

Análise do comportamento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) do Brasil e de outros países por meio da Identidade de Kaya e do Perfil de Emissões

Analysis of behaviour in the emissions of carbon dioxide of Brazil and other countries based on the Kaya Identity and the Emission Profile

Gustavo dos Reis FEIJÓ¹, João Jose de Assis RANGEL^{1*}

¹Universidade Candido Mendes – Campos, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

*E-mail de contato: joao.rangel@ucam-campos.br

Artigo recebido em 5 de setembro de 2017, versão final aceita em 11 de junho de 2018.

RESUMO: Este trabalho analisa o comportamento das emissões de dióxido de carbono em relação ao crescimento econômico e populacional nas últimas duas décadas do Brasil e de outros países selecionados. Os métodos da Identidade de Kaya e do Perfil de Emissões foram empregados para modelar um conjunto de dados relativos ao Brasil e a outros seis países. Os dados mais recentes disponíveis e utilizados como fonte de análises no momento desta pesquisa são os da Agência Internacional de Energia para o período de 1990 a 2014. Os resultados avaliados mostraram duas conclusões antagônicas para o Brasil. A primeira é que, quando comparado aos outros países investigados, o Brasil tem a melhor posição em termos de volume total dos gases poluentes lançados na atmosfera. Já a segunda conclusão mostra que as emissões de dióxido de carbono do País estão crescendo mais do que o aumento populacional. Ou seja, se continuar da forma que está, o País poderá perder a condição de matriz energética mais sustentável.

Palavras-chave: CO₂; PIB; desacoplamento; Kaya; BRICS.

ABSTRACT: This study analyzes the behavior of carbon dioxide emissions with regard to the economic and population growth of Brazil and other selected countries over the last two decades. We applied the Kaya Identity and the Emission Profile to model a data set related to Brazil and six other countries. The most recent data available and applied as a source of analysis during this research are from the International Energy Agency for the period 1990 to 2014. The results presented two antagonistic conclusions for Brazil. The first one is that, when comparing to the other countries under investigation, Brazil has the best position regarding the total volume of polluting gases released into the atmosphere. The second conclusion demonstrated that the carbon dioxide

emissions emitted by Brazil have been growing more than the population increase. That is, if the country continues as it is, it could lose the important condition of a cleaner energy matrix.

Keywords: CO₂; GDP; decoupling; Kaya; BRICS.

1. Introdução

Os dados mais recentes da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency* - IEA) relativos aos anos de 2014 e 2015 mostram que os valores das emissões de dióxido de carbono (CO₂) mantiveram-se estáticos, em nível mundial, apesar de ter sido registrado crescimento econômico no mesmo período. Esta é uma informação inédita que demonstra a possibilidade de estar ocorrendo o início do processo de desacoplamento entre as emissões de CO₂ e o crescimento econômico. Segundo o relatório da IEA, uma ruptura neste acoplamento contraria o que sempre foi registrado entre os valores do Produto Interno Bruto (PIB) global e das emissões de gases do efeito estufa (GEE), principalmente o de maior impacto que é o CO₂ (IEA, 2016a). Conclusões semelhantes também podem ser obtidas utilizando-se dados do WRI (*World Resource Institute*) (WRI 2015; Lebling *et al.*, 2018).

Informações preliminares para o ano de 2015, do último relatório disponível da referida agência (IEA, 2017b), mostraram que as emissões de CO₂ permaneceram aproximadamente constantes em 32,1 bilhão de toneladas anuais, desde o ano de 2013. No ano de 2014, o PIB mundial cresceu 3,4% e em 2015 cresceu 3,1%, enquanto as emissões mantiveram-se praticamente inalteradas. Destaca-se o fato de que tanto China quanto os EUA, os dois maiores consumidores de energia e também maiores

poluidores do planeta, reduziram a taxa de crescimento de suas emissões, de acordo com dados preliminares da IEA, em 1,5% e 2%, respectivamente. Em ambos os casos, este fato parece ter origem nas novas políticas orientadas a uma indústria menos consumidora de energia fóssil e com maior utilização de fontes renováveis (IEA, 2016b).

Por outro lado, diferentes nações do planeta estão em trajetórias distintas quando comparado os estágios de desenvolvimento econômico, crescimento populacional e os avanços alcançados nas suas matrizes energéticas menos poluentes. Assim, diversos pesquisadores, atualmente, têm buscado investigar as relações existentes entre os crescimentos econômico e populacional e as emissões de GEE, mais especificamente o CO₂. Contudo, as emissões de outros gases como o metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), por exemplo, não podem ser desprezadas.

Em dois trabalhos publicados recentemente, por exemplo, Conte Grand (2016) mostra que de forma a evitar danos irreversíveis ao ambiente, o incremento na temperatura global não pode ser maior do que 2 graus célsius até o ano de 2100. Lima *et al.* (2016), é um outro exemplo de estudo, relacionando a quantidade de energia consumida ao desenvolvimento socioeconômico, por meio de uma abordagem que inclui uma análise que utiliza o método da Identidade de Kaya para entender as relações entre as diversas variáveis que afetam as emissões de CO₂. Os autores buscaram com isso ge-

rar informações para auxiliar os decisores e políticos a enfrentar este objetivo com técnicas que procuram identificar as principais razões que dão origem a esta questão. Ou seja, avaliar as questões relativas à expansão econômica e alterações nas emissões de GEE tem sido um motivador para se encontrar formas de impulsionar ainda mais os ganhos para se alcançar um planeta mais limpo.

Neste contexto, duas metodologias estão sendo empregadas para se identificar os principais fatores que relacionam o desenvolvimento econômico e emissões de GEE. A primeira metodologia, a Identidade de Kaya tem sido adotada pela IEA, para verificar em que medidas diferentes indicadores impactam no nível de emissão de CO₂. A segunda metodologia, que propõe uma modelagem de dados por meio de um perfil para as emissões, permite avaliar a trajetória de um determinado país ao longo de um determinado período de tempo, onde se pode observar como o país está lançando gases poluentes na atmosfera comparativamente ao seu crescimento econômico e populacional.

Diversos trabalhos, recentes, na literatura especializada foram encontrados durante a realização do levantamento bibliográfico para elaboração deste estudo, inclusive vários que utilizaram o método da Identidade de Kaya. No entanto, não foi identificado nenhum que tenha feito uma análise com os grupos de países aqui selecionados.

Assim, diante do que foi aqui exposto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma análise do comportamento das emissões de CO₂ do Brasil, dos outros países dos BRICS e dos cinco maiores poluidores, comparativamente ao seu crescimento econômico e populacional. Para realizar esta análise, foi elaborado um conjunto formado por países com semelhanças econômicas, populacionais e/ou

níveis de emissões de GEE. Esta análise permite uma avaliação comparativa dos valores referentes aos níveis de emissões de CO₂ e estágios de desenvolvimento econômico.

O presente trabalho foi organizado, então, da seguinte forma. Em Revisão da Literatura, item 2, mostra-se o estado da arte e alguns conceitos relativos ao tema. No item 3, Materiais e Métodos, consta a metodologia para o cálculo da Identidade de Kaya, também a elaboração do perfil de emissão, o critério de seleção dos países e a base de dados utilizada. No item 4, foi feito uma análise das participações do PIB e CO₂ do grupo de países escolhido. No item 5, o Método da Identidade de Kaya foi utilizado para analisar o comportamento dos países selecionados, levando-se em conta fatores que envolvem as emissões de CO₂, crescimento econômico e consumo energético. O item 6, Perfil de Emissão de CO₂, descreve o comportamento de duas relações específicas associadas a emissões de CO₂, PIB e população. Por fim, o item 7 apresenta as conclusões do estudo.

2. Revisão da literatura

Para que os diversos países possam adotar formas de reduzir a quantidade de GEE lançados na atmosfera é necessário não apenas um esforço governamental, mas também um entendimento das relações entre os diversos fatores que envolvem as emissões. Neste contexto, uma revisão da literatura foi realizada de forma a se avaliar os principais trabalhos que abordam o assunto: crescimento econômico, populacional e consumo energético. A base SCOPUS foi a escolhida como fonte de pesquisa e os artigos foram selecionados tendo-se em conta não somente

o número de citações, mas também a proximidade com o tema deste trabalho. Os principais trabalhos aqui descritos são:

Wang *et al.*, (2016) mostram resultados, obtidos pelo Método da Identidade de Kaya, que sugerem a ocorrência do desacoplamento das emissões de CO₂ e o PIB de diversos grupos de países, demonstrando que o crescimento econômico sem um aumento nas emissões de dióxido de carbono não é apenas uma hipótese, mas uma realidade.

Dai *et al.*, (2016) falam a respeito de uma diferença de intensidade energética dos BRICS e países desenvolvidos. Assim, a utilização de novas tecnologias e novas políticas deveriam ser fortalecidas nesse grupo de países. Lucon & Goldemberg (2009) afirmaram que a intensidade energética representa o consumo de energia por PIB no país. Tanto a intensidade energética quanto a intensidade de dióxido de carbono têm conexão com a tecnologia utilizada no período considerado. Zhang & Da (2015) realizaram estudos buscando encontrar meios eficazes para reduzir a intensidade de emissões de carbono (relação entre CO₂ e PIB) na China. Eles concluem que o governo de modo geral deve continuar a modificar o padrão de consumo energético, continuando a substituir meios de maior emissão de CO₂ ao investir em fontes com mais tecnologia envolvida e, portanto, mais eficientes. Dessa forma diminui-se intensidade energética e consequentemente as emissões. Um estudo semelhante foi feito por Freitas & Kaneko (2011) para o Brasil.

