

Alteração climática: comércio internacional sob a ótica das emissões de dióxido de carbono equivalente

Raoni Felipe de Almeida André¹

 <https://orcid.org/0000-0002-8112-0930>

Irene Domenes Zapparoli²

 <https://orcid.org/0000-0002-4272-4571>

Umberto Antonio Sesso Filho³

 <https://orcid.org/0000-0002-3366-7560>

Patrícia Pompermayer Sesso⁴

 <https://orcid.org/0000-0001-5451-5470>

Recebido em: 3/07/2023

Aprovado em: 29/09/2023

Resumo

O objetivo consiste em estimar o efeito que as estruturas produtivas dos países têm de multiplicar as emissões de poluentes e identificar a interdependência dos fluxos de bens e serviços internacionais por meio do índice de ligação Inter-regional. Para tanto utiliza-se a matriz Insumo-Produto ampliada para coeficientes ambientais, agregando-a em 36 países para o ano de 2012. Os EUA, China, Japão, Alemanha, França, Rússia e Brasil emitiram juntos mais de 76% do volume de emissões de CO₂eq mundial. Os países que apresentam estrutura produtiva com maior grau de multiplicação das emissões de CO₂eq são a Suécia, Suíça, Finlândia, Luxemburgo e China. Visto que o aumento de mil toneladas nas emissões de CO₂eq nesses países provocam um aumento de 2,59 a 3,66 mil toneladas nas emissões em todos os países pelo efeito em cadeia. A Rússia e a China são as principais economias no encadeamento de insumo intensivos em CO₂eq, demandando, respectivamente, 3,2 e 2,9 vezes a mais que a média e ofertando 4,9 e 3,9 vezes a mais que a média.

Palavras-chave: emissões de CO₂eq; insumo-produto; comércio internacional

¹Mestre em Economia Regional pela Universidade Estadual de Londrina. E-mail: raoniandre07@gmail.com

²Doutora. Professor Associado do Departamento de Economia da Universidade Estadual de Londrina. E-mail: zapparoli@uel.br

³Doutor. Professor Associado do Departamento de Economia da Universidade Estadual de Londrina. E-mail: umasesso@uel.br

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

Código JEL: Q01, Q53, Q54

Climate change: international trade from the perspective of equivalent carbon dioxide emissions

Abstract

The objective is to estimate the effect that the productive structures of the countries have to multiply pollutant emissions and to identify the interdependence of the flows of international goods and services through the Inter-regional connection index. For this purpose, the expanded Input-Output matrix for environmental coefficients is used, aggregating it in 36 countries for the year 2012. The USA, China, Japan, Germany, France, Russia and Brazil together issued more than 76% of the volume of global CO₂eq emissions. The countries that have a productive structure with the highest degree of multiplication of CO₂eq emissions are Sweden, Switzerland, Finland, Luxembourg and China. Since the increase of a thousand tons in CO₂eq emissions in these countries causes an increase of 2.59 to 3.66 thousand tons in emissions in all countries by the chain effect. Russia and China are the main economies in the CO₂eq-intensive input chain, demanding, respectively, 3.2 and 2.9 times more than the average and supplying 4.9 and 3.9 times more than the average.

Keywords: emissions of CO₂eq; input-output; countries

JEL CODE: Q01, Q53, Q54

Introdução

O crescimento econômico é um fator determinante nas alterações ambientais, especialmente com a aceleração das emissões de gases poluentes proveniente de atividades antrópicas. Uma das consequências é o efeito estufa, que segundo parte da comunidade científica é responsável pelo aquecimento do planeta e preocupa muitas nações (Silva; Paula, 2015).

A conscientização das sociedades com os problemas ambientais justifica-se pela queda na qualidade de vida, por meio de catástrofes climáticas que o aquecimento da terra pode causar. A alteração térmica traz riscos para os ecossistemas, saúde e economia, basicamente, com inundações, deslizamento de terras e períodos longos de secas nas áreas urbanas e nas áreas rurais os impactos são na segurança alimentar e nos rendimentos agrícolas (Field; Barros, 2014).

