

GRUPO DOS 7 (G-7) E BRIC: EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR MODIFICAÇÕES TECNOLÓGICAS E DEMANDA FINAL

Almir Bruno Jacinto Tavares¹
Irene Domenes Zapparoli²
Umberto Antonio Sesso Filho³
Patrícia Pompermayer Sesso⁴

Resumo: O objetivo foi mensurar a decomposição estrutural das variações das emissões atmosféricas (oito gases) do Grupo dos Sete (G-7), BRIC e restante do mundo no período de 2000- 2009. O primeiro grupo é composto por Estados Unidos, Alemanha, Canadá, França, Itália Japão e Reino Unido e o segundo formado por Brasil, Rússia, Índia e China. A metodologia utilizou a base de dados do *World Input-Output Database* (WIOD) e permitiu decompor as variações de emissões em quatro efeitos: intensidade, tecnologia, estrutura e volume da demanda final. Os resultados mostraram que os quatro efeitos foram positivos para os países do BRIC promovendo o aumento de suas emissões e para os países do G-7 os efeitos intensidade, tecnologia e estrutura da demanda final foram negativos com diminuição de emissões totais. Portanto, o G-7 apresentou modificações em sua estrutura produtiva para mitigar emissões atmosféricas enquanto o BRIC caminhou no sentido oposto. Além disso, variações da demanda final influenciaram positivamente o aumento da poluição no BRIC. O estudo avança em relação ao tema com resultados para oito gases e comparando dois grupos de países principais responsáveis por emissões atmosféricas.

Palavras-chave: Poluentes atmosféricos. Decomposição estrutural. G-7. BRIC. Resto do Mundo.

Abstract: The aim was to measure the structural decomposition of atmospheric emissions (eight gases) of the Group of Seven (G-7), BRIC and the rest of the world in the period 2000-2009. The first group consists of United States, Germany, Canada, France, Italy Japan and the United Kingdom and the second formed by Brazil, Russia, India and China. The methodology used the World Input-Output Database (WIOD) database and allowed the decomposition of emission variations into four effects: intensity, technology, structure and volume of final demand. The results showed that the four effects were positive for the BRIC countries by increasing their emissions and for the G7 countries the effects intensity, technology and structure of the final demand were negative with a decrease in total emissions. Therefore, the G-7 presented changes in its productive structure to mitigate atmospheric emissions while the BRIC moved in the opposite direction. In addition, variations in final demand positively influenced the increase in pollution in the BRIC. The study advances the subject with results for eight gases and comparing two groups of major countries responsible for atmospheric emissions.

Key-words: Atmospheric pollution. Structural decomposition. G-7. BRIC. Rest of the World

JEL Classification: Q42; Q53; R11

Área 4: Economia Agrária e Ambiental

¹Economista, Contador, Bacharel em Direito, Mestre em Economia Regional, Universidade Estadual de Londrina, brunotavaresconsultoria@gmail.com

² Professora Associada do Departamento de Economia da Universidade Estadual de Londrina, zapparoli@uel.br

³ Professor Associado do Departamento de Economia da Universidade Estadual de Londrina, umasesso@uel.br

⁴ Agrônoma, Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas (ESALQ/USP), estágio pós-doutoral, em Economia na Universidade Estadual de Londrina, papomper2004@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

A busca por processos produtivos menos poluentes tornou-se imprescindível, no entanto complexa, pois os países industrializados precisam encontrar formas de mitigar os impactos ao meio ambiente sem afetar o aumento da produção. Para as economias em desenvolvimento é necessário acelerar o crescimento para atingir melhores indicadores econômicos, no entanto, existe uma relação de escolha entre os níveis de poluição e o fomento das atividades econômicas. Os custos são altos para obter tecnologias menos agressivas ao meio ambiente e para modificar a estrutura produtiva em busca da mitigação da poluição.

A poluição atmosférica é composta por excedentes de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), monóxido de carbono (CO), outros compostos orgânicos voláteis não metanos (NMVOC) e amônia (NH₃), totalizando oito (8) gases. O objetivo do estudo consiste em mensurar a decomposição estrutural das variações das emissões de poluentes atmosféricos no Grupo dos Sete (G-7) composto por: Estados Unidos, Alemanha, Canadá, França, Itália, Japão e Reino Unido; e nos países signatários do BRIC: Brasil, Rússia, Índia e China, e Resto do Mundo, no período 2000-2009.

Os procedimentos metodológicos da pesquisa são o uso da ferramenta insumo-produto para decompor as variações das emissões atmosféricas em quatro efeitos: intensidade das emissões, tecnologia, proporção da demanda final e crescimento da demanda. A base de dados utilizada foi o *World Input Output Database* (WIOD). Não existem dados disponíveis no WIOD acerca da África do Sul, portanto, a abordagem do estudo abrange os países do BRIC.

As modificações da tecnologia resultam em efeitos da intensidade de emissões e variações da composição de custos dos setores, os quais refletem transformações da estrutura produtiva como uso de insumos, matriz energética e implementação de novas tecnologias de produção. Os impactos das modificações da demanda final surgem como variações das emissões causadas pela diferente estrutura e volume do consumo de produtos finais das famílias, governo, exportações e investimento; tais efeitos da demanda final independem da tecnologia e estão relacionados a mudanças de hábitos de consumo, migração da população da área rural para as cidades e variações da renda per capita e preços relativos.

Este artigo está dividido em cinco seções contando com esta introdução. Na segunda seção, os conceitos e a problematização sobre economia e o meio ambiente são apresentados dentro do tema emissões atmosféricas e efeito estufa. A seção três se refere aos aspectos metodológicos da matriz insumo-produto e fonte dos dados. Já na seção quatro, os resultados e discussão contemplam os valores obtidos da decomposição estrutural das emissões e análise da estrutura produtiva dos países. As considerações finais resumem as principais conclusões, avanços no tema e possibilidades de estudos futuros.

2 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS: G-7, BRIC E RESTO DO MUNDO

As questões social, econômica e ambiental relacionadas as emissões de gases poluentes é um desafio a sustentabilidade, pois os países industrializados conseguiram o crescimento econômico ao desvincular cada vez mais a humanidade da relação com a natureza mediante as explorações de recursos naturais não renováveis como petróleo, gás natural, carvão mineral e urânio. Este processo de industrialização vem passando por uma reavaliação no meio científico e político, especialmente quanto a preocupação mundial com meio ambiente.

O conceito de desenvolvimento sustentável foi sintetizado no Relatório *Our Common Future* (1987), reafirmados pela *World Commission on Environment and Development – Brundtland* (1987). Não obstante, outras contribuições importantes que antecederam a conceituação do desenvolvimento sustentável são a Conferência de Estocolmo sobre o Meio Ambiente (1972), o Clube de Roma (1972) a Conferência da União Internacional para a Conservação da Natureza (1982) (CALLAN; THOMAS, 2016; IPCC; 2013; PANAYOTOU, 2013; UNFCCC, 1998).

O aumento da concentração dos GEE na atmosfera é devido principalmente a utilização

demasiada dos recursos naturais não renováveis nas atividades econômicas, que têm interferido no clima do planeta. Os relatórios do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2013) são a principal referência científica para os estudos sobre mudança do clima desde a década de 1990. Portanto o IPCC relaciona o Global Warming Potencial (GWP) tomando por base o dióxido de carbono (CO₂), um dos principais causadores do aquecimento global. Para efeito de comparação, os GEE são indexados de acordo GWP que mede a capacidade de um gás de efeito estufa (GEE) de capturar calor na atmosfera em relação a quantidade igual de dióxido de carbono (CO₂), Tabela 1.