Saidi & Hammami (2015) concluem, por meio de uma análise de 58 países, que o efeito do crescimento econômico no consumo de energia é positivo e significante em um panorama global. Além disso, mostram a relação direta entre consumo energético e emissões de CO₂. Portanto, para os autores, crescimento econômico, emissões de CO₂ e consumo energético

são complementares. Niu *et al.* (2011) demonstram essa mesma questão, a existência de uma relação entre consumo energético e emissões de CO₂ para 8 países asiáticos estudados. Bozoklu & Yilancı (2013) e Kais & Sami (2016) também apontam a ligação entre crescimento econômico e emissões de CO₂.

Alvim & Santin (2008a) mostraram que o consumo de energia e o consumo energético *per capita* tende a ser menor com os avanços tecnológicos. Já a intensidade de dióxido de carbono tem conexão estreita com a matriz energética do país estudado. Em seu artigo, Fiorito (2013) chega às mesmas conclusões, mas diz que a razão consumo energético e PIB, não é tão útil para demonstrar o estado de desenvolvimento econômico de um país.

Wang *et al.* (2014) utilizam a metodologia da Identidade de Kaya em conjunto com o modelo de desacoplamento de Tapiro (Tapiro, 2005) para estudar as relações entre as emissões de gás carbônico e crescimento econômico. Rustemoglu & Andrés (2016) utilizam uma extensão do método de Kaya para analisar as emissões de CO₂ relacionadas com o consumo energético. Seus resultados demonstram que, para os países por eles estudados, essa emissão de gases, relativa à energia consumida, é um problema de grande relevância.

As políticas energéticas de alguns países vêm sendo alteradas devido ao Protocolo de Kyoto e ao Acordo de Paris que visam reduzir as emissões e frear as mudanças climáticas. Abramovay (2014) deu destaque ao fato de estar ocorrendo duplicação da oferta de energia gerada por fontes renováveis, numa faixa temporal entre 2008 e 2012, em alguns países mais desenvolvidos. No caso do Brasil, Didoné *et al.* (2014) e Souza *et al.* (2015) mostraram que quase metade da matriz energética brasileira é composta por energias renováveis.

No entanto, os países em desenvolvimento visam um maior crescimento econômico e isto acarreta um maior consumo energético por parte destes. Assim, um maior e mais extenso estudo dessas novas políticas energéticas e seus efeitos na economia e, consequentemente nas emissões, deve ser realizado. Ou seja, os diferentes autores aqui expostos buscaram analisar os elementos que originam as causas do aumento ou redução das emissões de gases poluentes. Todos eles aqui expostos, de certa forma, analisaram as emissões de CO₂, comparativamente ao crescimento populacional e econômico, encontrando aí as razões para a compreensão das questões relacionadas ao assunto.

3. Materiais e métodos

Este item apresenta a fonte dos dados e o critério que foi empregado para selecionar os países para realização das análises comparativas. Além disso, apresentam os dois métodos utilizados para a modelagem dos dados e como foram empregados no estudo.

3.1. Fonte dos dados e critério de seleção dos países

O presente trabalho foi elaborado a partir de dados obtidos em consultas públicas nas bases de dados da IEA (IEA, 2017a). Os dados referem-se ao período de 1990 a 2014, que são os mais recentes disponíveis na data de realização desta pesquisa. É importante mencionar que os valores das emissões de CO₂ oriundos desta base de dados são referentes apenas a queima de combustível.

Inicialmente foi escolhido o grupo dos cinco países que compõem os BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) devido às semelhanças econômicas mostradas por O'Neill (2001). Posteriormente, foram incluídos mais dois países: EUA e Japão. Estes dois últimos foram adicionados ao primeiro grupo por serem integrantes do conjunto de países chamados de cinco maiores poluidores do planeta, juntamente com a Rússia, Índia e China que já são também participantes dos BRICS (IEA, 2017a). Ou seja, três

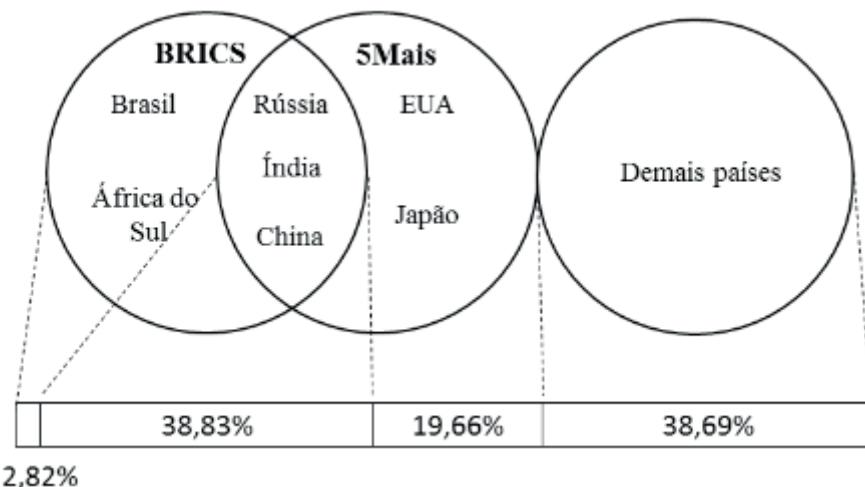


FIGURA 1 – Grupo de Países e as participações nas emissões de CO₂ a nível mundial

FONTE: Elaborado pelos autores com dados de 2014. Dados IEA, acessado em 12/02/2017.

países que compõem o grupo dos BRICS são também pertencentes ao grupo dos cinco maiores emissores de CO₂ do planeta (aqui chamado de 5Mais). Assim, o conjunto então ficou composto por sete países, África do Sul, Brasil, China, EUA, Índia, Japão e Rússia, como mostra a Figura 1.

Observe na Figura 1 as respectivas participações nas emissões do conjunto formado pelos sete países aqui avaliados e os demais países do planeta. No círculo da esquerda pode-se ver o grupo dos BRICS, onde, deste grupo, Brasil e África do Sul juntos respondem por apenas 2,82% das emissões globais de CO₂. Já os outros três países dos BRICS, Rússia, Índia e China, respondem por 38,83% das emissões globais. No círculo do centro tem-se o grupo dos 5Mais. Deste segundo grupo, apenas EUA e Japão respondem por 19,66% das emissões. Assim, os dois primeiros círculos à esquerda, formam o conjunto dos sete países escolhidos neste trabalho, BRICS e 5Mais, que respondem juntos por 61,31% dos gases poluentes do planeta. Enquanto isso, o restante de todos os demais países da Terra é responsável por 38,69% do CO₂ emitido na atmosfera, ou seja, o equivalente a pouco mais de 1/3 do total das emissões.

Brasil e África do Sul parecem não ter semelhança com os outros países selecionados, quando comparados aos 5Mais. No entanto, como mostrado, três países dos BRICS, dos quais Brasil e África do Sul são integrantes, pertencem também ao grupo dos 5Mais. Daí a razão da escolha deste conjunto de países.

3.2. IPAT e Identidade de Kaya

O conceito de IPAT foi desenvolvido por Ehrlich *et al.* (1971). Esta formulação, mostrada

na Equação 1, correlaciona os impactos ambientais (I) com três outros fatores: população (P), afluência (A) e tecnologia (T). Neste contexto, afluência está ligada ao grau de riqueza da população, sendo melhor expressada pelo consumo médio de cada pessoa da população. Em termos de sustentabilidade, esta equação pode estabelecer ligações entre o ambiente e a situação socioeconômica de forma a quantificar os impactos ambientais da atividade humana (O’Mahony & Dufour, 2015).

$$I = População \times Afluência \times Tecnologia \quad (1)$$

Ou ainda:

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

Este conceito apresenta uma limitação que é a de assumir que as variáveis são independentes entre si e, portanto, alterações que venham a ocorrer em qualquer uma delas não produziria efeito algum sobre as demais (Puliafito *et al.*, 2008).

O conceito de IPAT, quando aplicado para emissões de GEE (Lima *et al.*, 2016) é, por vezes, conhecida como Identidade de Kaya (Kaya, 1989). Este relação foi utilizada por Kaya que desenvolveu uma decomposição matemática cujo objetivo foi quantificar as emissões de dióxido de carbono, frente ao consumo energético e a intensidade carbônica (Henriques & Borowiecki, 2014). Com esse recurso, tenta-se convergir para um cenário de adoção de novas tecnologias que possuam menor potencial poluidor (Alvim & Santin, 2008b).

Na Equação 2 pode-se observar a decomposição do método da Identidade de Kaya e a equivalência com o IPAT. Onde, comparando-a com a Equação 1, P é população, o termo ou PIB per

capita equivale a A e o restante seria associado à tecnologia, T.

$$C = P \times \frac{PIB}{P} - \frac{Energia}{PIB} - \frac{C}{Energia}$$

P A T

Onde:

C: Emissões de dióxido de carbono (MtCO₂);

P: População (milhões de pessoas);

PIB: Produto Interno Bruto (1 bilhão de dólares americanos em 2010);

Energia: Energia Primária (Mtep*).

Disso, infere-se que (Lima *et al.*, 2016):

PIB/P: PIB per capita (bilhões de dólares americanos em 2010/capita);

Energia/PIB: Intensidade energética (tep/mil dólares americanos em 2010);

C/Energia: Intensidade Carbônica da Energia (tCO₂/tep).

