenvolvimento: Alemanha, Canadá, Estados Unidos, França, Inglaterra, Itália e Japão. Esta seção destina-se, portanto, a, primeiramente, apresentar as variáveis a serem utilizadas e, em seguida, os procedimentos para a construção do modelo.

#### 4.1 Definições das variáveis

De acordo com os estudos abordados neste artigo, os maiores indutores de impacto ambiental estão relacionados à população e à atividade econômica. Por isso, parte-se da hipótese de que países mais populosos e/ou mais ricos exerçam um impacto superior em relação aos demais países. Para que isso possa ser observado com clareza, utilizaram-se os blocos econômicos BRICS e G7. A escolha desses blocos se deu porque, no bloco dos BRICS, estão os países atualmente mais populosos (China e Índia), enquanto no G7 estão as nações industrialmente mais desenvolvidas e com maiores níveis de renda per capita. Acrescente-se, ainda, a carência de estudos comparativos dessa natureza envolvendo tais blocos econômicos.

Em conformidade com os pressupostos da fórmula original, proposta por Ehrlich e Holdren (1971), adotaram-se, como indutores de impacto, a população total e o PIB per capita tomados como variáveis independentes. A variável que corresponde à tecnologia (T) é agregada ao erro, pois, de acordo com Dietz e Rosa (1997), não há variáveis que a representem de forma adequada. As emissões de CO<sub>2</sub> totais (kt) por unidade de PIB representarão a variável dependente atuando como uma *proxy* para o impacto (I), pois um aumento dessas emissões provoca severas alterações (impactos) nos ciclos biológicos e bioquímicos do planeta (YORK; ROSA; DIETZ, 2003a). No Quadro 1 estão representadas as variáveis utilizadas para a STIRPAT.

Quadro 2 – Variáveis que compõem a STIRPAT.

Natureza da variável	Notação	Definição
Independente	Popt	População total
	Pibpc	PIB per capita
Dependente	CO <sub>2</sub>	Emissão de CO <sub>2</sub> (kt)

Fonte: Elaboração própria.

O uso das emissões de CO<sub>2</sub> como *proxy* para o impacto, em vez de outra medida, como a pegada ecológica, por exemplo, explica-se não só porque as emissões de dióxido de carbono conferem confiabilidade aos resultados, mas também porque seus dados são de fácil acesso e disponíveis para todos os países (ROSA; DIETZ,

---

possuem renda per capita superior a US\$ 12.276; emergentes ou em desenvolvimento, os países que possuem renda per capita entre US\$ 1.006 e US\$ 12.275.

1997; YORK; ROSA; DIETZ, 2002; YORK; ROSA; DIETZ, 2003a; YORK; ROSA; DIETZ, 2004; YORK; ROSA; DIETZ, 2010; LIDDLE; LUNG, 2010; SILVA et al., 2017, LIDDLE; 2011, 2012; ZHANG; LIN, 2012; ZHU; PENG, 2012; WANG et al; 2013).

Quanto à fonte, todos os dados foram retirados do Banco Mundial (2016), e optou-se por trabalhar com o período que se inicia em 1992 e vai até 2013 não só pela disponibilidade de dados, mas em razão de as décadas de 1990 e 2000 representarem um importante marco na história da política climática mundial. Além da ECO-92<sup>7</sup>, assinou-se o Protocolo de Kyoto (1997) para o controle das emissões de gases de efeito-estufa, que entrou em vigor em 2005. Outro marco importante desse período foi a proposição da existência do bloco de países emergentes denominado BRICS<sup>8</sup>. A seguir, descrevem-se os procedimentos econométricos utilizados para a especificação do modelo empírico de análise.

## 4.2. Especificações do modelo analítico

De acordo com os objetivos enunciados na primeira seção, lança-se mão da STIRPAT na sua forma logarítmica, conforme a Equação 4, com o intuito de captar a relação existente entre cada indutor e o impacto. Considera-se que, para analisar a participação do PIB per capita e da população no impacto ambiental durante os anos de 1992 a 2013, a metodologia de regressão em painel é a que melhor responde ao que se propõe neste estudo. Segundo Liddle e Lung (2010), os dados em painel permitem, nos estudos sobre impactos ambientais, a análise empírica de diversos países ao longo de uma série temporal, levando em conta as peculiaridades individuais e específicas de cada período.

Uma vez que se considerem países através do tempo, Gujarati e Porter (2011) alertam para a presença comum de heterogeneidade nas unidades. Nesse caso, a análise de dados em painel assegura, conforme Baltagi (2005), não só um maior controle, mas também a devida consistência dos parâmetros. Ademais, a regressão em painel demonstra com mais propriedade a dinâmica de ajustamento, mudanças e tendências no tempo, proporcionando resultados robustos (KLEVMARKEN, 1989). Em síntese, a regressão em painel oferece confiabilidade, sendo capaz de agregar um número maior de informações, o que não seria possível com a utilização, apenas, de séries temporais ou de cortes transversais puros (GUJARATI; PORTER, 2011).

7 Também chamada de Rio-92, foi uma conferência realizada pela ONU em que a comunidade científica mundial oficializou as preocupações com os limites impostos pela natureza (GUIMARÃES, 1997).

8 A sigla, originalmente Bric, foi cunhada pelo economista Jim O'Neill em 2001, no estudo intitulado "Building Better Global Economic Brics", e faz referência aos quatro países (Brasil, Rússia, Índia e China) que na época possuíam potencial de se igualar, em termos de PIB, às economias mais avançadas (G7). Posteriormente, a África do Sul integrou o grupo, que vem a ser hoje o BRICSBRICS. A sigla passou a ser amplamente utilizada como um símbolo da mudança no poder econômico global (ARMIJO, 2011).