A conferência de Estocolmo, no ano de 1972, foi o ponto de partida para os países começarem a discutir os problemas ambientais, não obstante o debate precursor sobre o aquecimento global só começou a ser visto na primeira Conferência Mundial do Clima em 1979. Após o Rio 92 - 1992, na cidade do Rio de Janeiro a Organização das Nações Unidas (ONU) passou a realizar conferências anuais para os países interessados em problemas de cunho mundial (Andrade; Costa, 2008).

Entre as conferências, uma das mais significativas relacionadas ao tema é a Conferência das Partes 3 (COP-3), que contou com a presença de 160 países, destacou-se com acordo feito pelo Protocolo de Quioto em 1997, que estabeleceu metas de redução dos gases do efeito estufa para 39 países industrializados, que

foram denominadas “partes do anexo I” (Godoy; Pamplona, 2007). Em dezembro de 2015 foi ratificado um novo Protocolo em Paris por 195 países, que rege medidas de mitigação da emissão a partir de 2020.

A integração econômica internacional admite certo grau de dificuldade para as políticas ambientais, porque o grande volume do comércio global acarreta que a produção e o consumo da mesma mercadoria são localizados em diferentes países. Por isso, parece mais adequado os consumidores assumir a responsabilidade pela poluição criada no processo de produção, diferente do que os acordos propõem, o qual a responsabilidade é dos países que produz. A problemática do presente estudo busca responder qual a potência do comércio internacional sobre as emissões de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq)?

O objetivo consiste em estimar o efeito que as estruturas produtivas dos países têm de multiplicar as emissões de poluentes e identificar a interdependência dos fluxos de bens e serviços internacionais por meio do índice de ligação Inter-regional.

Na metodologia utiliza-se a matriz Insumo-Produto ampliada para coeficientes ambientais. A matriz de produção foi extraída do World Input-Output Database e as emissões de Dióxido de Carbono equivalente (CO₂eq) do o banco de dados do *Organisation For Economic Co-operation and Development*, que contemplam 36 países para o ano de 2012. Esse período foi selecionado por contemplar a maior quantidade de informação para agregas as matrizes de produção do WIOD com as emissões CO₂eq no OECD.stat.

Para as emissões de poluentes foram considerados os principais gases que compõem o efeito estufa, que são o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarboneto (HFCs), compostos perfluorados e polifluorados (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆). Cada um desses gases tem tempo de vida e aquecimento na atmosfera diferente, então, foram todos, mensurados em CO₂eq para facilitar a análise e a compreensão dos resultados. Além disso, as emissões desta pesquisa são as geradas a partir queimas de combustíveis fósseis.

Este trabalho está composto por cinco seções. A primeira é esta introdução, a qual apresenta a problematização e os objetivos do estudo. A segunda aborda a fundamentação teórica e as evidências na literatura a respeito do modelo insumo-produto aplicadas ao meio ambiente. A terceira mostra a metodologia, composta pela base de dados, o modelo utilizado e a formação dos índices de análise. A Quarta versa sobre os resultados encontrados na pesquisa. A quinta seção finaliza o estudo, trazendo as principais conclusões acerca do impacto do comercio internacional na poluição atmosférica.

Riscos das alterações climáticas associados a gerações de energia

A convenção Quadro das Nações Unidas Sobre as Mudanças Climáticas (UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*) no seu artigo primeiro define alterações climáticas como sendo atribuída, direta ou indiretamente, pelas atividades humanas, que por meio da poluição atmosférica altera a temperatura além da variabilidade natural (UNFCCC, 1992). Portanto é comprovado o aquecimento global decorrente de atividades antrópicas, principalmente da queima de combustíveis fósseis para produzir energia (Silva; Chini, 2012).

O aquecimento da terra causa problemas no sistema climático do mundo, com consequências na biodiversidade, economia, produção de alimentos e saúde humana.

Essa alteração do clima acelera o derretimento dos gelos nos polos o que faz o nível dos oceanos se elevar, aumentando a frequência de fenômenos meteorológicos (Greenpeace, [2018]). A temperatura média é apontada como a maior entre os cinco séculos que se passaram, sendo provável que ainda neste século pode-se ter um acréscimo médio de 2°C a 5,8°C na temperatura média da superfície do planeta (Abramovay, 2010).