Sendo que:

*tep: tonelada equivalente de petróleo.

Esta metodologia traz consigo o conceito de que a variação nos valores desses indicadores de emissões de CO₂ tem relação íntima com a variação populacional, intensidade energética, intensidade de dióxido de carbono e crescimento econômico (Budzianowski, 2013). Partindo-se desses indicadores, fixa-se um ano-base (1990) com o qual todos os outros indicadores poderão ser comparados. Dessa forma, cada valor encontrado pode ser comparado com o do ano de 1990, através de uma razão simples dada pelo valor no ano atual dividido pelo de 1990. Este resultado obtido é um índice que demonstra a

variação de forma percentual de cada aspecto presente no método da Identidade de Kaya.

Além disso, pode se verificar o comportamento ascendente ou descendente das curvas. Este comportamento indica então a situação relativa do país em um determinado momento em relação ao ano-base de 1990 (índice = 1).

Destaca-se que a análise desenvolvida neste trabalho compreendeu o período de 1990 a 2014, últimos valores disponíveis na base de dados da IEA.

3.3. Perfil de emissão de CO₂

O Perfil de Emissões de CO₂ é uma modelagem que pode ser realizada com um conjunto de dados de forma a se encontrar uma trajetória relativa ao comportamento de indicadores de interesse. A respectiva modelagem relaciona as emissões de CO₂ e o crescimento econômico e populacional, para um período de tempo específico.

O primeiro indicador é obtido pela razão entre as emissões de CO₂ e o número de habitantes (CO₂/POP), chamado de emissão de CO₂ per capita. O segundo indicador é obtido pela razão entre as emissões e o PIB (CO₂/PIB), aqui chamado de intensidade de emissão de CO₂. A curva construída ao longo do tempo pela interseção destes dois indicadores é chamada de Perfil de Emissões de CO₂.

A emissão de CO₂ per capita é dada em toneladas de CO₂ (tonCO₂) e a intensidade de emissão de CO₂ é dada em Mton por dólares americanos, relativos ao ano de 2010 (Mton/\$).

Ou seja, o Perfil de Emissões demonstra o quanto um determinado país está em trajetória temporal mais ou menos poluente em relação ao desenvolvimento alcançado e ao aumento popula-

cional. Ou ainda, pode-se dizer o seguinte: quando a trajetória dos valores descritos no gráfico caminha em direção ao vértice dos eixos (ponto 0,0) indica que um determinado país está tendo aumento populacional e crescimento econômico maior que o aumento das emissões de CO₂, no período. Isto é o que todos os países deveriam fazer para obterem uma matriz energética mais limpa, ou seja, que tenha como grande parcela fontes renováveis de geração de energia. Assim, este é então, um mecanismo que pode ser utilizado para a verificação da descarbonização da matriz energética de um determinado país.

4. Relação CO₂ PIB

A relação CO₂ PIB é uma comparação direta que pode ser realizada para se avaliar a participação percentual das emissões de CO₂ comparativamente

ao tamanho da economia de um determinado país. O ideal é que um país tenha participação percentual na economia, maior que a participação percentual nas emissões de CO₂.

4.1. Participação dos BRICS nas emissões de CO₂ e PIB

A Figura 2 apresenta o grupo dos países componentes dos BRICS e as suas participações no PIB e nas emissões de CO₂. Fazendo o somatório do PIB dos BRICS, Figura 2(a), chega-se ao total de 20,5% enquanto os demais países somam 79,5%. Observe que apenas a China responde por 11,3% da soma de 20,5% do PIB dos BRICS, sendo este valor equivalente a 55,1% do PIB deste grupo. Já para as emissões de CO₂, Figura 2(b), os BRICS são responsáveis por 42,3%, novamente devido à grande influência da China com 28,1% dentre os 42,3%.

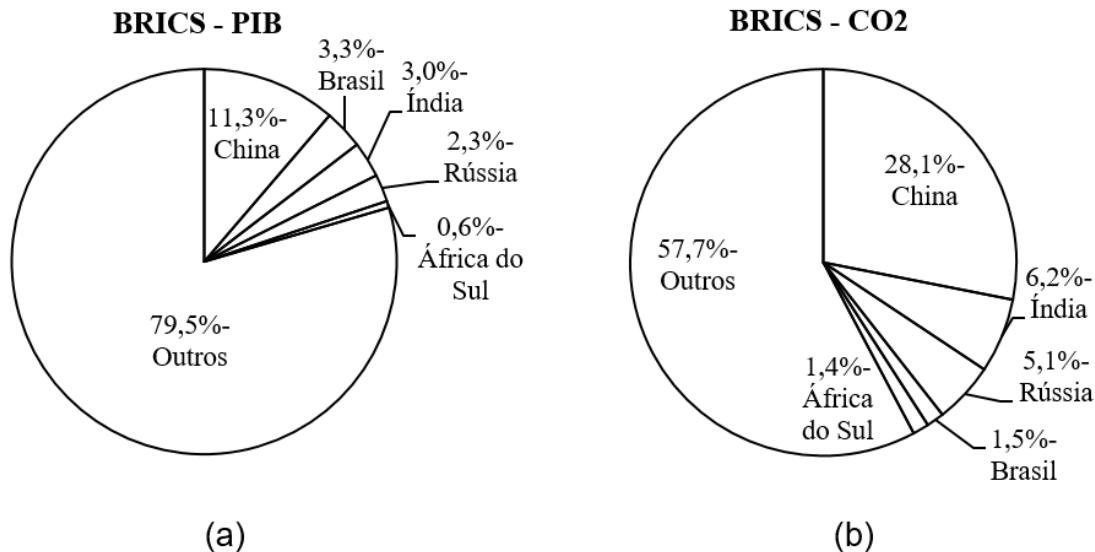


FIGURA 2 – Participação dos BRICS no PIB e CO₂, Mundial (a) PIB e (b) CO₂

FONTE: Elaborado pelos autores com dados de 2014. Dados IEA, acessado em 12/02/2017.

4.2. Participação dos 5 países maiores emissores de CO₂ e seu PIB

De maneira semelhante à Figura 2, a Figura 3 apresenta o grupo dos países componentes dos 5Mais e as suas participações no PIB e nas emissões de CO₂. O PIB, no total, desses 5Mais, apresentado na Figura 3(a), é de 46,5% enquanto o restante dos demais países somam 53,5%. Note que EUA e China respondem por 33,5% do PIB mundial. Já para as emissões, Figura 3(b) os 5Mais são responsáveis por 59% das emissões de CO₂, com EUA e China responsáveis por 44,1%, ou seja, quase a metade das emissões totais.

Comparando, então, as participações das economias e das emissões de CO₂ entre os diferentes países, nota-se um desequilíbrio entre os valores. Alguns países poluem mais que o tamanho de suas economias e vice-versa. O próximo item então expõe melhor esses comparativos.

4.3. Comparativo dos grupos

A Tabela 1 apresenta a relação CO₂/PIB. Observe que os dois grupos de países, BRICS e 5Mais, apresentam participação na parcela percentual de CO₂ maior que a do PIB, 2,06:1 e 1,27:1, respectivamente. No entanto, quando se olha de forma

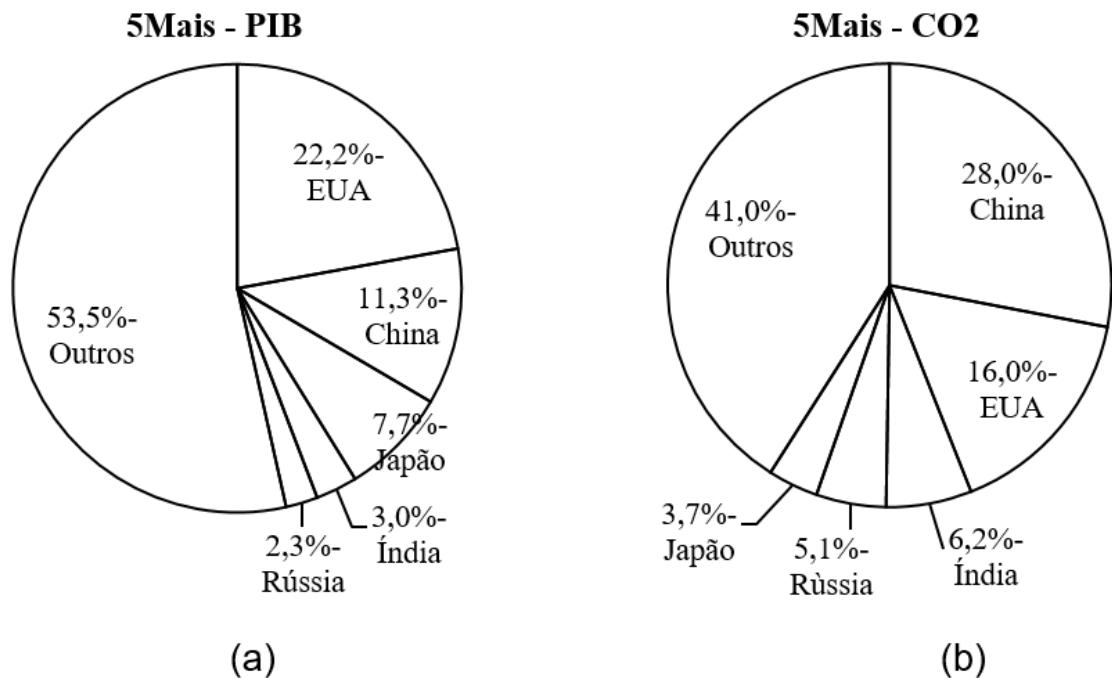


FIGURA 3 – Participação dos países 5Mais no PIB Mundial e na emissão de CO₂ em comparação com os demais países do mundo, (a) PIB e (b) CO₂.