Por causa dessas vantagens, a estimação pelos dados em painel vem sendo amplamente aplicada à STIRPAT (ROSA; DIETZ, 1997; YORK; ROSA; DIETZ, 2002; YORK; ROSA; DIETZ, 2003a; YORK; ROSA; DIETZ, 2004; YORK; ROSA; DIETZ, 2010; LIDDLE; LUNG, 2010; SILVA et al., 2017, LIDDLE; 2011, 2012, 2013a, 2013b; ZHANG; LIN, 2012; ZHU; PENG, 2012; WANG et al.; 2013). No presente trabalho, serão estimados dois modelos: um para os BRICS e outro para o G7.

### 4.3. Técnicas de estimação de dados em painel

A estrutura básica de um modelo com dados em painel, considerando  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  unidades a serem analisadas ao longo do tempo  $t = 1, 2, 3, \dots, T$  está representada na Equação 6 (WOOLDRIDGE; 2006).

$$y_{it} = a_i + \beta_1 x_{it} + u_{it} \quad (6)$$

Sendo:

$y_{it}$  = variável dependente;

$x_{it}$  = variáveis explicativas;

$\beta_{it}$  = coeficientes a serem estimados;

$u_{it}$  = erro idiossincrático<sup>9</sup>;

$a_{ij}$  = características invariantes no tempo referentes às unidades do painel.

Na regressão com dados em painel, o termo constante é uma variável que capta os fatores não observados e que não mudam ao longo do tempo, enquanto o erro representa os fatores não observados aleatórios, ou seja, que mudam ao longo do período (GREENE, 2003). A estimação pode ser feita segundo quatro técnicas: regressão *pooled* ou dados empilhados, efeitos fixos e efeitos aleatórios (GUJARATI; PORTER, 2011). O modelo *pooled* é indicado quando não há diferenças entre os indivíduos.

Dessa forma, assume-se um comportamento uniforme para todos os indivíduos, ou seja, os coeficientes de regressão serão iguais para todos eles. Deve-se usar esse tipo de modelo com cautela, visto que as estimativas podem ser enviesadas, caso existam diferenças entre os indivíduos<sup>10</sup>. Logo, tal modelo cabe apenas quando

9 Conforme Gujarati e Porter (2011), idiossincrático faz referência ao erro combinado da série temporal e ao corte transversal. É assim chamado porque varia de acordo com as características dos indivíduos (corte) ou no tempo.

10 Nesse caso, quando se “empilham” os diferentes países nos diferentes anos, a heterogeneidade (característica individual ou efeito não observado) que possa estar presente entre os países é atribuída ao erro. Se o termo de erro estiver correlacionado com alguma variável explicativa, os estimadores serão tendenciosos, e o modelo não estará alinhado com os pressupostos do modelo clássico de regressão linear.

não há presença de características específicas e efeitos não observados. Diante da presença de heterogeneidade, deve-se recorrer a *modelos de efeitos fixos* ou *modelos de efeitos aleatórios* (WOOLDRIDGE; 2006).

No *modelo com efeitos fixos*, assume-se que a heterogeneidade individual é invariante no tempo. Assim, para cada indivíduo assume-se um intercepto diferente, que não varia ao longo da série<sup>11</sup> (GUJARATI; PORTER, 2011). Nesse modelo, admite-se que os efeitos não observados podem afetar a previsão, uma vez que se assume a correlação<sup>12</sup> do termo individual com as variáveis explicativas. Alguns dos inconvenientes relacionados ao *modelo de efeitos fixos* dizem respeito à falta de graus de liberdade, o que compromete a eficiência da análise estatística em virtude do número insuficiente de observações. Outro problema está ligado à possibilidade de não se identificar o impacto das características invariantes no tempo.

Para contornar esses problemas, mantendo a diferença de interceptos entre os indivíduos, Kennedy (2010) sugere o *modelo de efeitos aleatórios*, segundo o qual os interceptos de cada indivíduo são dados a partir de vários interceptos que podem ser tomados de forma aleatória e, por isso, incorporados ao erro<sup>13</sup> (KENNEDY, 2010). O termo constante passa a ser um parâmetro aleatório não observável, que não se correlaciona com as variáveis explicativas (WOOLDRIDGE; 2006).

A determinação da técnica que melhor se adéqua ao que se propõe dar-se-á mediante testes estatísticos e econométricos, a começar pelo teste Chow, que verifica entre *pooled* e *efeitos fixos* qual melhor se ajusta à análise. Para testar o *modelo pooled* contra o de *efeitos aleatórios*, aplica-se o teste Breusch-Pagan. Por fim, o teste de Hausman compara os estimadores de *efeitos fixos* com os de *efeitos aleatórios* através da análise de correlação entre o efeito não observado e as variáveis explanatórias (WOOLDRIDGE, 2006). O resultado dos testes é apresentado no Quadro 3:

Quadro 3 – Resumo dos Testes de Chow, Breusch-Pagan e Hausman

Teste	Hipótese nula	Hipótese alternativa
<b>Chow</b>	<i>Pooled</i>	Efeitos Fixos
<b>Breusch-Pagan</b>	<i>Pooled</i>	Efeitos Aleatórios
<b>Hausman</b>	Efeitos Aleatórios	Efeitos Fixos

Fonte: Elaboração própria.