Tabela 1 - *Global Warming Potencial (GWP) United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*

Item	Denominação Comum	Fórmula Química	Meia vida (anos)	Eficiência Radiativa (W m ⁻² ppb ⁻¹)	PAG 100 anos	20 anos	100 anos	500 anos
1 Principais Gases do Efeito Estufa								
	Dióxido de Carbono	CO ₂	-	1.4x10 ⁻⁵	1	1	1	1
	Metano	CH ₄	12	3.7x10 ⁻⁴	21	72	25	7.6
	Óxido Nitroso	N ₂ O	114	3.03x10 ⁻³	310	289	298	153
2 Algumas substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal								
	CFC-11	CCl ₃ F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
	CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
3 Hidrofluorcarboneto								
	HFC-23	CHF ₃	270	0.19	11,700	12,000	14,800	12,2
4 Compostos Perfluorcarbonos								
	Hexafluoreto de carbono	SF ₆	3.200	0.52	23,900	16,300	22,800	32,6

Fonte: elaborado a partir do IPCC (2013)

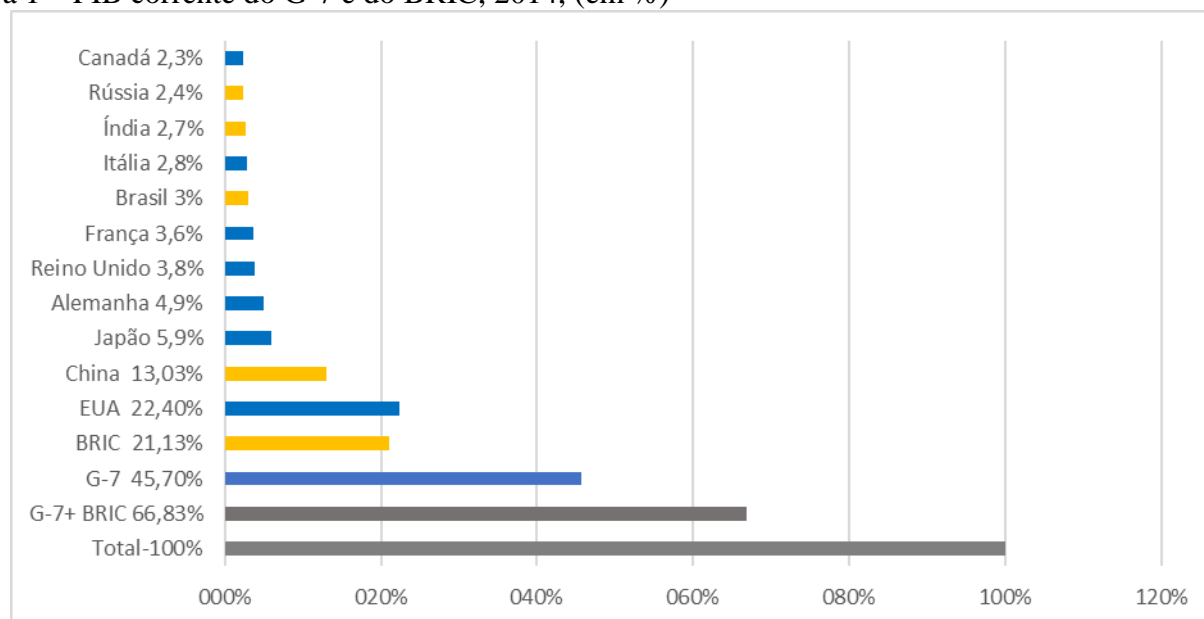
O processo de aquecimento global traz inúmeras consequências, pois o aumento da temperatura média do planeta implicará em efeitos diversos na produtividade dos ecossistemas. Os impactos modificam diretamente os ecossistemas aquáticos e terrestres (ARROW, 2009; GEORGESCU-ROEGEN, 1986; COSTANZA *et al.*, 2000; IPCC, 2013). As dificuldades com o aumento populacional de alguns países, a população humana cresce a uma taxa de quase 2% ao ano, portanto, consumindo mais recursos naturais (RICKLEFS, 2012). A revolução energética do século XXI já apresenta diversas complicações, pois ressalta-se a necessidade da transição da era do petróleo ao pós-petróleo (SACHS, 2007; HINRICHS, KLEINBACH E REIS, 2014).

Os países desenvolvidos representados pelo G-7 apresentam elevado grau de industrialização e tecnologia são elencados como grandes poluidores por se destacarem na produção de bens e serviços. Já os países do BRIC representam as economias em desenvolvimento e estão aumentando a participação no comércio internacional. Estes dois blocos constituem um ponto chave para compreender o efeito do crescimento das emissões de GEE e do aquecimento global.

O IPCC, em 2013, divulgou relatório afirmando que a temperatura média do planeta subiu 0,85°C de 1880-2012 sendo a causa principal a emissão de GEE ocasionado pela antropogenia. A preferência dos EUA parece ser em direção ao acordo multilateral fora do âmbito da UNFCCC. Nesse sentido, a posição foi divergente e influenciou China e Rússia a adotarem a mesma postura (AÍMOLA, 2008; IPCC, 2013; UNFCCC; 2015). O baixo custo do uso do carvão para geração de energia desestimula a China, Rússia e Índia sua substituição e alegam que os EUA geram grandes quantidades de CO₂, esses países possuem grandes reservas de carvão (ZHANG, HEWINGS, 2014; WORLD BANK, 2015; SOUZA *et al.*, 2015; PEDROSO *et al.*, 2016).

O G-7 foi responsável por 45,70% do PIB mundial, em 2014, e o BRIC por 21,13%, porém, as desigualdades sociais entre os dois grupos funcionam como argumento por parte dos países do BRIC para ter cautela nas metas de reduções. Nas últimas décadas a Índia e China vem ganhando espaço como economias em crescimento que justificam o aumento das emissões. Em 2009, o comportamento mudou com o anúncio que a Índia reduziria a emissão de GEE de 25% a 30% a partir dos níveis de 2005 e a China 40%, Figura 1 (POWELL, 2012).

Figura 1 – PIB corrente do G-7 e do BRIC, 2014, (em %)



Fonte: Brasil. MMA (2015) e World Bank (2015).

O Acordo de Paris reforça a capacidade dos países para lidar com os impactos das mudanças climáticas (UNFCCC, 2015), pois a atual conjuntura levará a um aumento da temperatura média do planeta em 3°C, este acordo propõe limitar preferencialmente de 1,5°C ou no máximo 2°C até o final do século, metas pós 2020. Em, em 2017, foi acordada reduções das emissões até 2020 (UNFCCC, 2015). Na tabela 2 verifica-se que o PIB per capita da Índia é de 1.614 dólares abaixo das demais nações desenvolvidas do G-7. O mesmo acontece com o Índice de Desenvolvimento humano (IDH) de 0,609 que fica muito aquém das nações do G-7 (Tabela 2).

Tabela 2 - Indicadores IDH e PIB *per capita* do G-7 e do BRIC, 2015.

Países	IDH- 2015	PIB <i>per capita</i> -2015 (em US\$)
Grupos dos Sete (G-7)		
Alemanha	0,916	41.686
EUA	0,915	56.054
Reino Unido	0,907	44.162
Canadá	0,913	43.206
Japão	0,891	34.629
França	0,888	36.304
Itália	0,873	30.462
BRIC		
Rússia	0,798	9.243
Brasil	0,755	8.528
China	0,727	8.109
Índia	0,609	1.614

Fonte: elaborado a partir de dados do IBGE (2016).