FONTE: Elaborado pelos autores com dados IEA de 2014, acessado em 12/02/2017.

individualizada cada um dos sete países, percebe-se que apenas três deles apresentam a razão CO₂/PIB menor que 1, sendo eles, Brasil, Japão e EUA (0,45:1, 0,72:1 e 0,48:1). Os demais países, Rússia, Índia, China e África do Sul, apresentam a razão maior que 1, indicando que a parcela relativa às emissões de CO₂ é maior que o tamanho percentual da economia.

A razão CO₂/PIB é um bom indicativo se um determinado país está com participação na economia maior ou menor que as emissões de CO₂. Porém, é uma informação estática e não informa como está acontecendo a transição econômica para uma matriz mais ou menos poluente. Esta análise pode ser feita por meio da Identidade de Kaya e Perfil de Emissões, apresentados a seguir no texto.

Por outro lado, um aspecto específico que pode ser observado é a relação entre as emissões de CO₂ e o consumo de energia. Com exceção da Rússia, os BRICS em geral não apresentaram queda significativa na intensidade energética.

De modo específico, o método da Identidade de Kaya para o Brasil é mostrado pela Figura 4(a). Esta Figura demonstra o forte acoplamento entre o consumo de energia e as emissões de CO₂, ambos mantendo um padrão de crescimento na maior parte do período considerado. A crise de 2008 tem efeito notável nas emissões de CO₂ e consumo energético (Brasil, 2017). Outra questão importante é o comportamento de um distanciamento entre os índices de energia primária no período 2010 a 2014 (2010: 1,895 / 2014: 2,162) e PIB per capita (2010:

TABELA 1 – Comparativo entre as participações porcentuais dos grupos.

	BRICS	5MAIS	BRASIL	RÚSSIA	ÍNDIA	CHINA	ÁFRICA DO SUL	EUA	JAPÃO
pib	20,5%	46,5%	3,3%	2,3%	3%	11,3%	0,6%	22,2%	7,7%
CO ₂	42,3%	59,0%	1,5%	5,1%	6,2%	28,1%	1,4%	16%	3,7%
RAZÃO	2,06:1	1,27:1	0,45:1	2,21:1	2,06:1	2:48:1	2,33:1	0,72:1	0,48:1

FONTE: Elaborado pelos autores. Dados IEA, acessado em 12/02/2017.

5. Análise da Identidade de Kaya

5.1. Identidade de Kaya para os BRICS

Foi realizada uma análise dos países pertencentes aos BRICS, aplicando-se o método da Identidade de Kaya. Neste contexto, observa-se que cada um dos seis países mostrados pela Figura 4 não apresentam um comportamento padrão, apesar de pertencerem ao grupo dos BRICS.

1,406 / 2014: 1,474), percebendo-se um possível desacoplamento desses dois indicadores ao notar o maior crescimento da intensidade energética. Outro aspecto notado também é o aumento das emissões no decorrer dos últimos anos que pode ser explicado pela crise hídrica na qual o país vem passando nestes anos, levando a necessidade da utilização de termelétricas, que são mais poluidoras, na geração de energia.

Em relação à Rússia, Figura 4(b), apresenta grande queda do consumo de energia primária,

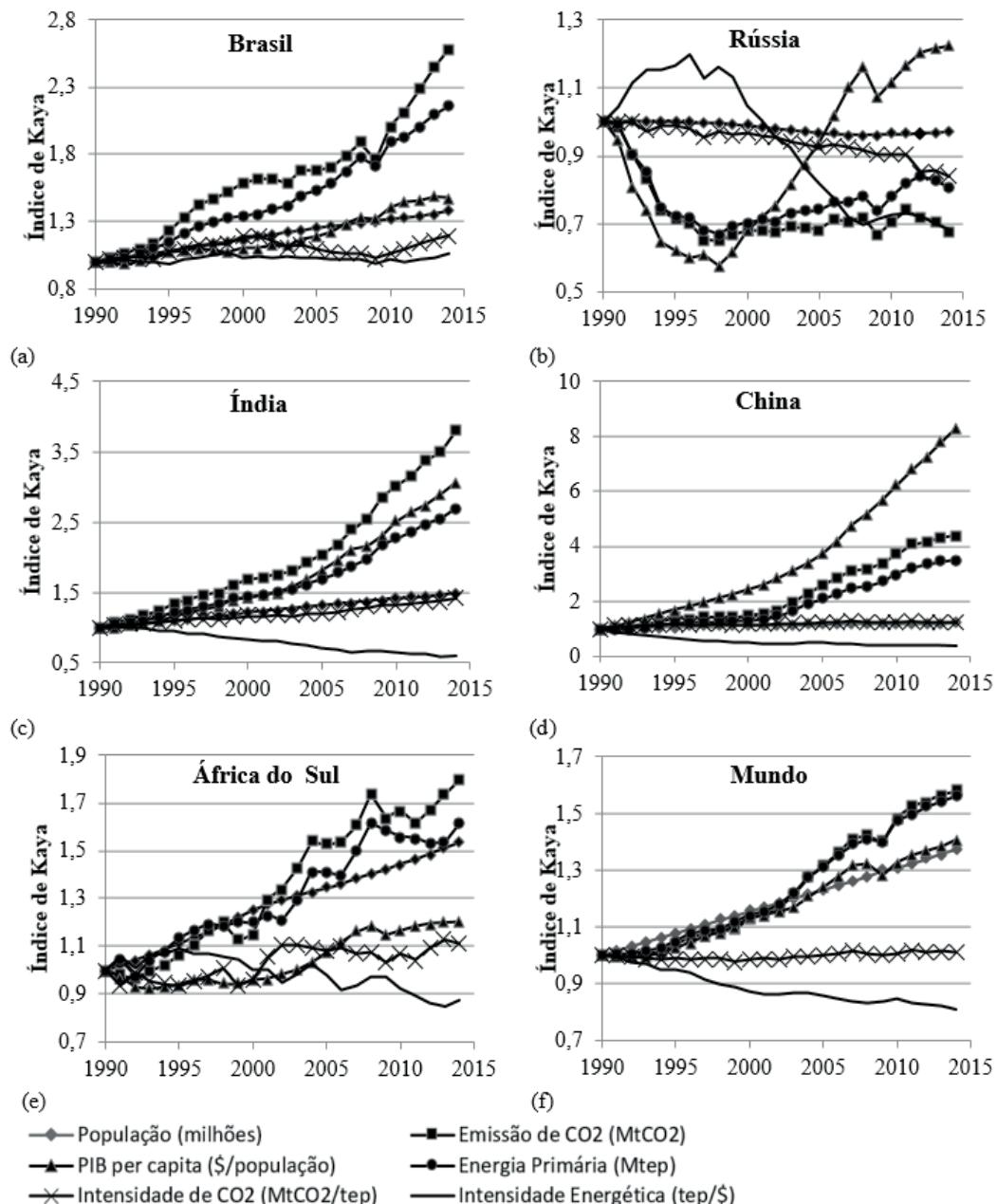


FIGURA 4 – Desenvolvimento dos Índices de Kaya para os BRICS, (a) Brasil, (b) Rússia, (c) Índia, (d) China, (e) África do Sul e (f) Mundo.
FONTE: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessado em 12/02/2017.

emissão de CO₂ e PIB per capita. Apenas no início dos anos 2000 tem-se uma recuperação, demonstrada pelo aumento do PIB per capita e queda da intensidade energética. Nos últimos anos há uma tendência de queda nas emissões de CO₂ e intensidade energética. No entanto, a Rússia não apresenta um padrão de comportamento, provavelmente devido a questões políticas pelas quais o país passou após o fim da União Soviética. Porém, dentre todos os países, é o único que apresenta quedas nas emissões de CO₂, consumo de energia primária e intensidade de CO₂.

Já a Índia, Figura 4(c), teve um grande crescimento nas emissões de CO₂, as quais aumentaram 280% (1990: 1 e 2014: 3,80). Este crescimento foi acompanhado pelo aumento do PIB per capita e consumo energético, enquanto a intensidade energética diminuiu em cerca de 41% (1990: 1 e 2014: 0,59) mostrando um aumento do PIB, caindo o consumo energético relativo. Ou seja, apresenta uma provável influência de novas tecnologias aplicadas à produção de energia por meio de fontes renováveis e limpas e também a expansão do setor de serviços (Índia, 2017).

A China, Figura 4(d), mostra também um grande aumento em suas emissões de CO₂, 338% (1990: 1 e 2014: 4,38). O que mais se destaca é o aumento de aproximadamente 900% do PIB enquanto a população não cresceu tanto assim (cerca de 20%), o que leva ao expressivo crescimento do PIB per capita em cerca de 730%. Vale ressaltar o aumento de 250% no consumo energético do país, demonstrado pela curva de energia primária.