11 Ou seja, admite-se, por exemplo, que os interceptos do Brasil e da China sejam diferentes entre si, porém o intercepto do Brasil será sempre o mesmo ao longo da série, assim como o da China.

12 A correlação indica que as variáveis são determinadas com base em valores correntes, passados e futuros (Gujarati; Porter, 2011).

13 De acordo com os conceitos de Gujarati e Porter (2011), todas as características individuais (não observadas) são representadas por um único intercepto comum aos componentes dos blocos. Esse intercepto nada mais é do que o valor médio de todos os interceptos.

Quando se trabalha com dados em painel, é comum a ocorrência de heterocedasticidade<sup>14</sup>, autocorrelação<sup>15</sup> e correlação contemporânea. Para verificar a existência desses distúrbios<sup>16</sup>, utilizar-se-á, respectivamente, o teste de Wald, Wooldridge e Pesaran, cujas hipóteses estão resumidas no Quadro 4; caso sejam identificadas, as estimativas serão tratadas através do Estimador com Erros Padrão Corrigidos (PCSE). De acordo com Beck e Katz (1995), esse método gera estimativas precisas, sem perda de eficiência.

Quadro 4 – Resumo dos testes de Wald, Wooldridge e Pesaran.

Teste	Hipótese nula	Hipótese alternativa
Wald	Não possui heterocedasticidade.	Possui heterocedasticidade.
Wooldridge	Não possui autocorrelação	Possui autocorrelação
Pesaran	Não possui correlação contemporânea	Possui correlação contemporânea

Elaboração própria.

Posto isso, desenvolvem-se preliminarmente dois modelos utilizando-se a metodologia proposta por Dietz e Rosa (1997), que resulta nas equações 7 e 8:

$$\ln_{BRICS}(CO_2)_{it} = \beta_0 + \beta_2[\ln(popt)]_{it} + \beta_3[\ln(pibpc)]_{it} + u_{it} \quad (7)$$

$$\ln_{G7}(CO_2)_{it} = \beta_0 + \beta_2[\ln(popt)]_{it} + \beta_3[\ln(pibpc)]_{it} + u_{it} \quad (8)$$

Em que:

$i$  = país;  $t$  = período de tempo;

$\beta$  = parâmetros a serem estimados;

$u_{it}$  = termo de erro;

$popt$  = população total;

$pibpc$  = PIB per capita;

$CO_2$  = emissões de dióxido.

## 5. Análise de resultados

Antes de apresentar a análise dos resultados encontrados nas estimativas da *STIRPAT*, convém conhecer não só o peso relativo dos BRICS e do G7 na econo-

14 Conforme Gujarati e Porter (2011), a heterocedasticidade acontece quando a variância do erro não é constante.

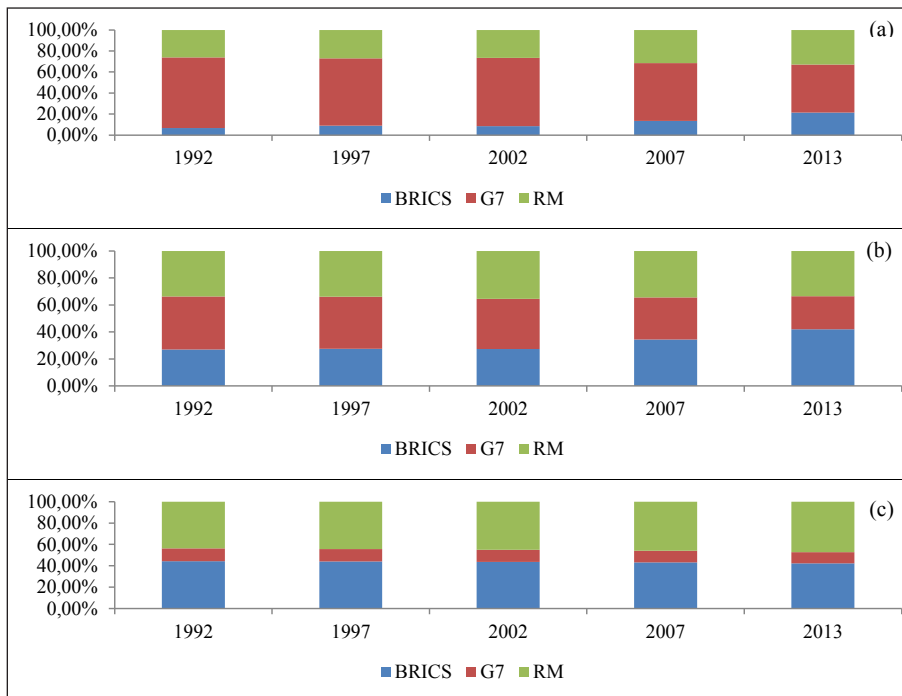
15 Percebe-se a autocorrelação ou também chamada correlação serial quando os valores de uma série, em diferentes instantes de tempo, estão correlacionados, ou seja, as perturbações que ocorrem num instante afetam as perturbações de outros instantes (GUJARATI; PORTER, 2011).