Os países do G-7 buscam alternativas ao uso dos recursos naturais está sendo postergada especialmente por dependência do uso do gás natural comprado da Rússia. Os países da União Europeia, especialmente Alemanha, França e Itália, ocupam papel de liderança com um conjunto de tecnologias de ponta relacionadas à transição para uma economia de baixo carbono (SCHETTE, 2014).

Países como a China, EUA e Índia utilizam carvão mineral porque fornece energia útil a um custo bastante baixo, entre US\$ 1,00 e US\$ 2,00 por um milhão de unidade térmica britânica/hora (MMBtu) se comparado com o petróleo e gás natural entre US\$ 6,00 e US\$ 12,00 por MMBtu. Além disso, não dependem de conflitos como os dos preços do petróleo no Oriente Médio (STIGLITZ, 1974; ARROW, 1995; AÍMOLA, 2008; HINRICHS, KLEINBACH E REIS, 2014; ZAPPAROLI, 2018).

A atividade de transportes é relevante na redução de GEE nas maiores economias como EUA e

China. Países como Índia, Brasil e Rússia precisam estudar redes de transportes sustentáveis. Nesse sentido, o Japão vem promovendo o funcionamento de usinas de carvão conduzem ao aumento da poluição atmosférica. Por outro lado, o Canadá adotou novas políticas ambientais introduzindo tecnologias de energia renováveis. O Brasil se destaca na utilização de energia renovável e de baixa emissão como o etanol combustível (ZAPPAROLI *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2015; SOLOW, 1986).

No ano de 2015, o Índice de Desempenho de Mudança Climática (IDMC), faz avaliações em indicadores com objetivos de representar a política climática internacional. Assim, 80% da avaliação baseia-se em indicadores das emissões, uso de energia renovável e eficiência energética e 20% do restante da avaliação são da política climática nacionais e global, Tabela 3. A China e a Índia provavelmente continuarão a usar o carvão, em grande parte porque é barato, na França 76% da energia é nuclear e na Alemanha parte é eólica (MERCADOS ENERGÉTICOS, 2008; BURCK, MARTEN, BALS, 2015).

Tabela 3 - Índice de Desempenho nas Alterações Climáticas nos países do G-7 e BRIC, 2015-2016

Desempenho	Classificação	País	Pontuação-IDMC
Grupos dos Sete (G-7)			
Boa	5°	Reino Unido	70,13
	8°	França	65,97
	11°	Itália	62,98
Moderada	22°	Alemanha	58,39
Ruim	34°	EUA	54,91
Muito ruim	56°	Canadá	38,74
	58°	Japão	37,23
BRIC			
Moderada	25°	Índia	58,19
Ruim	43°	Brasil	51,90
	47°	China	48,60
Muito Ruim	53°	Rússia	44,34

Fonte: Elaborado a partir de BURCK, MARTEN, BALS (2015)

O baixo crescimento de algumas economias como Rússia e Brasil não foi acompanhado por grandes reduções de emissões, porque a desigualdade social e condições de pobreza forçam as comunidades a reproduzir padrões produtivos insustentáveis em busca da sobrevivência. Corroborar-se com este cenário a falta investimentos em eficiência energética no Brasil ocasionado um resultado ruim no *ranking* da tabela 3 (ABESCO, 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A seção apresenta o cálculo da decomposição estrutural da variação das emissões de dióxido de carbono. A base de dados foi a World Input Output Database que disponibiliza a matriz mundial com quarenta países e restante do mundo com 35 setores econômicos e dados de emissões atmosféricas.

3.1 O Sistema Inter-Regional de Insumo Produto

O modelo inter-regional de insumo-produto denominado “modelo Isard” devido à aplicação de Isard (1951) possui muitos dados sobre fluxos intersetoriais e inter-regionais. O Quadro 1 apresenta um sistema de insumo-produto inter-regional com duas regiões. O sistema inter-regional mostra as relações entre as regiões, exportações e importações, que são expressas por meio do fluxo de bens que se destinam tanto ao consumo intermediário como à demanda final. Para o presente estudo, temos quarenta e uma regiões (quarenta países e restante do mundo).

	Setores - Região L	Setores - Região M	L	M	
Setores Região L	Insumos Intermediários LL	Insumos Intermediários LM	DF LL	DF LM	Produção Total L
Setores Região M	Insumos Intermediários ML	Insumos Intermediários MM	DF ML	DF MM	Produção Total M
	Importação do Restante do Mundo (M)	Importação do Restante do Mundo (M)	M	M	M
	Impostos Indiretos Líquidos (IIL)	Impostos Indiretos Líquidos (IIL)	IIL	IIL	IIL
	Valor Adicionado	Valor Adicionado			
	Produção Total Região L	Produção Total Região M			

Quadro 1. Relações de Insumo-Produto num sistema inter-regional com duas regiões
Fonte: Adaptado de Moretto (2000)

A partir dos fluxos intersetoriais e inter-regionais de bens para as regiões L e M, com 2 setores, como se segue:

Z_{ij}^{LL} - fluxo monetário do setor i para o setor j da região L,

Z_{ij}^{ML} - fluxo monetário do setor i da região M, para o setor j da região L.

Na forma de matriz, esses fluxos seriam representados por:

$$Z = \begin{bmatrix} Z^{LL} & Z^{LM} \\ Z^{ML} & Z^{MM} \end{bmatrix} \quad (1)$$

em que

Z^{LL} e Z^{MM} , representam matrizes dos fluxos monetários intra-regionais, e

Z^{LM} e Z^{ML} , representam matrizes dos fluxos monetários inter-regionais.

Considerando a equação de Leontief (1951 e 1986)

$$X_i = z_{i1} + z_{i2} + \dots + z_{in} + Y_i \quad (2)$$

Onde temos X_i indicando o total da produção do setor i , z_{in} o fluxo monetário do setor i para o setor n e Y_i a demanda final por produtos do setor i , é possível aplicá-la conforme,

$$X_1^L = z_{11}^{LL} + z_{12}^{LL} + \dots + z_{11}^{LM} + z_{12}^{LM} + \dots + Y_1^L \quad (3)$$

Onde X_1^L é o total do bem 1 produzido na região L .

Considerando os coeficientes de insumo regional para L e M, obtêm-se os coeficientes intra-regionais:

$$a_{ij}^{LL} = \frac{z_{ij}^{LL}}{X_j^L} \Rightarrow z_{ij}^{LL} = a_{ij}^{LL} \cdot X_j^L \quad (4)$$

Onde pode-se definir os a_{ij}^{LL} como coeficientes técnicos de produção que representam quanto o setor j da região L compra do setor i da região L e

$$a_{ij}^{MM} = \frac{z_{ij}^{MM}}{X_j^M} \Rightarrow z_{ij}^{MM} = a_{ij}^{MM} \cdot X_j^M \quad (5)$$

Onde pode-se definir os a_{ij}^{MM} como coeficientes técnicos de produção, que representam a quantidade que o setor j da região M compra do setor i da região M.