No caso da África do Sul, a Figura 4(e) apresenta um comportamento majoritariamente crescente das emissões de CO₂ (80%), consumo de energia primária (61%) e população (53%). Em

termos de população foi o país que mais cresceu, um pouco mais que a Índia que aumentou em 49% sua população. Comparativamente aos demais países do grupo, o comportamento dos índices da África do Sul tem um padrão menos definido. Ocorrem algumas descontinuidades de quase todos os fatores, apesar de que o comportamento final é o de crescimento na maioria dos coeficientes.

A Figura 4(f) mostra o Índice de Kaya para o mundo e deixa evidente a interdependência das emissões de CO₂ com o consumo energético (Energia Primária), demonstrado pela quase total sobreposição das curvas.

De modo geral, o Mundo, para uma mesma quantidade energética, está produzindo a mesma quantidade de CO₂. A queda dos valores de intensidade energética também é boa, por indicar um crescimento do PIB maior do que o crescimento do consumo energético em termos percentuais. O crescimento do PIB per capita, mesmo com o aumento da população, mostra uma melhora no quadro geral da economia das famílias.

5.2. Identidade de Kaya para os 5Mais

Dentre os 5 países mais emissores de CO₂, de acordo com dados da IEA, referentes ao período de 1990 a 2014, três deles se encontram no grupo dos BRICS. São eles, Rússia, Índia e China, que já tiveram seus índices discutidos anteriormente. A Figura 5 mostra então, logicamente, apenas o comportamento do Índice de Kaya para EUA e Japão.

Os EUA, Figura 5(a), demonstram uma forte queda na intensidade energética, caindo 35% (1990: 1 e 2014: 0,65) e queda de cerca de 7% na intensidade de CO₂ (1990: 1 e 2014: 0,93). Esse padrão de decrescimento pode ser explicado pelo papel de

liderança em desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias, que levam a um perfil mais limpo e sustentável da matriz de geração energética (Lenox & Loughlin, 2017). Apesar disso, ainda é um país que emite grande quantidade de CO₂ na atmosfera, apresentando, nos últimos anos, um comportamento de crescimento das emissões, consumo de energia e PIB per capita.

Já o Japão exibe, na Figura 5(b), até aproximadamente 2004, o crescimento do consumo de energia primária e emissões de CO₂. A intensidade energética do período de 1990 a 2014 demonstra uma queda de 19% (1990: 1 e 2014: 0,81), com uma queda mais acentuada a partir de 2010. Nota-se também que a crise de 2008 teve grande impacto, demonstrado pela queda do PIB per capita, consumo de energia e emissões de CO₂ nesse ano. Outra situação que fica em evidência é o aumento da in-

tensidade de CO₂ a partir de 2011, principalmente devido ao desastre de Fukushima, havendo consequentemente uma substituição da energia nuclear por outras que emitem mais CO₂ para a atmosfera, para um mesmo valor de geração de energia em KWh energético (Taghizadeh-Hesary *et al.*, 2017).

6. Perfil das emissões de CO₂

O perfil das emissões de CO₂ demonstra o comportamento da intensidade de emissão de CO₂ e CO₂ per capita. Este perfil pode ser visualizado por meio de dois tipos de gráficos, o de bolhas e o de dispersão com linhas (IEA, 2017a).

As Figuras que utilizam os gráficos de bolha mostram os valores do início (1990) e fim (2014) do período analisado. Além disso, de acordo com o tamanho da bolha, tem a vantagem de mostrar de

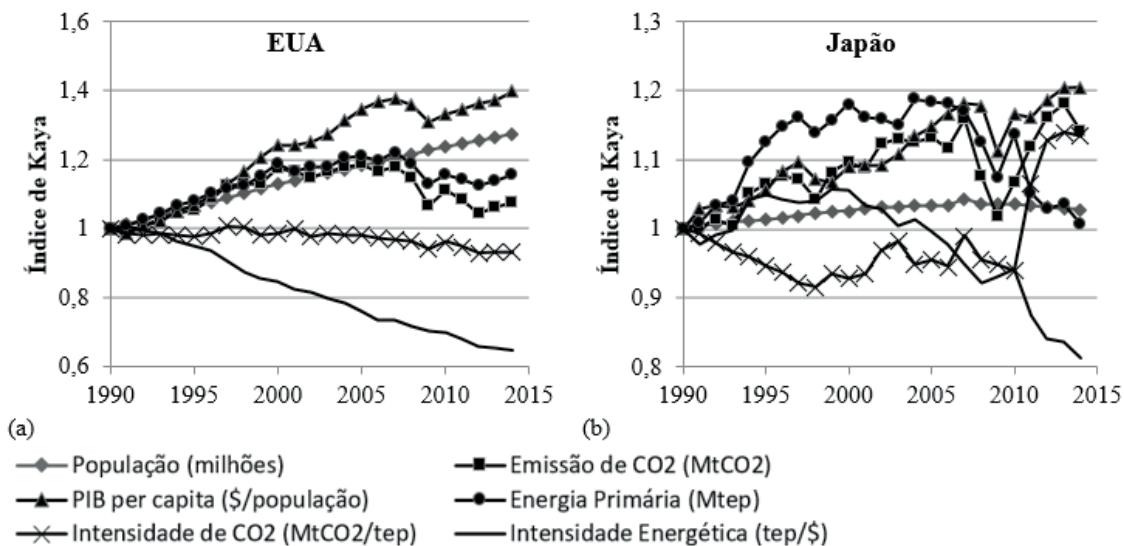


FIGURA 5 – Desenvolvimento dos Índices de Kaya para os, (a) EUA e (b) Japão.

FONTE: Elaborado pelos autores. Dados IEA, acessado em 12/02/2017.

forma relativa as emissões de CO₂ de ambos os anos analisados. As setas indicam a direção em relação ao vértice dos eixos. Deve-se ressaltar ainda que o ideal é que a seta esteja apontada em direção ao vértice (0,0), pois indica a redução da intensidade de emissão de CO₂ e emissões per capita.

Já as Figuras que utilizam os gráficos de dispersão com linhas têm o objetivo de mostrar o comportamento ao longo do período e, dessa forma, mostrar a trajetória percorrido pelo país em relação a cada ano.

6.1. BRICS

A Figura 6 ilustra a intensidade de emissão de CO₂ para os BRICS e Mundo. Já a Tabela 2, por sua vez, apresenta em detalhes os dados descritos na Figura 6, demonstrando a variação percentual entre o ano inicial (1990) e final (2014) e o valor das emissões totais de CO₂.

Apenas a Rússia caminha na direção ideal, com variação negativa de todos os indicadores, inclusive das emissões totais de CO₂.

A China apresenta queda expressiva na intensidade de emissão (-56,17%), mas apresenta aumento

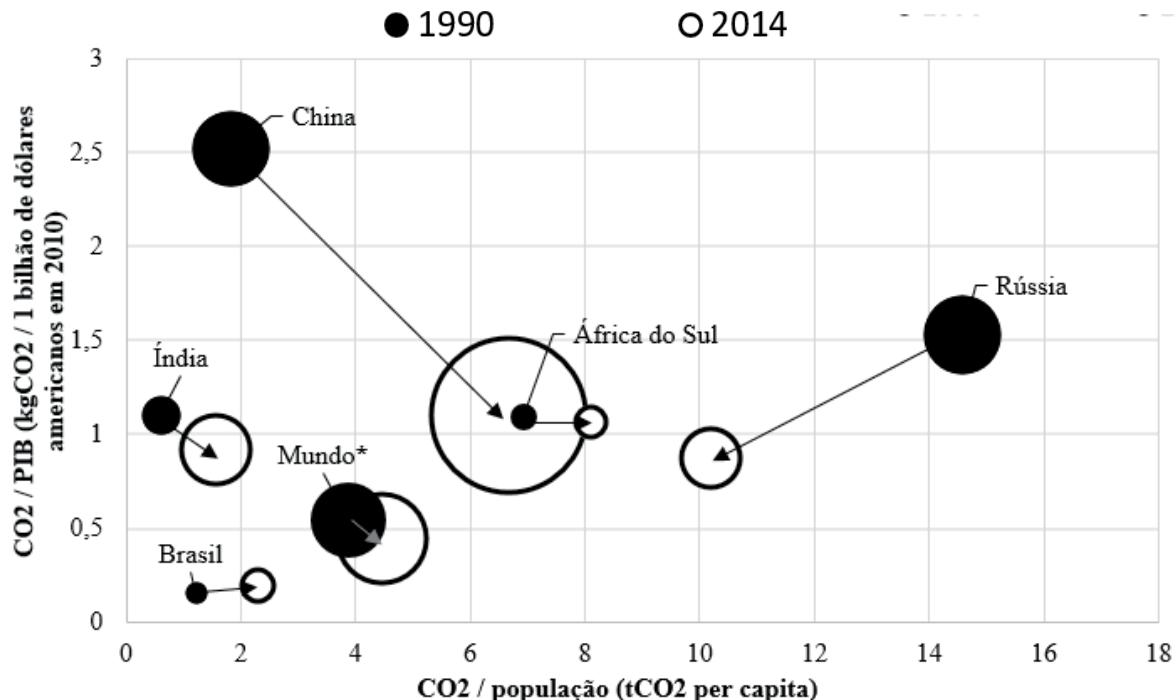


FIGURA 6 – Intensidade de emissão de CO₂ para os BRICS e Mundo.

FONTE: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessado em 12/02/2017.

* Valor das emissões do Mundo dividido por 10 para melhor visualização do tamanho das bolhas.

de 264,13% nas emissões per capita e 337,73% nas emissões totais de CO₂.