16 São considerados distúrbios porque violam a premissa do Modelo Clássico, que pressupõe a inexistência de correlação entre os erros em momentos diferentes. Tais distúrbios prejudicam o modelo, pois podem produzir estimativas enviesadas para os coeficientes (GUJARATI; PORTER, 2011).



mia global em termos de PIB, emissões e população (Figura 1a-b-c), como também identificar o comportamento observado das variáveis utilizadas no estudo (PIB per capita, população total e emissões), tal como é demonstrado nas figuras, 2a-b, 3a-b e 4a-b:

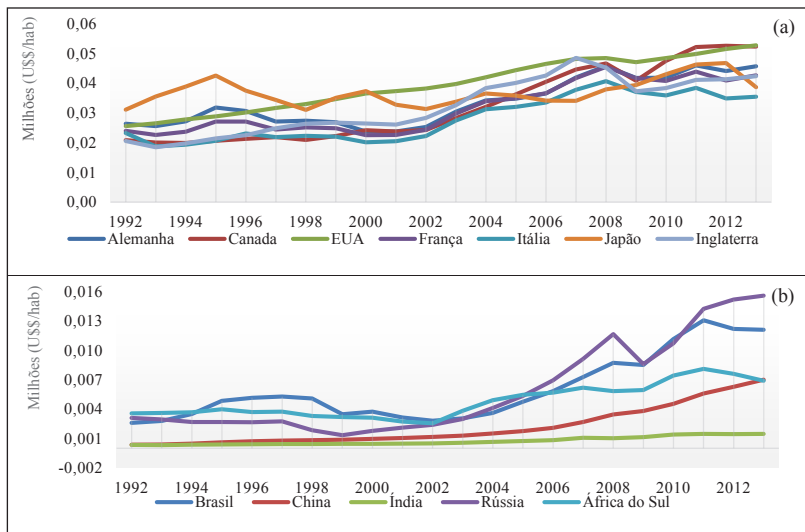
Figura 1 – Peso relativo do PIB, emissões de CO<sub>2</sub> e população para os BRICS, G7 e resto do mundo.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Banco Mundial (2016).

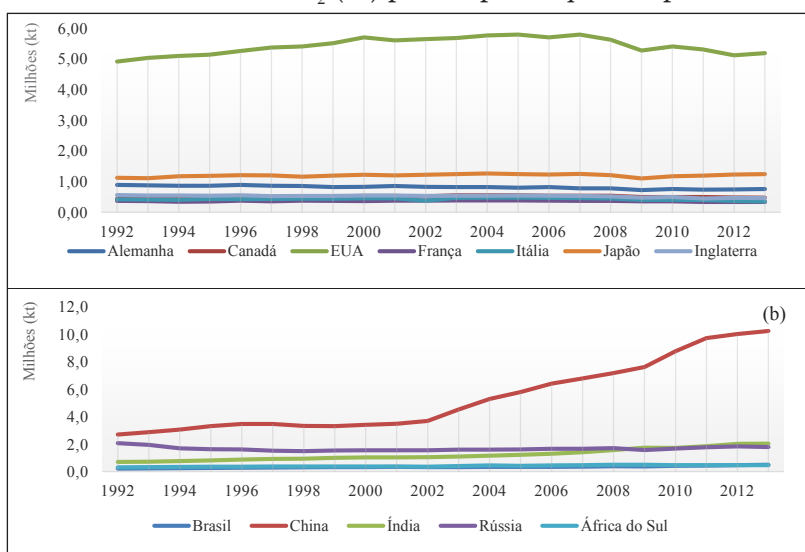
Percebe-se, na Figura 1, que entre os anos de 1992 a 2013 houve aumento considerável da partição relativa dos BRICS na renda mundial; esse aumento foi acompanhado de uma maior participação do grupo no total das emissões de dióxido de carbono. Por outro lado, a participação relativa dos países do G7 na renda mundial caiu, assim como reduziu o peso desse grupo no montante de emissões. Quanto à população, observam-se percentuais relativamente constantes para ambos os blocos. A seguir, tem-se o comportamento observado das variáveis que compõe a STIRPAT.

Figura 2 – PIB per capita para os países que compõem o G7 e os BRICS



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Banco Mundial (2016).

A Figura 2 mostra que as economias de todos os países caminham em direção ao crescimento econômico. Observa-se ainda que o nível de renda per capita dos países pertencentes ao G7 é muito superior ao dos países dos BRICS, chegando a um diferencial equivalente a uma casa decimal.

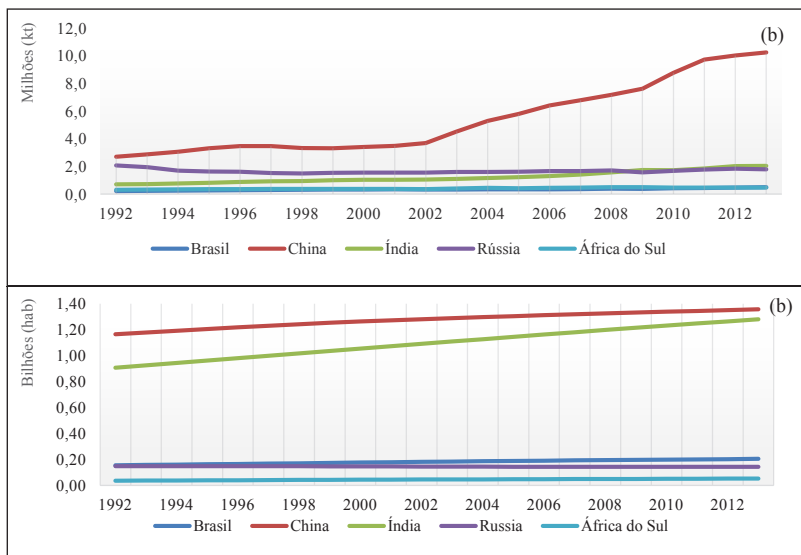
Figura 3 – Emissões totais de CO<sub>2</sub> (kt) para os países que compõem o G7 e os BRICS

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Banco Mundial (2016).