E, por último, os coeficientes inter-regionais:

$$a_{ij}^{ML} = \frac{z_{ij}^{ML}}{X_j^L} \Rightarrow z_{ij}^{ML} = a_{ij}^{ML} \cdot X_j^L \quad (6)$$

Pode-se definir a_{ij}^{ML} como coeficientes técnicos de produção que representam quanto o setor j da região L compra do setor i da região M e

$$a_{ij}^{LM} = \frac{z_{ij}^{LM}}{X_j^M} \Rightarrow z_{ij}^{LM} = a_{ij}^{LM} \cdot X_j^M \quad (7)$$

Onde temos os a_{ij}^{LM} correspondem aos coeficientes técnicos de produção que representam a quantidade que o setor j da região M compra do setor i da região L.

Estes coeficientes podem ser substituídos em (3), obtendo:

$$X_1^L = a_{11}^{LL} X_1^L + a_{12}^{LL} X_2^L + a_{11}^{LM} X_1^M + a_{12}^{LM} X_2^M + Y_1^L \quad (8)$$

As produções para os demais setores são obtidas de forma similar.

Isolando, Y_1^L e colocando em evidência X_1^L , tem-se:

$$(1 - a_{11}^{LL}) X_1^L - a_{12}^{LL} X_2^L - a_{11}^{LM} X_1^M - a_{12}^{LM} X_2^M = Y_1^L \quad (9)$$

As demais demandas finais podem ser obtidas de forma análoga. Portanto, de acordo com $A^{LL} = Z^{LL} (\hat{X}^L)^{-1}$, obtém-se a matriz A^{LL} , para os 2 setores, em que A^{LL} representa a matriz de coeficientes técnicos intra-regionais de produção. Saliente-se que esta mesma formulação valeria para A^{LM} , A^{MM} , A^{ML} .

Definem-se agora as seguintes matrizes:

$$A = \begin{bmatrix} A^{LL} & \vdots & A^{LM} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ A^{ML} & \vdots & A^{MM} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$X = \begin{bmatrix} X^L \\ \cdots \\ X^M \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$Y = \begin{bmatrix} Y^L \\ \dots \\ Y^M \end{bmatrix} \quad (12)$$

O sistema inter-regional completo de insumo-produto é representado por:

$$(I - A)X = Y \quad (13)$$

e as matrizes podem ser dispostas da seguinte forma:

$$\left\{ \begin{bmatrix} I & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \vdots & I \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} A^{LL} & \vdots & A^{LM} \\ \dots & \dots & \dots \\ A^{ML} & \vdots & A^{MM} \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} X^L \\ \dots \\ X^M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y^L \\ \dots \\ Y^M \end{bmatrix} \quad (14)$$

Efetuada estas operações, obtêm-se os modelos básicos necessários à análise inter-regional proposta por Isard, resultando no sistema de Leontief inter-regional da forma:

$$X = (I - A)^{-1} Y \quad (15)$$

A matriz inversa de Leontief é dada por

$$S = (I - A)^{-1} \quad (16)$$

e seus elementos são b_{ij} .

3.2 Análise de decomposição estrutural

Wier e Hasler (1999) aplicaram a Structural Decomposition Analysis (SDA) para a Dinamarca trabalhando com emissões de Nitrogênio e o modelo adotado está descrito abaixo:

$$N_t = w_t (I - A_t)^{-1} D_t d_t \quad (17)$$

Onde temos que N_t é um escalar com as emissões de N; w_t é um vetor de emissões por unidade de produção; $(I - A_t)^{-1}$ é a matriz inversa de Leontief; D_t é matriz que apresenta, para cada um dos componentes da demanda final, as respectivas participações das demandas por setores e d_t é um vetor com o nível absoluto de cada categoria da demanda final. Este modelo é um exemplo de que a metodologia da SDA pode ser aplicada tanto na análise das emissões de CO₂, fontes de energia e em pesquisas referentes ao padrão de comércio internacional, estrutura e o crescimento da economia e ao mercado de trabalho. O modelo usado por eles é muito semelhante ao adotado por Haan (2001) e que foi empregado neste trabalho. Generalizando o modelo teríamos com n setores e m componentes da demanda final:

w_t é um vetor linha com n valores com a variável de interesse por unidade de produção dos setores;

$(I - A_t)^{-1}$ é a matriz inversa de Leontief (nxn); e

D_t é matriz que apresenta, para cada um dos componentes da demanda final, as respectivas participações das demandas por setores; e

d_t é um vetor coluna (mx1) com o nível absoluto de cada categoria da demanda final

O índice t se refere ao ano de aplicação do modelo e seus dados.

A metodologia SDA pode ser utilizada para análise de qualquer informação setorial dada pela matriz de uso, tais como impostos, valor adicionado, importações e salários. O modelo que mais atendeu à proposta do artigo é baseado em Haan (2001) que pode ser aplicado ao mercado de trabalho, emissões e energia. Os trabalhos que se utilizam do modelo de Análise de Decomposição Estrutural usam o modelo de insumo-produto de Leontief como base para a decomposição, pois este permite uma melhor aproximação da realidade.

As mudanças da variável (fator) de interesse por setor (Δc) podem ser descritas como função do crescimento econômico em termos de ganho ou não de eficiência. Já as mudanças no fator em termos de unidades monetárias de produto são determinadas por (Δn), que significa eficiência do uso do fator ou intensidade do uso. Mudanças nos coeficientes técnicos da economia, mudanças na composição da estrutura da demanda final e o aumento do volume na demanda final podem ser denominadas respectivamente por (ΔS), (Δy^s) e (Δy^v). Com isso, a fórmula genérica para cálculo da decomposição dos fatores pode ser caracterizada por:

$$\Delta c = \Delta n + \Delta s + \Delta y^s + \Delta y^v \quad (18)$$

A análise da decomposição estrutural com relação ao fator de interesse pode ser derivada da seguinte forma: suponha que c_{ij} de C representa o valor do fator da atividade j . Desta maneira, o total da variável gerada por todas as atividades produtivas pode ser determinado como uma função do produto total:

$$c = NX \quad (19)$$

O elemento c indica o valor total do fator gerados em todas as atividades produtivas. O vetor coluna X possui os valores do produto setorial total e $N = C \hat{X}^{-1}$, em que os elementos n_{ij} de N indicam os coeficientes da variável, ou seja, a quantidade da variável de interesse gerada por uma unidade monetária de produção da atividade j . \hat{X} representa a matriz diagonalizada de X , este é um vetor que possui os valores da produção setorial. A equação $X = (I - A)^{-1} y$ mostra o valor da produção setorial total como função da demanda final, sendo que $S = (I - A)^{-1}$ representa a matriz inversa de Leontief e A representa a matriz de coeficientes técnicos.

A matriz com os valores dos componentes da demanda final, y , com dimensão (nxm) contém os elementos da demanda final: exportação, consumo das instituições civis sem fins lucrativos, formação bruta de capital fixo, consumo da administração pública e consumo das famílias. Os valores setoriais de variação de estoques foram somados ao consumo das famílias porque o modelo não considera valores negativos, o que pode ocorrer na componente variação de estoques e este somatório anula possíveis valores abaixo de zero. Tem-se cinco componentes da demanda final. O total na linha dessa matriz é o vetor linha y^v , que é o volume da demanda final com dimensão (mx1). A composição da demanda final, y^s , é uma matriz de coeficientes obtida pela divisão de cada elemento da matriz pelo vetor y^v na sua forma inversa e diagonalizada:

$$y^s = y \hat{y}^{v-1} \quad (20)$$

Posto isso, as emissões de CO₂ gerados (ou outra variável de interesse) por todas as atividades produtivas podem ser determinados pela seguinte equação:

$$c = NX = NSy^s y^v \quad (21)$$

Em que para o caso deste trabalho:

N é o vetor (1xn) de coeficientes de dióxido de carbono ou outro gás;

S é a matriz (nxn) inversa de Leontief;

y^s é a matriz (nxm) de coeficientes da demanda final; e

y^v é o vetor (mx1) com o total da demanda final por categoria.