A África do Sul e Índia melhoraram no indicador de intensidade de emissão de CO₂ (-2,65% e -16,51%, respectivamente), mas suas populações emitem cada vez mais CO₂, com a Índia aumentando 51,06% e a África do Sul 16,93%.

Em termos de emissões totais, a variação é ainda mais expressiva, com a Índia emitindo 280,78% mais CO₂ e a África do Sul com aumento de 79,38%.

O Brasil apresenta comportamento contrário ao desejado, aumentando as emissões per capita e intensidade de CO₂ (27,10% e 87,84%, respectivamente). Além disso, as emissões de CO₂ cresceram 58,35%. Porém, o país ainda está bem colocado, devido aos valores numéricos da intensidade de emissão e emissões per capita, bem como a emissão de CO₂ em si, sendo no valor de 476,02 Mton. Tal situação pode ser devido ao fato que, segundo dados do Ministério de Minas e Energia, as energias renováveis ainda representam mais de 42% da matriz energética (Brasil, 2017). Do grupo dos BRICS, é

o único país em que houve aumento da intensidade de emissão de CO₂. Fato este, que é bom lembrar, é altamente indesejado.

No caso do Mundo, a queda da intensidade foi de -18,23%, com aumento nos outros dois indicadores, 14,98% nas emissões per capita e 57,94% nas emissões totais.

A Figura 7 então, apresenta o comportamento detalhado do perfil de emissões de CO₂ em relação aos países do BRICS e do Mundo ao longo do período entre 1990 e 2014. Note que a escala de cada um dos gráficos é ajustada para os valores próximos à trajetória descrita na Figura 6.

De forma detalhada, pode-se ver na Figura 7(a) que o perfil das emissões de CO₂ do Brasil apresenta uma trajetória de aumento de ambos indicadores, emissões per capita e emissões totais, como já identificado na Figura 6. De 1990 até 2001, o país apresentou acréscimo tanto nas emissões de CO₂ per capita quanto as emissões de CO₂ por bilhão de dólares do PIB. Após 2001 até 2008 o país passou a ter um comportamento melhor, mantendo as emissões

TABELA 2 – Intensidade de emissão de CO₂ para os BRICS e Mundo.

	Intensidade de Emissão de CO ₂ (CO ₂ /PIB) [mteco ₂ / \$]			Emissão per capita (CO ₂ /POP) [t ₁ CO ₂]			Emissão de CO ₂ [tco ₂]		
	1990	2014	Δ (%)	1990	2014	Δ (%)	1990	2014	Δ (%)
Brasil	0,155	0,197	27,10	1,225	2,301	87,84	184,25	476,02	58,35
Rússia	1,530	0,875	-42,81	14,588	10,204	-30,05	2163,23	1467,55	-32,16
Índia	1,102	0,920	-16,51	0,609	0,920	51,06	530,41	2019,67	280,78
China	2,519	1,104	-56,17	1,829	6,660	264,13	2075,9	9086,96	337,73
África do Sul	1,093	1,064	-2,65	6,927	8,100	16,93	243,82	437,37	79,38
Mundo	0,543	0,444	-18,23	3,885	4,467	14,98	20502,53	32381,04	57,94

FONTE: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessado em 12/02/2017.

de CO₂ per capita e diminuindo as emissões frente ao PIB. De 2009 em diante, este comportamento voltou a ser semelhante ao da década de 1990, com um crescimento das emissões de CO₂ per capita e um aumento do indicador de quantidade de CO₂ emitido para uma dada parcela do PIB, ambos voltando a patamares semelhantes aos de 2000. Neste período, as emissões de CO₂ saltaram de 184,25 Mton, no ano de 1990 para 476,02 Mton no ano de 2014, variando 58,35%. As emissões de CO₂ per capita foram de 1,22 tCO₂ para 2,30 tCO₂, enquanto a intensidade de emissão de CO₂ subiu de 0,15 MtCO₂/\$ para 0,19 MtCO₂/\$.

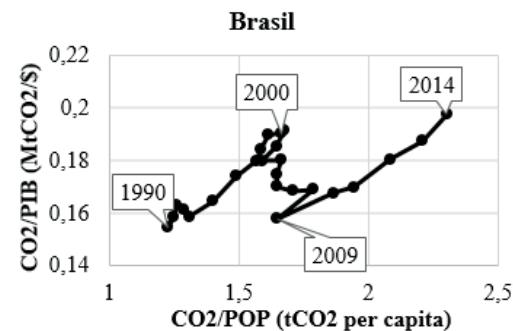
A Rússia, Figura 7(b), pós fim da URSS, entre os anos de 1990 até 1998, teve uma queda expressiva nas emissões per capita, devido, provavelmente, a problemas oriundos desta transição. Neste mesmo período ocorreu um aumento de cerca de 13% no indicador de emissões de CO₂ por PIB. De 1998 até 2008, esta tendência se inverteu, com o crescimento das emissões de CO₂ per capita em aproximadamente 14% e uma queda acentuada do indicador CO₂/PIB em cerca de -44%. De 2009 em diante, ambos os indicadores não possuíram uma tendência constante, ora aumentando, ora diminuindo. Neste espaço de tempo, as emissões de dióxido de carbono diminuíram de 2163,23 Mton no ano de 1990 para 1467,55 no ano de 2014.

O comportamento da curva da Índia e da China, Figura 7(c) e Figura 7(d) respectivamente, são semelhantes, embora com valores absolutos diferentes. Em ambos os casos a tendência geral é de forte aumento das emissões per capita, principalmente da China, e diminuição do indicador de intensidade de emissão de CO₂ (CO₂/PIB). A China, entre os anos de 1990 a 2014 foi um dos países de maior crescimento das emissões, partindo de

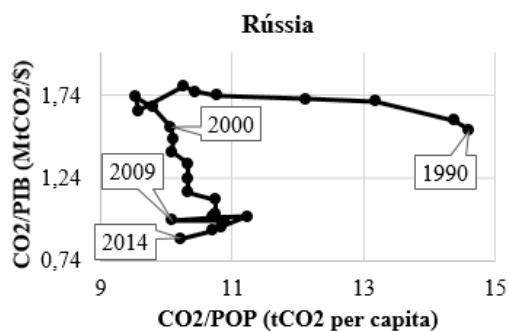
2075,90 Mton, chegando a 9087 Mton em 2014. A Índia, também teve um grande aumento, 530,41 Mton em 1990 para 2019,7 em 2014.

A Figura 7(e) mostra que a África do Sul sofreu significativas alterações da trajetória dos dados de ano para ano. Nos últimos três anos a tendência que pode ser sugerida é de aumento em ambos indicadores. As emissões para este país foram de 243,82 Mton para 437,37 Mton, 1990 e 2014 respectivamente.

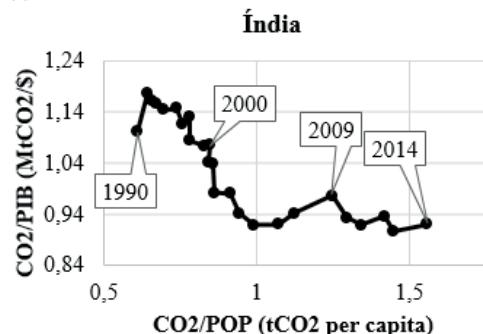
De modo geral, a Figura 7(f), revela que o comportamento do Mundo não é o ideal. Ocorreu um decréscimo na intensidade de emissão de CO₂, mas, ao contrário do desejado, houve um aumento das emissões per capita. O Mundo de 1990 até 1994 tinha o comportamento ideal, diminuindo as emissões de CO₂ por pessoa e diminuindo as emissões de CO₂ por bilhão de dólar do PIB. Em 1995 e 1996, apesar de manter a queda na relação CO₂/PIB as emissões per capita voltaram a subir. Já de 1997 até 1999 a queda de ambos voltou a se estabelecer. Este comportamento se altera em 2000, com as emissões de CO₂ per capita aumentando até o ano 2007, enquanto CO₂/PIB mantém-se praticamente constante. Em 2008 e 2009 nota-se novamente a queda das emissões de CO₂ per capita, mas, após isso, em 2010 e 2011 volta a subir. A partir disto, o que ocorre é novamente uma queda de ambos indicadores até 2014. As emissões de CO₂ por pessoa ficam aproximadamente constantes, enquanto há uma queda no indicador CO₂/PIB.