Conforme a Figura 3, é notório que o aumento na renda per capita da China foi acompanhado por aumentos mais que proporcionais nas emissões de dióxido de carbono, demonstrando que a dependência dos combustíveis fósseis se intensificou, sugerindo um crescimento econômico nocivo ao meio ambiente cuja tendência é mantida ao longo da série. No que tange ainda às emissões totais de CO<sub>2</sub>, depende-se, ainda pela Figura 3, que cada bloco reúne as economias mais poluidoras: EUA e China, sendo que, atualmente, a segunda superou em quase duas vezes o nível de emissões do primeiro.

Na Figura 4, em que é demonstrada a evolução da população total, percebe-se que, na maioria dos países, com exceção de EUA, China e Índia, há uma relativa estabilização populacional que pode ser atribuída a quedas na natalidade, especialmente no caso dos países desenvolvidos (G7), enquanto nos demais países (BRICS) o equilíbrio populacional pode ser resultado do processo de transição demográfica (KIMPARA, 2010).

Figura 4 – População total para os países que compõem o G7 e os BRICS



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Banco Mundial (2016).

Diferentemente dos EUA, China e Índia apresentaram trajetória crescente, sendo esses últimos os mais populosos do mundo. O crescimento populacional da China e da Índia é característica de países periféricos em que há queda nas taxas de mortalidade que não são acompanhadas por quedas nas taxas de natalidade (KIMPARA, 2010).

## 5.1 Resultados para STIRPAT

Na Tabela 1 estão dispostos os resultados dos testes de Chow, Breusch-Pagan e Hausman, os quais apontam, dentre *pooled*, *efeitos fixos* ou *efeitos aleatórios* o painel que melhor se adapta à análise.

Tabela 1 – Resultado dos testes econométricos para definir o tipo de painel

Teste	Valor-p	
	BRICS	G7
Chow	0,0000	0,0000
Breusch-Pagan	0,0000	0,0000
Hausman	0,9911	0,9289

Fonte: Elaboração própria.

Conforme a Tabela 1, procedeu-se, primeiramente, ao teste Chow, para verificar qual dos painéis seria o mais indicado: *pooled* ou de *efeitos fixos*. Ao nível de significância de 1%, o valor *p* de 0,000 estimado pelo teste indica que se deve rejeitar a hipótese nula. Assim, o painel de *efeitos fixos* é mais indicado que o *pooled*, tanto para os BRICS quanto para o G7. Após esse procedimento, avaliaram-se, por meio do teste Breusch-Pagan, as estimativas do painel *pooled* contra as estimativas do painel com *efeitos aleatórios*.

O valor *p* de 0,000, reportado pelo teste, indica que, ao nível de significância de 1%, o painel de *efeitos aleatórios* é o mais indicado, tanto para os BRICS quanto para o G7. Por fim, utilizou-se o teste Hausman para comparar as estimativas do painel de *efeitos aleatórios* contra as estimativas do painel de *efeitos fixos*. De acordo com a Tabela 1, o valor *p* para os BRICS, assim como para o G7, é próximo de 1. Com esse resultado, não há evidência para rejeição da hipótese nula, nem para os BRICS nem para o G7. Logo, o painel a ser aplicado é o de *efeitos aleatórios*<sup>17</sup>. Na sequência, foram verificados problemas de heterocedasticidade, autocorrelação e correlação contemporânea nos dados. Para tanto, utilizaram-se os testes Pesaran, Wald e Wooldridge, cujos resultados estão dispostos na Tabela 2.

17 Ressalte-se que o teste de Hausman avalia, basicamente, a correlação dos efeitos individuais não observáveis com as variáveis explanatórias dos modelos. Portanto, a não rejeição da hipótese nula indica que não há correlação desses termos com as variáveis utilizadas no modelo do presente trabalho (GUJARATI; PORTER, 2011). Isso se justifica pelo fato de o modelo utilizado contar com apenas duas variáveis, enquanto, para expressar características individuais de cada país dentro do painel, seria necessária a inclusão de mais variáveis explanatórias. Sendo assim, as melhores estimativas serão as obtidas via modelo de *efeitos aleatórios*.

Tabela 2 – Resultado dos testes econométricos preliminares.

Teste	Valor-p	
	BRICS	G7
<b>Pesaran</b>	0,0069	0,0000
<b>Wald</b>	0,0000	0,0000
<b>Wooldridge</b>	0,0062	0,0317

Fonte: Elaboração própria.

Segundo a Tabela 2, o teste Pesaran reportou um *valor-p* baixo, próximo de zero, demonstrando que há correlação contemporânea, tanto para o modelo dos BRICS quanto para o do G7. Por sua vez, o teste de Wald também apresentou um *valor-p* próximo de zero, o que evidencia problemas de heterocedasticidade para os dois grupos estudados.

Por fim, o teste de Wooldridge constata que existem problemas de correlação serial para o modelo dos BRICS ao nível de significância de 1% e ao nível de significância de 5% para o modelo do G7. No intuito de realizar as correções dos problemas de correlação, correlação contemporânea e heterocedasticidade, utilizou-se o estimador PCSE<sup>18</sup>. As estimativas do G7 e dos BRICS estão dispostas na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado das estimativas econométricas para o G7 e os Brics, utilizando o Estimador com Erros-Padrão Corrigidos (PCSE)

Estimativas	G7	BRICS	
		(c/ cte.)	(s/ cte.)
<b><i>ln</i> (pib_pc)</b>	-0,003171*** (0,0009363)	0,2276289*** (0,0309505)	0,2131697*** (0,0263422)
<b><i>ln</i>(pop)</b>	1,178889*** (0,0328465)	0,7071727*** (0,0488165)	0,6279041*** (0,0112462)
<b>Constante</b>	-7,841625*** (0,6081167)	-1,659,039 (1,034,831)	-

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Erros-padrão entre parênteses; \*\*\* denota parâmetros estatisticamente significativos a 1%.