A decomposição estrutural da mudança dos valores das emissões e valor total deste entre os períodos de t e $t-1$ podem ser determinadas como segue:

$$\Delta c = c_{(t)} - c_{(t-1)}$$

$$\Delta c = N_{(t)} S_{(t)} y_{(t)}^s y_{(t)}^v - N_{(t-1)} S_{(t-1)} y_{(t-1)}^s y_{(t-1)}^v$$

$$\Delta c = (\Delta N) S_{(t)} y_{(t)}^s y_{(t)}^v + N_{(t-1)} S_{(t)} y_{(t)}^s y_{(t)}^v - N_{(t-1)} S_{(t-1)} y_{(t-1)}^s y_{(t-1)}^v$$

$$\Delta c = (\Delta N) S_{(t)} y_{(t)}^s y_{(t)}^v + N_{(t-1)} (\Delta S) y_{(t)}^s y_{(t)}^v + N_{(t-1)} S_{(t-1)} y_{(t)}^s y_{(t)}^v - N_{(t-1)} S_{(t-1)} y_{(t-1)}^s y_{(t-1)}^v$$

$$\Delta c = (\Delta N) S_{(t)} y_{(t)}^s y_{(t)}^v + N_{(t-1)} (\Delta S) y_{(t)}^s y_{(t)}^v + N_{(t-1)} S_{(t-1)} (\Delta y^s) y_{(t)}^v + N_{(t-1)} S_{(t-1)} y_{(t-1)}^s y_{(t)}^v - N_{(t-1)} S_{(t-1)} y_{(t-1)}^s y_{(t-1)}^v$$

$$\Delta c = (\Delta N) S_{(t)} y_{(t)}^s y_{(t)}^v + N_{(t-1)} (\Delta S) y_{(t)}^s y_{(t)}^v + N_{(t-1)} S_{(t-1)} (\Delta y^s) y_{(t)}^v + N_{(t-1)} S_{(t-1)} y_{(t-1)}^s (\Delta y^v) \quad (22)$$

De acordo com Dietzenbacher e Los (2000), a formulação feita na equação (22) descreve apenas uma situação dentre várias outras possíveis. Desta maneira, com n fatores poderão ocorrer $n!$ formas de decomposição estrutural que segue uma estrutura similar à descrita acima. Jacobsen (2000) e Hoem (2003) utilizaram em seus estudos, como resultado de cada componente da decomposição, a média das duas formas polares existentes. A equação (22) é uma das formas polares. A outra é dada por:

$$\Delta c = (\Delta N) S_{(t-1)} y_{(t-1)}^s y_{(t-1)}^v + N_{(t)} (\Delta S) y_{(t-1)}^s y_{(t-1)}^v + N_{(t)} S_{(t)} (\Delta y^s) y_{(t-1)}^v + N_{(t)} S_{(t)} y_{(t)}^s (\Delta y^v) \quad (23)$$

Aqui também é utilizada a sugestão de Jacobsen (2000) e a média das duas formas polares é dada por:

$$\begin{aligned} \Delta c &= \frac{1}{2} \left((\Delta N) S_{(t)} y_{(t)}^s y_{(t)}^v + (\Delta N) S_{(t-1)} y_{(t-1)}^s y_{(t-1)}^v \right) && \text{(efeito intensidade de emissões)} \\ &+ \frac{1}{2} \left(N_{(t-1)} (\Delta S) y_{(t)}^s y_{(t)}^v + N_{(t)} (\Delta S) y_{(t-1)}^s y_{(t-1)}^v \right) && \text{(efeito tecnológico)} \\ &+ \frac{1}{2} \left(N_{(t-1)} S_{(t-1)} (\Delta y^s) y_{(t)}^v + N_{(t)} S_{(t)} (\Delta y^s) y_{(t-1)}^v \right) && \text{(efeito estrutura da demanda final)} \\ &+ \frac{1}{2} \left(N_{(t-1)} S_{(t-1)} y_{(t-1)}^s (\Delta y^v) + N_{(t)} S_{(t)} y_{(t)}^s (\Delta y^v) \right) && \text{(efeito volume da demanda final)} \end{aligned}$$

Para obter os resultados desagregados por setor basta tomar N na sua forma diagonalizada na equação (21), $C = \hat{N} X = \hat{N} S y_{(t)}^s y_{(t)}^v$.

Para o presente estudo teremos 41 regiões (40 países e o restante do mundo) cada um com 35 setores. Os efeitos mensurados se referem a valores de emissões dióxido de carbono em gigagramas (ou quilotoneladas) por ano e toneladas em emissões dos outros gases. O efeito intensidade se refere à variação da relação de emissões por milhão de dólares de 2009, sendo a capacidade de reduzir emissões no próprio setor, caso o valor obtido seja negativo. O efeito tecnológico é a variação da emissão na cadeia produtiva por efeito indireto. A estrutura da demanda final é a mensuração da variação da proporção de aquisições dos componentes da demanda (famílias, governo, exportações e investimento) influenciando emissões de CO₂, em caso negativo mostrará que a proporção impactou na diminuição das emissões. Finalmente, o efeito volume da demanda final é o impacto do crescimento econômico sobre as emissões do período 2000-2009.

Os efeitos intensidade e tecnologia refletem modificações da estrutura produtiva e matrizes de energia dos países. Os efeitos estrutura e volume da demanda final são resultado das mudanças de hábitos

das famílias e de outros componentes da demanda final (governo, exportações e investimento) e o crescimento econômico e efeitos das variações da renda per capita sobre o consumo de bens e serviços finais.

Quadro 2 - Setores produtivos para a matriz insumo-produto do *World Input-Output Database*, 2000-2009.

Setores Produtivos da Economia			
1	Agropecuária, caça, silvicultura e pesca	18	Construção
2	Extrativismo mineral	19	Venda, Manutenção e reparação de veículos automotores
3	Alimentos, bebidas e fumo	20	Comércio no Atacado
4	Têxteis	21	Comércio no Varejo
5	Vestuário	22	Hotéis e restaurantes
6	Madeira e produtos da madeira	23	Transporte terrestre
7	Papel, celulose e gráfica	24	Transporte aquático
8	Refino de petróleo e combustível nuclear	25	Transporte aéreo
9	Indústria química	26	Outras atividades de suporte ao Transporte
10	Borracha e plástico	27	Correios e Telecomunicações
11	Outros minerais não metálicos	28	Intermediação financeira
12	Metalurgia	29	Atividades imobiliárias exceto construção
13	Máquinas e equipamentos	30	Aluguel de equipamentos para empresas e outras atividades comerciais
14	Eletrônicos e equipamentos ópticos	31	Administração pública
15	Equipamentos de transporte	32	Educação
16	Manufatura e reciclagem	33	Saúde e Assistência social
17	Eletricidade, gás e água	34	Outros serviços comunitários, sociais e pessoais

Fonte: elaborado a partir de WIOD (2014).