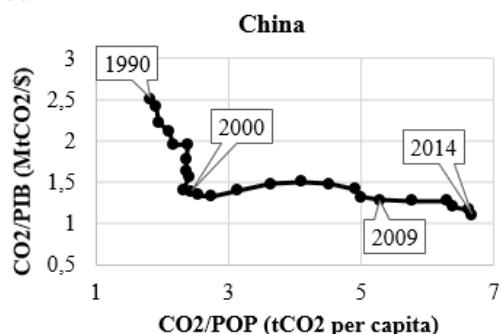
(a)



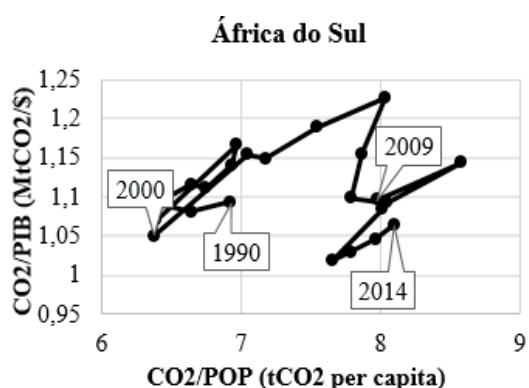
(b)



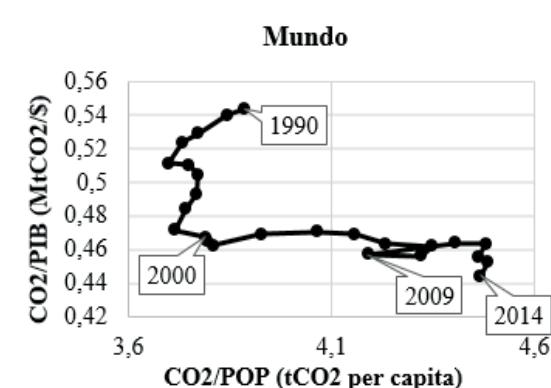
(c)



(d)



(e)



(f)

FIGURA 7 – Perfil de Emissões de CO₂ para os BRICS e Mundo. (a) Brasil, (b) Rússia, (c) Índia, (d) China, (e) África do Sul e (f) Mundo. FONTE: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessado em 12/02/2017.

6.2. 5 Mais emissores de CO_2

A Figura 8 apresenta o comportamento do perfil detalhado das emissões de CO_2 em relação aos 5 países maiores emissores de CO_2 ao longo do período entre 1990 e 2014. A Tabela 3 apresenta os dados para EUA e Japão do que foi mostrado na Figura 8, demonstrando a variação percentual entre o ano inicial (1990) e final (2014) e o valor das emissões totais de CO_2 .

Nota-se nesta Figura a direção dos EUA em relação ao vértice (0,0), demonstrando que apesar de ainda alto, a emissão per capita vem diminuindo, assim como a intensidade de emissão de CO_2 . No entanto, em termos absolutos as emissões de CO_2 apresentaram um aumento de 7,68%. O Japão, por sua vez, demonstra uma pequena melhora no indicador CO_2/PIB (-7,83%), porém um aumento na emissão de CO_2 per capita (11,07%) e 14,22% de aumento das emissões de CO_2 .

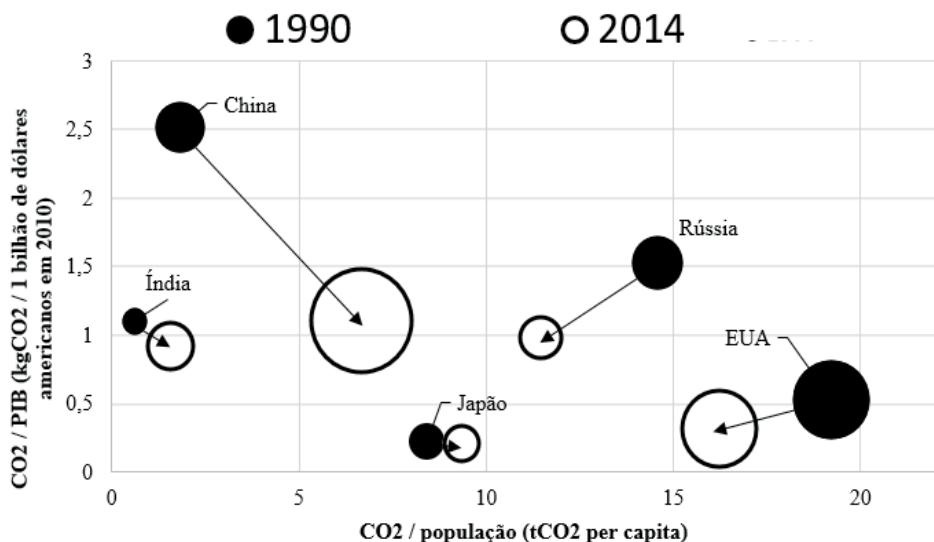


FIGURA 8 – Intensidade de emissão de CO_2 para os 5 países maiores emissores de CO_2 .

FONTE: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessado em 12/02/2017.

TABELA 3 – Intensidade de emissão de CO_2 para os 5 países mais emissores de CO_2 .

	Intensidade de Emissão de CO_2 (CO_2/PIB) [mt CO_2 / \$]			Emissão per capita (CO_2/POP) [t CO_2]			Emissão de CO_2 [t CO_2]		
	1990	2014	Δ (%)	1990	2014	Δ (%)	1990	2014	Δ (%)
EUA	0,53	0,32	-39,58	19,213	16,221	-15,57	4806,776	5176,21	7,68
JAPÃO	0,228	0,210	-7,83	8,418	9,35	11,07	2163,23	1467,55	14,22

FONTE: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessado em 12/02/2017.

A Figura 9 mostra de forma mais detalhada o comportamento do perfil das emissões de CO₂.

Para os EUA, Figura 9(a), uma tendência de crescimento das emissões de CO₂ per capita até meados da década de 2000, enquanto o PIB cresce mais que as emissões de CO₂, o que acarreta na queda do índice CO₂/PIB durante todo o período. A partir da outra metade da década de 2000 o país começa a ter uma melhora ainda maior, diminuindo consistentemente o seu índice de CO₂ per capita.

Já a Figura 9(b) apresentou, no caso do Japão, uma tendência de aumento das emissões CO₂ per capita até o ano de 2003, enquanto as emissões de CO₂ em relação ao PIB mantiveram-se basicamente constantes. A partir desse ano até 2009 percebe-se uma queda de ambos indicadores, mostrando uma evolução do país tomando uma trajetória mais sustentável, não só emitindo menos CO₂ por pessoa, mas aumentando o PIB mais do que as emissões de CO₂. Após 2009, provavelmente devido à crise

mundial deste ano, o indicador de CO₂ per capita voltou a aumentar, como visto em 2010. No ano seguinte nota-se não só um incremento no indicador de emissão per capita, mas o aumento na relação CO₂/PIB e isto pode ser explicado devido a substituição da matriz de energia nuclear por outras alternativas após o desastre de Fukushima. Essa tendência se manteve até 2013 e apenas em 2014 é que ambos indicadores voltaram a cair.

7. Conclusão

O presente trabalho apresentou uma análise do comportamento quanto aos indicadores de emissão de CO₂, PIB, consumo energético e outros derivados destes para dois grupos de países, um chamado de BRICS e outro composto pelos 5 maiores emissores de CO₂. Algumas correlações puderam ser vistas, como a interdependência da energia primária, crescimento econômico e emissões de CO₂, no período

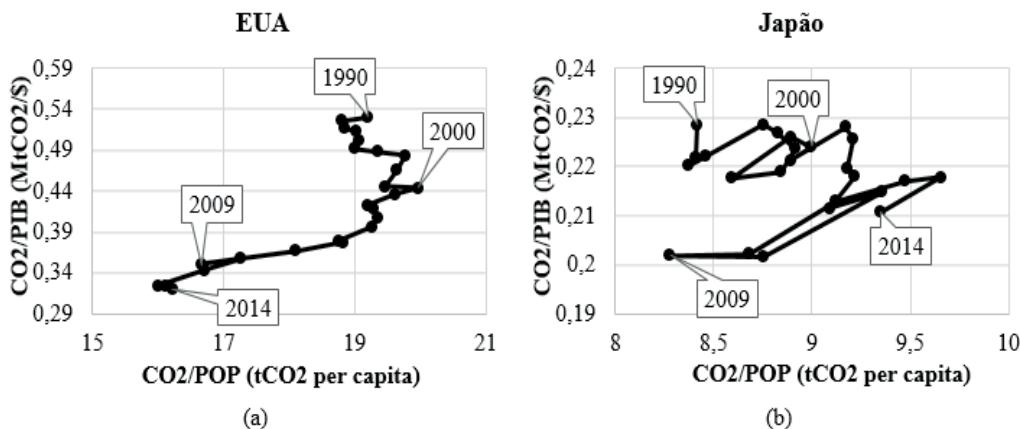


FIGURA 9 – Histórico da Intensidade de emissão de CO₂ para os (a) EUA e (b) Japão.

FONTE: Elaborado pelos autores com dados da IEA, acessado em 12/02/2017.

entre 1990 e 2014 (últimos dados disponíveis na ocasião deste estudo).

Os resultados obtidos neste trabalho identificaram uma trajetória não desejada para o Brasil no período avaliado. Isto pôde ser verificado uma vez que as emissões de CO₂ aumentaram mais do que o consumo de energia, levando, com isso, a um aumento da intensidade de dióxido de carbono. Isto está ocorrendo apesar de o país fazer parte de tratados internacionais em favor da queda das emissões de CO₂.

Por outro lado, os resultados para os EUA mostraram que estão seguindo um caminho mais sustentável, com uma queda de cerca de 35% da intensidade energética e uma diminuição de 40% na intensidade de CO₂, do ano de 1990 até 2014, apesar de continuarem entre os maiores emissores de CO₂.

A China, por sua vez, também apresenta uma queda de 57% da intensidade de emissão CO₂. Isso demonstra que o país está emitindo menos CO₂ para uma dada quantidade de energia. Além disso, o país apresenta um aumento de mais de 300% das emissões de CO₂, isto, logicamente, influenciado pelo seu forte crescimento econômico registrado nas últimas décadas.