Os resultados da Tabela 3 mostram que, para o G7, as estimativas do PIB per capita corrigidas via PCSE foram estatisticamente significativas a 1%. Percebe-

18 Estimador com Erros Padrão Corrigidos, que, segundo Beck e Katz (1995), corrige as três categorias de erros (correlação serial de primeira ordem, correlação contemporânea e heterocedasticidade) por meio de Mínimos Quadrados Ordinários (OLS).

-se que há uma relação negativa entre crescimento do PIB per capita e o impacto ambiental; em outras palavras, as emissões de  $\text{CO}_2$  (*proxy* para impacto ambiental) diminuem em aproximadamente 0,0032% quando o PIB per capita cresce em 1%. Porém, vale ressaltar que a diminuição do impacto, mesmo que estatisticamente significativa, tem pouca repercussão na prática, pois exerce efeito marginal somente após a terceira casa decimal.

Tal relação inversa entre PIB per capita e impacto é atribuída à eficiência produtiva das nações desenvolvidas (YORK; DIETZ; ROSA, 2003a), corroborando os estudos de Dietz e Rosa (1997), os quais demonstram que as emissões de  $\text{CO}_2$  tendem a cair para países com renda elevada. Contudo, os autores advertem que a melhora na eficiência produtiva não tem magnitude suficiente para compensar os danos ambientais decorrentes da produção em larga escala. Isso é consistente com o tamanho pequeno do coeficiente estimado para o PIB per capita. As estimativas para a população, corrigidas via PCSE, também foram significativas a 1% e revelam que o aumento de 1% na população conduz a um aumento de 1,179% no impacto ambiental. Essa relação direta entre o aumento da população e o aumento do impacto ambiental confirma os resultados de Dietz e Rosa (1997), York, Dietz e Rosa (2003a), dentre outros, os quais demonstram que a população é uma força consistente de impacto ambiental.

Para os BRICS, verifica-se, de acordo com a Tabela 3, que o termo constante no modelo não foi estatisticamente significativo. Portanto, a fim de buscar um melhor ajustamento das estimativas dos parâmetros, procedeu-se novamente à estimação da equação sem o termo constante. Verificou-se, então, uma relação positiva entre o PIB per capita e o impacto, tal que o aumento de 1% no PIB per capita dos BRICS produz um aumento aproximado de 0,213% nas emissões de  $\text{CO}_2$ . A mesma relação positiva é verificada para a população que, sob um aumento de 1%, ocasiona 0,627% mais emissões de  $\text{CO}_2$ . Tais resultados ratificam os pressupostos da fórmula original e encontram respaldo nos estudos de Silva et al. (2017), que verificaram, para os países em desenvolvimento, influência positiva da população e do PIB nas emissões de  $\text{CO}_2$ , ainda que a influência da população exerça maior efeito sobre a variável dependente.

## 6. Considerações finais

Inspirado nos trabalhos de Ehrlich e Holdrem (1971) e Commoner (1972), publicados no início dos anos 1970, durante o renascimento das preocupações malthusianas com os rumos da economia, o artigo aqui apresentado tratou de testar a validade das hipóteses sugeridas por aqueles autores acerca das variáveis socioeconômicas indutoras dos impactos ambientais. Assim, buscou-se verificar o comportamento dos indutores população e renda em economias que vivenciam diferentes estágios de desenvolvimento.

As estimativas obtidas via STIRPAT demonstram relativa eficiência produtiva para o G7, o que é explicado pelo coeficiente negativo para o PIB, em comparação com o coeficiente positivo para os BRICS. A julgar pelo sinal das equações estimadas, os resultados parecem reforçar a Curva Ambiental de Kuznets, visto que, para países desenvolvidos, como os que compõem o G7, o aumento de 1% na renda conduz a uma redução de 0,0032% das emissões de CO<sub>2</sub> (impacto ambiental). Por outro lado, para os países em desenvolvimento, como os BRICS, um aumento de 1% na renda conduz a um aumento de aproximadamente 0,2% nas emissões de CO<sub>2</sub>, revelando que os países menos desenvolvidos crescem economicamente graças a uma tecnologia poluidora.

Esse cenário é consistente com a argumentação de que países industrializados, cuja renda per capita é maior, tendem a diminuir seus níveis de poluição, não só porque desenvolvem tecnologias mais eficientes e limpas, mas também porque melhoram os mecanismos institucionais em favor da preservação ambiental (leis e impostos, por exemplo). Porém, o tamanho dos coeficientes parece indicar que, na melhor das hipóteses, os ganhos de eficiência ecológica a partir do incremento na renda são muito pequenos. Sem dúvida, o coeficiente estimado para o PIB per capita do G7 (-0,00317) traduz benefícios muito pequenos da afluência para o meio ambiente, comparados com os prejuízos ambientais que uma população afluenta (1,178889) proporciona.

A STIRPAT mostrou que a população atua de forma (estatisticamente) significativa e positiva no impacto dos dois blocos. Isso se deve ao fato de que quanto maior for o tamanho da população, maior será a necessidade de produzir bens e serviços para atender a demanda por bem-estar da sociedade. O aumento da produção, motivado pelo crescimento populacional, agrava o impacto sobre o meio ambiente, seja pela depleção de recursos naturais, que servem de matéria-prima ao sistema produtivo, seja pela quantidade de resíduos que têm o meio ambiente como repositório.