A partir dos dados disponibilizados no WIOD, a estrutura desta pesquisa fundamenta-se nas tabelas de insumo-produto de 40 países⁵ (27 países da União Europeia e outros 13 países selecionados) mais o restante do mundo, no ano de 2000 a 2009. Cabe salientar que as tabelas no WIOD apresentam 35 setores produtivos como especifica o quadro 2. Entretanto, cabe destacar que este trabalho irá analisar 34 setores, uma vez que se optou em remover o setor 35 das Residências particulares com empregados, tendo em vista que, em quase todos os países não existem dados divulgados para esta atividade econômica, ressalta-se que o setor 19 da China, referente a venda e manutenção de veículos automotores não tinha dados para o setor na base de dados WIOD.

Cabe destacar que serão analisados exclusivamente os países membros do BRIC e do G-7, que adquiriram avanços importantes nas suas economias no período recente e que possuem grandes reservas de recursos naturais disponíveis. No âmbito da comparação com os países do G-7 e BRIC foram agrupados todos os demais países com dados no WIOD em somente um grupo denominado de resto do mundo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A decomposição estrutural remete a análise de quatro fatores que explicam a variação de emissões: efeito intensidade, tecnologia, proporção da demanda final ou estrutura da demanda final e volume da demanda final. O efeito intensidade mostra as modificações de emissões em cada setor em emissões por unidade de produção (um milhão de dólares de 2009), já o efeito tecnologia apresenta as modificações na cadeia produtiva (tecnologia como proporções de insumos) e seu impacto sobre as

⁵ Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Brasil, Bulgária, Canadá, China, Chipre, Coreia do Sul, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Índia, Indonésia, Irlanda, Itália, Japão, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, México, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Romênia, Rússia, Suécia, Taiwan e Turquia.

emissões. O efeito estrutura da demanda pode ser traduzido como a variação da proporção da demanda final (governo, famílias, exportações e investimento). O efeito do crescimento econômico sobre emissões é mensurado pela variação do volume da demanda final. Nesta seção agrupou-se os resultados de todos os setores dos países dos blocos G-7 e BRIC a fim de mensurar a variação de cada GEE. A nível de comparação elaborou-se os cálculos também para o Resto do Mundo.

Na Tabela 4, observa-se a soma dos quatro efeitos da decomposição estrutural: intensidade, tecnologia, estrutura da demanda e volume da demanda final. Assim, o resultado da variação total mostra decréscimos nas emissões do G-7 e acréscimos para o BRIC. Quanto ao resto do mundo, tem-se que houve decréscimos em alguns GEE como: CH₄, N₂O e NO_x, e acréscimos nos demais. A decomposição da variação total das emissões em quatro fatores tornou possível mensurar os efeitos tecnológicos (intensidade de emissão e tecnologia) e de variações da demanda final (estrutura e volume). Os resultados da aplicação da metodologia estão resumidos na Tabela 4.

Tabela 4 - Variação total no G-7, BRIC e Resto do Mundo, período de 2000 a 2009. Variações das emissões anuais em quilotoneladas (kt) de dióxido de carbono e toneladas (t) para os demais gases.

Gases	Grupo dos Sete	BRIC	Resto do Mundo
CO ₂	-569	4.955	24
CH ₄	-630	2.967	-153
N ₂ O	-1.257	2.879	-133
NO _x	-1.039	2.801	-179
SO _x	-1.180	6.613	10.000
CO	-1.430	11.251	11.112
NMVOC	-613	3.510	3.621
NH ₃	-341	5.586	304

Fonte: elaborada a partir de WIOD (2014).

De acordo com a Tabela 5 verifica-se que o grupo dos países do G7 tiveram modificações de estrutura do consumo que resultaram em reduções das emissões. Observa-se o efeito estrutura da demanda e variações negativas, quando se somam todos os países do bloco. Este efeito resultou em variações negativas para todos os gases analisados. Os efeitos intensidade e tecnologia também apresentaram valores negativos. O único efeito positivo é o volume da demanda final. Nota-se a variação de CO₂ de -596 quilotoneladas (kt) no efeito intensidade, -245 kt de efeito tecnologia e -424 kt no efeito estrutura da demanda final do G7. Sendo assim, mesmo com o crescimento do consumo demonstrado no volume da demanda final, este último resultou em escolhas ambientalmente corretas, maior emprego de tecnologia e utilização de insumos que mitigaram o crescimento das emissões.

Tabela 5 - Variações das emissões atmosféricas anuais no G-7, BRIC e Resto do Mundo, período de 2000 a 2009. Variações das emissões anuais em quilotoneladas de CO₂ e toneladas para os demais gases.

Gases	Efeito Intensidade			Efeito Tecnologia			Proporção ou Estrutura da Demanda Final			Volume da Demanda final		
	G-7	BRIC	RM	G-7	BRIC	RM	G-7	BRIC	RM	G-7	BRIC	RM
CO ₂	-596	1.050	-504	-245	800	108	-424	2.215	188	697	890	233
CH ₄	-611	228	-6.889	-272	367	6.430	-421	1.544	-7.520	675	828	27.826
N ₂ O	-1.281	-350	-4.718	-249	624	669	-333	1.766	340	606	840	3.576
NO _x	-1.061	-242	-2.321	-238	511	335	-366	1.709	523	627	822	1.284
SO _x	-1.257	3.087	-2.116	-217	341	574	-288	2.097	912	582	1.088	1.630
CO	-1.408	4.902	2.623	-259	1.062	-129	-307	3.539	4.300	543	1.748	4.318
NMVOC	-632	-211	155	-263	669	-39	-373	2.087	1.483	656	964	2.022
NH ₃	-474	2.308	-3.489	-259	393	17.310	-336	1.824	-51.938	728	1.061	68.422

Fonte: elaborada a partir de WIOD (2014).

Os valores da decomposição estrutural para os países do BRIC mostraram que para todos os gases poluentes ocorreu o crescimento das emissões, principalmente relacionada com a maior demanda de bens nestes países representada pelo efeito estrutura da demanda. Os valores positivos de aumento do efeito volume da demanda final acompanhou o efeito estrutura. Isto mostra, como exemplo, indivíduos que passam a usar mais automóveis em detrimento de transporte coletivo com baixa emissão (combustíveis alternativos) ou mesmo deixam de utilizar a bicicleta como meio de transporte.

Os resultados da Tabela 5 dos países do Resto do Mundo, considerados todos os países do mundo exceto os países do G-7 e BRIC, mostraram melhora em relação ao crescimento das emissões, principalmente observada no efeito intensidade e menos nos efeitos tecnologia e estrutura da demanda. Comparativamente, resultado pouco melhor que o BRIC. Com estes resultados demonstra-se que a modificação dos hábitos e escolhas de consumo (demanda final) não está levando a melhores resultados em relação as emissões segundo o efeito estrutura da demanda. Valores mais significativos aparecem na tecnologia empregada nos setores. Quanto ao efeito intensidade observa-se reduções nas variações das emissões quanto os gases: N₂O, NO_x e NMVOC, mas ainda menores que as do G-7.