Outros resultados relevantes puderam ser percebidos em relação aos demais países avaliados e foram apresentados no texto deste artigo. No entanto, apesar das descobertas obtidas com os resultados deste estudo, percebe-se também que o método da Identidade de Kaya utilizado possui algumas limitações, como o fato de não distinguir as emissões oriundas de combustíveis fósseis daquelas vindas de fontes renováveis. Além disso, não inclui fontes como a energia nuclear. Assim, como sugestão para um trabalho futuro, poderia ser utilizado Método de Kaya estendido na tentativa de englobar outras

fontes de energia e separar as diversas origens do dióxido de carbono.

Os resultados parecem indicar que os países avaliados estão convergindo para um valor comum ao redor de um ponto médio, no que diz respeito à intensidade de emissão de CO₂. Neste contexto, o Brasil está indo em direção a uma posição relativamente pior quando se avalia a quantidade de gases lançados na atmosfera e o crescimento populacional e econômico. Este pode ser um bom indicativo para se ampliar esta investigação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo apoio financeiro para esta pesquisa.

Referências

Abramovay, R. Inovações para que se democratize o acesso à energia, sem ampliar as emissões. *Ambiente & Sociedade*, 17(3), 1-18, 2014. doi: 10.1590/S1414-753X2014000300002

Alvim, A. M.; Santin, M. F. C. de L. Os Impactos da Demanda por Crédito de Carbono sobre o Mercado de Certificações de Reduções de Emissões no Brasil. In: *XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*. Rio Branco/AC, 2008a. Disponível em: <https://revistas.fee.tche.br/index.php/ensaios/article/view/2187>. Acesso em: Maio 2018

Alvim, A. M.; Santin, M. F. C. de L. Os impactos do crescimento econômico sobre o aquecimento terrestre: A contribuição dos países em desenvolvimento. *Estudos do*

- CEPE, 26, 05-29, 2008b. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/cepe/article/download/406/235>
- Bozoklu, S.; Yilanci, V. Energy consumption and economic growth for selected OECD countries: Further evidence from the Granger causality test in the frequency domain. *Energy Policy*, 63, 877-881, 2013. doi: 10.1016/j.enpol.2013.09.037
- Brasil, 2017. *Sistema de Registro Nacional de Emissões - SIRENE*. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/publicacoes>>. Acesso em: Maio 2018.
- Budzianowski, W. M. Modelling of CO₂ content in the atmosphere until 2300: influence of energy intensity of gross domestic product and carbon intensity of energy. *International Journal of Global Warming*, 5(1), 1-17, 2013. doi: 10.1504/IJGW.2013.051468
- Conte Grand, M. Carbon emission targets and decoupling indicators. *Ecological Indicators*, 67, 649–656, 2016. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.03.042
- Dai, S.; Zhang, M.; Huang, W. Decomposing the decoupling of CO₂ emission from economic growth in BRICS countries. *Natural Hazards*, 84(2), 1055-1073, 2016. doi: 10.1007/s11069-016-2472-0
- Didoné, E. L.; Wagner, A.; Pereira, F. O. R. Strategies towards Net Zero Energy Office Buildings in Brazil with emphasis on BIPV. *Ambiente Construído*, 14(3), 27-42, 2014. doi: 10.1590/S1678-86212014000300003
- Ehrlich, P. R. et al. Impact of Population Growth. *Science*, 171(3977), 1212-1217, 1971.
- Fiorito, G. Can we use the energy intensity indicator to study “decoupling” in modern economies? *Journal of Cleaner Production*, 47, 465-473, 2013. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.12.031
- de Freitas, L. C.; Kaneko, S. Decomposing the decoupling of CO₂ emissions and economic growth in Brazil. *Ecological Economics*, 70(8), 1459-1469, 2011. doi: 10.1016/j.ecolecon.2011.02.011
- Henriques, S. T.; Borowiecki, K. J. *The drivers of long-run CO₂ emissions: A global perspective since 1800*, 2014. Disponível em: https://www.sdu.dk/-/media/files/om_sdu/institutter/ivoe/disc_papers/disc_2014/dpbe13_2014.pdf. Acesso em: Jan. 2018.
- IEA - International Energy Agency. *CO₂ emissions from fuel combustion highlights*, 2016a. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustionHighlights2016.pdf>>. Acesso em: Abr. 2018.
- IEA - International Energy Agency. *Decoupling of global emissions and economic growth confirmed*, 2016b. Disponível em: <<https://www.iea.org/newsroomandevents/press-releases/2016/march/decoupling-of-global-emissions-and-economic-growth-confirmed.html>>. Acesso em: Mar. 2017
- IEA - International Energy Agency. *Statistics*, 2017a. Disponível em: <<http://www.iea.org/statistics/>>. Acesso em: Maio 2017.
- IEA - International Energy Agency. *World Energy Outlook 2017*, 2017b. Disponível em: <<https://www.iea.org/weo2017/>>. Acesso em: Abr. 2018.
- Índia. *Ministry of New and Renewable Energy*, 2017. Disponível em: <<https://mnre.gov.in/>>. Acesso em: Maio 2018.
- Kais, S.; Sami, H. An econometric study of the impact of economic growth and energy use on carbon emissions: Panel data evidence from fifty eight countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1101-1110, 2016. doi: 10.1016/j.rser.2016.01.054
- Kaya, Y. Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: interpretation of proposed scenarios. In: *Intergovernmental Panel on Climate Change/Response Strategies Working Group*, 1989.
- Lebling, K.; Ge, M.; Friedrich, J. *5 Charts Show How Global Emissions Have Changed Since 1850*, 2018. Disponível em: <<http://www.wri.org/blog/2018/04/5-charts-show-how-global-emissions-have-changed-1850>>. Acesso em Maio 2018.
- Lenox, C. S.; Loughlin, D. H. Effects of recent energy system changes on CO₂ projections for the United States. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(9), 2277-2290, 2017. doi: 10.1007/s10098-017-1417-y
- Lima, F.; Nunes, M. L.; Cunha, J.; Lucena, A. F. P. A cross-country assessment of energy-related CO₂ emissions: An extended Kaya Index Decomposition Approach. *Energy*, 115, 1361-1374, 2016. doi: 10.1016/j.energy.2016.05.037
- Lucon, O.; Goldemberg, J. Crise financeira, energia e sus-

-
- tentabilidade no Brasil. *Estudos Avançados*, 23(65), 121-130, 2009. Disponível em: www.scielo.br/pdf/ea/v23n65/a09v2365.pdf
- Niu, S.; Ding, Y.; Niu, Y.; Li, Y.; Luo, G. Economic growth, energy conservation and emissions reduction: A comparative analysis based on panel data for 8 Asian-Pacific countries. *Energy Policy*, 39(4), 2121-2131, 2011. doi: 10.1016/j.enpol.2011.02.003
- O' Mahony, T.; Dufour, J. Tracking development paths: Monitoring driving forces and the impact of carbon-free energy sources in Spain. *Environmental Science and Policy*, 50(2007), 62-73, 2015. doi: 10.1016/j.envsci.2015.02.005
- O'Neill, J. *Building better global economic BRICs*, 2001. Disponível em:< <https://www.goldmansachs.com/our-thinking/archive/pdfs/build-better-brics.pdf>>. Acesso em: Maio 2018.
- Puliafito, S. E.; Puliafito, J. L.; Grand, M. C. Modeling population dynamics and economic growth as competing species: An application to CO₂ global emissions. *Eco-logical Economics*, 65(3), 602-615, 2008. doi: 10.1016/j.ecolecon.2007.08.010
- Rustemoglu, H.; Andrés, A. R. Determinants of CO₂ emissions in Brazil and Russia between 1992 and 2011: A decomposition analysis. *Environmental Science and Policy*, 58, 95-106, 2016. doi: 10.1016/j.envsci.2016.01.012
- Saidi, K.; Hammami, S. The impact of CO₂ emissions and economic growth on energy consumption in 58 countries. *Energy Reports*, 1, 62-70, 2015. doi: 10.1016/j.egyr.2015.01.003
- Souza, A. M.; Zapparoli, I. D.; Sesso Filho, U. A.; Brene, P. R. A. Estrutura produtiva do Brasil, Rússia, Índia e China (BRIC) e seus impactos nas emissões de dióxido de carbono (CO₂). *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 34, 25-48, 2015. doi: 10.5380/dma.v34i0.37800
- Taghizadeh-Hesary, F.; Yoshino, N.; Rasoulinezhad, E. Impact of the Fukushima nuclear disaster on the oil-consuming sectors of Japan. *Journal of Comparative Asian Development*, 16(2), 113-134, 2017. doi: 10.1080/15339114.2017.1298457
- Tapió, P. Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport Policy*, 12(2), 137-151, 2005. doi: 10.1016/j.tranpol.2005.01.001
- Wang, Q.; Li, R.; Liao, H. Toward Decoupling: Growing GDP without Growing Carbon Emissions. *Environmental Science and Technology*, 50(21), 11435-11436, 2016. doi: 10.1021/acs.est.6b05150
- Wang, W.; Kuang, Y.; Huang, N.; Zhao, D. Empirical research on decoupling relationship between energy-related carbon emission and economic growth in guangdong province based on extended kaya identity. *The Scientific World Journal*, 2014. doi: 10.1155/2014/782750
- WRI - World Resources Institute. *Climate Data Explorer*, 2015. Disponível em: <<http://datasets.wri.org/dataset/cait-country>>. Acesso em: Maio 2018
- Zhang, Y. J.; Da, Y. Bin. The decomposition of energy-related carbon emission and its decoupling with economic growth in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1255-1266, 2015. doi: 10.1016/j.rser.2014.09.021