Por outro lado, o coeficiente estimado para o impacto da população é maior no G7 (1,178889) do que nos BRICS (0,6279041), embora a população do primeiro seja menor do que a do segundo. Isso sugere que o impacto da população afluenta do G7 supera o impacto causado pela população menos afluenta (mais pobre) dos BRICS. Assim, pode-se inferir que os padrões de consumo dos mais ricos são mais danosos (em termos de crescimento das emissões de CO<sub>2</sub>) ao meio ambiente do que o consumo dos mais pobres.

Quando analisados os efeitos das variáveis PIB per capita e população junto com o intercepto constante, nota-se que ele reforça os pressupostos da CAK, uma vez que potencializa a eficiência produtiva retratada pelo coeficiente negativo do PIB per capita e diminui os impactos gerados pela população. Seja como for, quando se leva em conta a equação inteira para a variação do impacto (STIRPAT) no G7 e nos BRICS, verifica-se que o intercepto estatisticamente significativo do G7 é suficientemente elevado para que o crescimento do impacto aí seja sempre menor



do que nos BRICS. Ou seja, ao que tudo indica, como os níveis de renda per capita do G7 são maiores do que os dos BRICS, os impactos ambientais no G7 tendem a ser menores.

De modo geral, os resultados aqui encontrados estão alinhados com os dos demais estudos acerca de impactos ambientais, os quais garantem que tanto a população quanto a afluência são fatores explicativos. Em que pese as limitações espaço-temporais desse estudo e do modelo utilizado aqui, há evidências de que, apesar das críticas, a fórmula IPAT e sua derivação, a STIRPAT, reúnem, efetivamente, em uma expressão tão concisa quanto simplificada, variáveis decisivas da relação entre economia e meio ambiente.

O que talvez mereça maior aprofundamento e discussão seja o peso relativo (coeficientes) que cada variável explicativa exerce sobre o impacto ambiental (variável explicada). Para estudos futuros, sugere-se a análise dos países individualmente, a inclusão de variáveis de cunho político e social, bem como variáveis binárias para captar os efeitos das crises econômicas no impacto ambiental e auxiliar os gestores na elaboração de políticas públicas que minimizem as pressões antrópicas sobre a natureza.

## Referências bibliográficas

ARMIJO, Leslie Elliott. The BRICS countries (Brazil, Russia, India, and China) as analytical category: mirage or insight?. *Asian perspective*, p. 7-42, 2007.

BANCO MUNDIAL. **Working for a world free of poverty**.2016. Disponível em: <<http://databank.worldbank.org/data/databases.aspx>> Acesso em: 30 dez. 2016.

BECK, Nathaniel; KATZ, Jonathan N. What to do (and not to do) with time-series cross-section data. *American political science review*, v. 89, n. 3, p. 634-647, 1995.  
BONGAARTS, John. Population growth and global warming. *population and Development Review*, p. 299-319, 1992. **crossref** <https://doi.org/10.2307/2082979>

BRASIL, W. W. F. **Relatório Planeta Vivo**. Responsável: Chris Hails. 2017 Disponível em: <[http://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/especiais/pegada\\_ecologica/pegada\\_ecologica\\_global/](http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/pegada_ecologica/pegada_ecologica_global/)> Acesso em: 8 set. 2017.

BRÜSEKE, Franz Josef. O problema do desenvolvimento sustentável. **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez, 1995.

CAVIGLIA-HARRIS, Jill L.; CHAMBERS, Dustin; KAHN, James R. Taking the “U” out of Kuznets: A comprehensive analysis of the EKC and environmental degradation. *Ecological Economics*, v. 68, n. 4, p. 1149-1159, 2009.

COMMONER, Barry. The environmental cost of economic growth. *Chemistry in Britain*, v. 8, n. 2, p. 52, 1972.

DE OLIVEIRA, Gilson Batista. Uma discussão sobre o conceito de desenvolvimento. *Revista da FAE*, v. 5, n. 2, 2017.

DIETZ, Thomas; ROSA, Eugene A. Effects of population and affluence on CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 94, n. 1, p. 175-179, 1997. **crossref** <https://doi.org/10.1073/pnas.94.1.175>

\_\_\_\_\_. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology. *Human Ecology Review*, v.1, p. 277-300, 1994.

DIETZ, Thomas; ROSA, Eugene A.; YORK, Richard. Driving the human ecological footprint. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 5, n. 1, p. 13-18, 2007. **crossref** [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[13:DTHEF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[13:DTHEF]2.0.CO;2)

DINDA, Soumyananda; COONDOO, Dipankor; PAL, Manoranjan. Air quality and economic growth: an empirical study. *Ecological Economics*, v. 34, n. 3, p. 409-423, 2000. **crossref** [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00179-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00179-8)

EHRlich, Paul R.; HOLDREN, John P. Impact of population growth. *Science*, v.171, n.3977, p. 1212-17, 26 mar.1971. **crossref** <https://doi.org/10.1126/science.171.3977.1212>

EWING, B. et al. Calculation methodology for the national footprint accounts, 2010 Edition. *Global Footprint Network*, Oakland. 2010.

FAUCHEUX, Sylvie. NOËL, Jean-François. *Economia dos recursos naturais e do meio ambiente*. Lisboa: Instituto Piaget, 1995.