A comparação detalhada entre o G7 e BRIC e Resto do Mundo quanto os quatro efeitos indica que os efeitos intensidade e tecnologia estão relacionados com a estrutura produtiva, uma vez que estão ligados diretamente com produção de bens e serviços. Já os efeitos estrutura da demanda e volume estão relacionados com a proporção e crescimento do consumo (demanda final). Os países do BRIC apresentaram resultados maiores de crescimento das emissões que o G-7, como demonstrado na Tabela 5. Considerando o aumento das emissões de CO₂ do BRIC, o fato ocorreu devido não somente ao crescimento econômico e sim ao uso de insumos e recursos naturais não renováveis disponíveis, sem embargo. Acrescenta-se a esta constatação a ressalva que os países do G-7 também produzem na estrutura interna dos países do BRIC por meio de empresas multinacionais e transnacionais. Todavia, a busca na redução das desigualdades sociais nos países do BRIC tem causado o aumento do uso de recursos naturais e isto não pode ser explicado por inexistência de energias renováveis e sim pelo menor custo. Os resultados indicam que o BRIC não acompanhou a redução do G-7 e do Resto do Mundo na redução das emissões de CO₂ apresentando crescimento no efeito intensidade para o período estudado.

Os resultados do BRIC quanto ao CH₄ atingem principalmente acréscimos das emissões considerando o efeito tecnologia de 336t conforme Tabela 5. Isto ratifica o mal-uso dos insumos intermediários quanto a responsabilidade ambiental e falta de tecnologia adequada nas atividades produtivas. Isto atinge níveis mais elevados considerando o resto do mundo de 6430t.

Valores obtidos para o N₂O mostram que todos os valores para o efeito intensidade são negativos considerando G-7, BRIC e Resto do Mundo. Já para o efeito tecnologia o BRIC apresenta maior resultado nos acréscimos das emissões na ordem de 624t. Os resultados corroboram a análise com relação ao CH₄. A estrutura produtiva dos BRIC abrange o uso abundante de recursos naturais e desperdícios em várias fases do processo produtivo, essencialmente do uso da combinação dos fatores de produção, bem como o não uso das melhores técnicas sejam agrícolas ou industriais. Verifica-se que para o BRIC, o efeito estrutura da demanda de 1.766 t, considera-se devido mudanças no padrão de consumo. Estes acréscimos das emissões são sentidos também no Resto do Mundo a partir dos efeitos tecnologia e estrutura da demanda, mas com menores valores, no montante de 340 t para o efeito estrutura da demanda, conforme Tabela 5. Já o volume da demanda final é de maior impacto no Resto do Mundo.

A mensuração dos fatores para o NO_x, de acordo Tabela 5, mostra que o GEE segue a mesma lógica anterior apresentada do N₂O, demonstrando acréscimos nas emissões deste gás na cadeia produtiva dos países do BRIC e no Resto do Mundo representados pelo efeito tecnologia de 511t e 335t respectivamente de NO_x, e por outro lado reduções nas emissões nos países do G-7. Denota-se reduções para três efeitos no G-7 para NO_x, efeito intensidade, tecnologia e estrutura da demanda, já para o BRIC houve apenas redução no efeito intensidade, crescimento nos efeitos tecnologia e estrutura da demanda. O Resto do Mundo seguiu a mesma lógica do BRIC, no entanto com maior redução do efeito intensidade. Reforça-se a ideia que a mudança de consumo e a tecnologia são os principais causadores do aumento dos GEE no BRIC.

O efeito intensidade está relacionado à relação de emissões por unidade de produção nos setores da economia, no caso relacionado a emissão do GEE, obteve outro resultado de acréscimos das emissões para o BRIC, demonstrando variações superiores que as do G-7 e Resto do Mundo que tiveram decréscimos. O efeito estrutura da demanda do gás SO_x foi positivo no BRIC e no G-7 negativo.

Quanto ao CO, temos que os resultados do BRIC são bem superiores ao G-7 quanto ao acréscimo das emissões, mesmo considerando os quatro efeitos em conjunto, intensidade, tecnologia, estrutura e volume da demanda final. Assim existe um alerta em relação a emissão de CO, principalmente relacionado com a estrutura produtiva (matriz de energia) e setores de transporte.

O NMVOC apresenta melhorias no efeito intensidade e tecnologia com resultados de decréscimos nas emissões para o G-7, já o BRIC apresenta resultados ruins no efeito tecnologia, estrutura da demanda e volume da demanda final. Observa-se que o BRIC aparece melhor que o Resto do Mundo quanto ao efeito intensidade, mais abaixo do G-7 e Resto do Mundo quando se consideram o efeito tecnologia e estrutura da demanda. Isto mostra o uso demasiado de recursos naturais não renováveis em toda cadeia produtiva dos setores econômicos do BRIC e mudanças no padrão de consumo.

Os resultados relacionados às emissões de NH₃ apresentaram crescimento considerando os efeitos intensidade, tecnologia e estrutura da demanda para os países do BRIC, na ordem de 2.308t, 393t, 1824t, conforme Tabela 5. No G-7, ambos os efeitos intensidade e tecnologia apresentaram reduções nas emissões de GEE. No Resto do Mundo os resultados ruins estão no efeito tecnologia e no volume da demanda final.

O efeito volume da demanda final é crescente em grande parte das economias analisadas, pois o Grupo dos Sete (G-7), os países que compõe o BRIC e o Resto do Mundo tiveram efeitos positivos, no entanto, apresenta-se uma melhora nas escolhas de consumo nos países do G-7 dado o efeito estrutura da demanda. Identifica-se que os efeitos intensidade e tecnologia resultaram em números melhores no G-7 que os do BRIC e do Resto do Mundo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os países que compõem o Grupo dos Sete (G7) apresentaram resultados mais significativos quanto as reduções das emissões atmosféricas no período estudado comparativamente aos países do BRIC. Os resultados mostraram a relação entre a modificação da estrutura produtiva e emissões, pois os países do BRIC apresentaram acréscimos nas emissões de poluentes atmosféricos na maioria dos setores produtivos de suas economias por efeito intensidade e tecnologia. Países desenvolvidos apresentaram maior eficiência na utilização da energia, maior intensidade do uso de insumos e avanço no uso de técnicas de produção considerando a mitigação de emissões atmosféricas que os países em desenvolvimento agrupados no BRIC. Isto leva a resultados diferentes nos efeitos intensidade e tecnologia, o primeiro relacionado ao setor, o segundo diz respeito aos insumos intermediários (cadeia produtiva).

Mudanças na estrutura da demanda em prol do meio ambiente são observadas de forma mais contundente nos países do G7 que no BRIC. Economias em desenvolvimento como China e Índia agrupadas no BRIC tiveram fluxos migratórios do campo para a cidade devido ao processo de industrialização. Isto levou a mudanças nos hábitos de consumo que influenciam o efeito estrutura da demanda final. A China com suas elevadas taxas de crescimento econômico nas últimas décadas apresentou maior exploração dos recursos naturais disponíveis em seu território. As observações do BRIC não podem ser unicamente relacionadas ao crescimento econômico até porque, no período de 2000 a 2009, Brasil e Rússia apresentaram baixo crescimento econômico e também obtiveram aumento das variações das emissões. Assim, o uso dos insumos e da tecnologia, além das condições de trabalho e formas de aproveitamento dos recursos naturais são condições determinantes para a melhoria das reduções das emissões. Os recursos naturais em abundância presentes nos países do BRIC e seu uso com pouco controle institucional resulta em piora dos resultados referentes ao GEE em sua estrutura produtiva.

A grande dificuldade nas economias desenvolvidas do G7 está na precificação dos custos para as empresas na adoção de novas tecnologias ambientalmente melhores, pois geram novas despesas para um ambiente altamente competitivo. Deve-se avaliar a oportunidade de mercado para energia limpa nos países desenvolvidos. Nos países em desenvolvimento como o BRIC, novas tecnologias para redução das emissões estão relacionadas a economia de energia, uso eficiente do sistema de transportes, ações relativas ao processo de desmatamento e busca de combustíveis alternativos. Os países do BRIC suscitam um cenário de dificuldades quando se relaciona a sua estrutura produtiva e o crescimento econômico ao custo de maiores impactos ambientais.