FOGLIATTI, Maria Cristina; FILIPPO, Sandro; GOUDARD, Beatriz. *Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transporte*. Interciência, 2004..

GREENE, William H. *Econometric Analysis (5th)*. Ed.. Upper Saddle River, NJ, 2003.

GROSSMAN, Gene M.; KRUEGER, Alan B. Economic growth and the environment. *The quarterly journal of economics*, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1995. **crossref** <https://doi.org/10.2307/2118443>

GUIMARÃES, Roberto P. Brasil século XXI: os caminhos da sustentabilidade: cinco anos depois da Rio 92. *Fórum brasileiro de ong's e movimentos sociais para o meio ambiente e desenvolvimento*, v. 1, 1997.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. *Econometria Básica-5*. AMGH Editora, 2011.

JORGENSON, Andrew K. Consumption and environmental degradation: A cross-national analysis of the ecological footprint. *Social Problems*, v. 50, n. 3, p. 374-394, 2003. **crossref** <https://doi.org/10.1525/sp.2003.50.3.374>

KENNEDY, Peter. **Manual de econometria**. Elsevier, 2009. 598p.

KIMPARA, Eduardo T. C. Crescimento populacional: obstáculo ao desenvolvimento sustentável?.

KLEVMARKEN, N. Anders. Introduction. **European Economic Review**, v. 33, n. 2-3, p. 523-529, 1989. **crossref** [https://doi.org/10.1016/0014-2921\(89\)90131-1](https://doi.org/10.1016/0014-2921(89)90131-1)

LEAR, Linda. Introdução. In: CARSON, Rachel. **Primavera silenciosa**. São Paulo: Gaia, 2010. p. 11-19.

\_\_\_\_\_. Consumption-driven environmental impact and age structure change in OECD countries: A cointegration-STIRPAT analysis. **Demographic Research**, v. 24, p. 749-770, 2013a.

\_\_\_\_\_. Population, affluence, and environmental impact across development: Evidence from panel cointegration modeling. **Environmental Modelling & Software**. v. 40, p. 255-266, 2013b. **crossref** <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.10.002>

\_\_\_\_\_. What are the carbon emissions elasticities for income and population? Bridging STIRPAT and EKC via robust heterogeneous panel estimates. **Global Environmental Change**, v. 31, p. 62-73, 2015. **crossref** <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.10.016>

LIDDLE, Brant; LUNG, Sidney. Age-structure, urbanization, and climate change in developed countries: revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts. **Population and Environment**, v. 31, n. 5, p. 317-343, 2010. **crossref** <https://doi.org/10.1007/s11111-010-0101-5>

MATTOS, Laura Valladão de. As razões do laissez-faire: uma análise do ataque ao mercantilismo e da defesa da liberdade econômica na Riqueza das Nações. **Revista de Economia Política**, v. 27, n. 1, p. 108-129, 2007. **crossref** <https://doi.org/10.1590/S0101-31572007000100006>

MATTOS, Ely José de; FILIPPI, Eduardo Ernesto. Indutores de impacto ambiental nos municípios do Rio Grande do Sul: aplicação de um modelo global de probabilidade. **Revíbec: revista iberoamericana de economía ecológica**, v. 24, p. 91-106, 2015.

PIRES, Guilherme Nunes: Crescimento econômico e emissões de dióxido de carbono: a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental para o Brasil (1970 – 2011). **Observatório de la Economía Latinoamericana**, Brasil, 2017.

SILVA, Felipe Figueiredo et al. Determinantes da emissão de CO<sub>2</sub> por uso de combustíveis fósseis para países sul-americanos, a partir da abordagem STIRPAT. **Revista de Economia**, v. 41, n. 1, 2017.

WANG, Ping et al. Examining the impact factors of energy-related CO<sub>2</sub> emissions using the STIRPAT model in Guangdong Province, China. **Applied Energy**, v. 106, p. 65-71, 2013.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introdução à econometria: uma abordagem moderna**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

XU, Zhongmin; CHENG, Guodong; QIU, GuoYu. ImPACTS Identity of Sustainability Assessment [J]. **Acta Geographica Sinica**, v. 2, p. 003, 2005.

YORK, Richard; ROSA, Eugene A.; DIETZ, Thomas. Bridging environmental science with environmental policy: Plasticity of population, affluence, and technology. **Social Science Quarterly**, v. 83, n. 1, p. 18-34, 2002. **crossref** <https://doi.org/10.1111/1540-6237.00068>

\_\_\_\_\_. Footprints on the earth: the environmental consequences of modernity. **American sociological review**, p. 279-300, 2003a.

\_\_\_\_\_. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. **Ecological economics**, v. 46, n. 3, p. 351-365, 2003b. **crossref** [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)

\_\_\_\_\_. The ecological footprint intensity of national economies. **Journal of Industrial Ecology**, v. 8, n. 4, p. 139-154, 2004. **crossref** <https://doi.org/10.1162/1088198043630487>

\_\_\_\_\_. Ecological modernization theory: theoretical and empirical challenges. **The international handbook of environmental sociology**, p. 77-90, 2010.

ZHANG, Chuanguo; LIN, Yan. Panel estimation for urbanization, energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions: a regional analysis in China. **Energy Policy**, v. 49, p. 488-498, 2012. **crossref** <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.06.048>

ZHU, Qin; PENG, Xizhe. The impacts of population change on carbon emissions in China during 1978–2008. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 36, p. 1-8, 2012. **crossref** <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.03.003>

Recebido em 17.06.17

Aprovado em 23.01.18