O estudo avança em relação ao tema considerando resultados detalhados sobre os oito gases causadores de impactos ambientais, assim como a comparação de efeitos tecnológicos e da demanda final

dos dois conjuntos de países principais responsáveis por tais emissões atmosféricas. Pesquisas futuras podem utilizar dados mais recentes e ampliar o número de países da análise.

REFERÊNCIAS

- ABESCO. Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Conservação de Energia. Produção de energia elétrica no Brasil polui cada vez mais. Disponível em <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/producao-de-energia-eletrica-no-brasil-polui-cada-vez-mais/>> Acesso em: 30 nov. 2017.
- AÍMOLA L. Alguns cenários exploratórios sobre o regime após o Protocolo de Quioto. Meio Ambiente e crescimento econômico; tensões estruturais. In: DUPAS, G. (Org.). São Paulo: UNESP, 2008.
- ARROW et al. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Science* n.268, p. 520–521, 1995. Disponível em: Acesso em: 22 jun 2009.
- BURCK J; MARTEN F; BALS C; The climate change performance index: results 2015. Germanwatch 2015. Disponível em <<http://germanwatch.org/en/download/13625.pdf>> Acesso: em 16 Jun 2017.
- CALLAN, S.J.; THOMAS, J. M. *Economia ambiental: aplicações, políticas e teoria*. 2a ed. São Paulo, SP: Cengage Learning, 2016.
- COSTANZA, R, CUMBERLAND, J., DALY, H. et al. *An Introduction to Ecological Economics*. ISEE. International Society for Ecological Economics. Florida: St Lucie Press Boca Raton, 2000.
- DIETZENBACHER, E. and LB. Structural Decomposition Analyses with Dependent Determinants, *Economic Systems Research*, 12, issue 4, p. 497-514, 2000.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. The Entropy Law and the Economic Process in Retrospect. *Eastern Economic Journal*, v. XII, n.1, january-march, 1986.
- HAAN, de MA. Structural decomposition analysis of pollution in the Netherlands. *Economic Systems Research*, Sydney, v.13, n. 2, p.181-196, Jun. 2001.
- HINRICHS, RA; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. *Energia e Meio Ambiente*. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- HOEM, A. A decomposition analysis of the emissions of CO₂. In: *European Congress of the Regional Science Association*, 43, 2003, Jyväskylä, Anais Eletrônicos, Jyväskylä, 2003. Disponível em:<www.jyu.fi/ersa2003/>. Acesso em: 27 out. 2017.
- IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change. The Physical Scientific Basis-Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report. Summary for Policymakers, 2013. Disponível em: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf. Acesso em: 12 abr 2017.
- ISARD, W. Inter-regional and Regional Input-Output Analysis: A Model of a Space-Economy. *Review of Economics and Statistics*, n.33, p.319-328. 1951.
- JACOBSEN, HK. Energy demand, structural change and trade: A decomposition analysis of the Danish manufacturing industry. *Economic Systems Research*, Sydney, v.12, n. 3, p.319-343, Sept. 2000.
- UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. *Kyoto Protocol*. United Nations, 1998. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>> Acesso em: 11 dez 2017
- LEONTIEF W. *Input-Output Economics*. 2.ed. New York: Oxford University Press, 1986.

- LEONTIEF W. *The Structure of the American Economy*. 2.ed. New York: Oxford University Press, 1951.
- MERCADOS ENERGÉTICOS. Matriz Energética de Reino Unido. Disponível em: <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/mercados/matriz/Trabajo%20F%20Aceituno%20y%20F%20Hentzschel.htm>. Acesso em: 19 out. 2017.
- MILLER R.E., Blair PD. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- MORETTO, A.C. *Relações intersetoriais e inter-regionais na economia paranaense em 1995*. Piracicaba, 2000. 161p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- PANAYOTOU T. Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. Working Paper WP238, Technology and Employment Programme (Geneva: International Labor Office), 1993. Disponível em: http://staging.ilo.org/public/libdoc/ilo/1993/93B09_31_engl.pdf. Acesso em: 06 abr 2017.
- PEDROSO, F.P. *et al.* Variações dos Gases do Efeito Estufa (GEE): Um estudo por meio da decomposição do matriz insumo – produto do mundo de 1995 a 2009. *RACRE (CREUPI)*, v.20, p.61 - 81, 2016.
- POWELL L. As potências em ascensão e as mudanças climáticas: o caso da Índia. In: Cadernos Adenauer XIII (2012), nº 2. *Potências emergentes e desafios globais*. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, 2012.
- RICKLEFS, R. E. *A economia da natureza*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.
- SACHS I. A revolução energética do século XXI. *Estudos Avançados*, USP, 19, n.55, p. 197-214, 06/2005. USP, 21, n. 59, p. 21-38 2007
- SCHETTE G R. Crise econômica ameaça liderança da união europeia no debate sobre energia e mudanças climáticas. *Boletim de Economia e Política Internacional*. Nº 15. Jan./Abr 2014. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/3787/1/BEPI_n16_criseeconomica Acesso em: 15. Maio 2017.
- SESSO FILHO U. A. *et al.* Decomposição estrutural da variação do emprego no Brasil, 1991-2003. *Revista de Economia Aplicada*. Vol 14. Ribeirão Preto, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-80502010000100007&script=sci_arttext&tlng=es Acesso em: 4 jun. 2017.
- Solow RMA. On the Intergenerational Allocation of Natural Resources. *The Scandinavian Journal of Economics*, v. 88, n.1. p. 141-149, mar. 1986
- SOUZA AM *et al.* Estrutura Produtiva do Brasil, Rússia, Índia e China (BRIC) e seus Impactos nas Emissões de Dióxido de Carbono (CO₂). *Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPR)*, v.1, p.10- 15, 2015.
- Stiglitz J. Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths. *The Review of Economic Studies*, Vol. 41, *Symposium on the Economics of Exhaustible Resources*. pp. 123-137. 1974.
- UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. *Kyoto Protocol*. United Nations, 1998. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> Acesso em: 11 dez 2017

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change Convenção. 21° Conference of the Parties. Acordo de Paris, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/cop21/>. Acesso em: 21 nov. 2017.

UNITED NATIONS. The world population prospects: the 2017 revision, 2017. Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf> Acesso em: 14 dez. 2017.

Wier M., Hasler B. Accounting for nitrogen in Denmark: a structural decomposition analysis. *Ecological Economics*, v. 30, n. 2, p. 317-331, Aug. 1999.

WIOD. *World Input-Output Database*. 2014. Disponível em: <<http://www.wiod.org>>. Acesso em: 01 out. 2016.

World Bank. *World Development Indicators 2012*. World Bank-free PDF, 2016.

ZAPPAROLI I.D. *et al.* Análise dos transbordamentos nas emissões de dióxido de carbono: Brasil, Rússia, Índia e China - BRIC. *Revista Econômica do Nordeste*, v.48, p.149 - 164, 2018.

ZHANG Z, GUO J, HEWINGS, GJD. The effects of direct trade within China on regional and national CO₂ emissions. *Energy Economics*, [s.l.], v. 46, p.161-175, nov. 2014. Elsevier BV.