Existem inúmeros riscos da variabilidade do sistema climático na sociedade proveniente de eventos extremos, que são impulsionados por ondas de calor, tendências de seca, incêndios florestais, aumento do nível de precipitações, inundações, cobertura de neve, ciclones destrutivos, acidificação dos oceanos, fertilização por dióxido de carbono etc., o que mostra a vulnerabilidade humana as mudanças climáticas (Field; Barros, 2014).

As nações foram informadas da situação das mudanças climáticas, além da inevitabilidade de adaptação ao fenômeno de aquecimento global, especialmente para países desenvolvidos, os quais buscam a redução das emissões dos gases do efeito estufa na atmosfera sem afetar o consumo de energia necessária para o contínuo crescimento econômico (Lima, 2002).

Os riscos das alterações climáticas são desigualmente distribuídos entre os países, geralmente são mais severos para os em desenvolvimento, onde a falta de recursos financeiros para a adaptação e a dependência da produção agrícola, setor mais afetado pela mudança do clima, são fatores que intensificam os danos do aquecimento da Terra provocados por atividades humanas (Goldemberg; Lucon, 2007; Field; Barros, 2014).

As alterações do clima relacionadas ao aumento significativo das concentrações de gases do efeito estufa na atmosfera é um temor comum de todas as nações, as quais precisam tomar medidas urgentes de combate às alterações do clima, de forma a considerar os riscos de eventos climáticos extremos que assola o planeta (United Nations, 1992).

Modelos de Insumo-Produto Aplicado ao Meio Ambiente

Dada à abrangência da teoria de insumo-produto, passando por aspectos econômicos, sociais e ambientais, esta seção traça um breve histórico de trabalhos que tratam da teoria relacionada às questões ambientais, especificamente a relação do Dióxido de Carbono equivalente incorporado no comércio internacional.

De acordo com Guilhoto e Sesso Filho (2010) a utilização desse modelo como instrumento de análise ambiental se deve ao fato de ser o mais indicado para quantificar os impactos diretos da produção sobre o meio ambiente. Nesse sentido entre os mais conhecidos estão Casler e Blair (1997), Hetherington (1996) e Labandeira e Labeage (2002).

Hetherington (1996) identificou a intensidade de CO₂ emitido por libra esterlina, relacionando a demanda final de consumo com as emissões para o Reino Unido e considerou as emissões de combustíveis fósseis. Casler e Blair (1997) mostram a intensidade dos gases poluentes por dólar adicionado nos setores da economia dos Estados Unidos. Labandeira e Labeage (2002) utilizam a matriz Insumo-Produto da Espanha a fim de obterem a intensidade do CO₂ direto e indireto relacionada com a energia.

No decorrer do tempo muitos trabalhos voltados à construção do modelo Insumo-Produto para analisar as emissões de gases no comércio internacional foram desenvolvidos, entre eles estão Ahmad e Wyckoff (2003), Shui e Hariss (2006), Hayami e Nakamura (2007), Ackerman, Ishikawa e Suga (2007), Nakano *et al.* (2009), Du *et al.* (2011), Su e Ang (2011), Zhang, Guo e Hewing (2014) e Yamano e Guilhoto (2020).

Ahmad e Wyckoff (2003) exploraram o impacto do comércio internacional de bens nas emissões de CO₂ para os países da OECD mais o Brasil, China, Índia e Rússia. Shui e Hariss (2006) examinaram a influência do comércio internacional entre o EUA e a China sobre as emissões de gases do efeito estufa. Hayami e Nakamura (2006) observaram o comércio bilateral entre o Japão e o Canadá para verificar as emissões de CO₂ incorporadas nas importações do Japão de celulose canadense e as importações do Canadá de automóveis de passageiros japoneses.

Ackerman, Ishikawa e Suga (2007) examinaram o teor de carbono no comércio entre Japão e Estados Unidos América (EUA). Nakano *et al.* (2009) comparou o CO₂ embutido no consumo das transações comerciais dos países que pertencem ao OECD. Du *et al.* (2011) mostraram que a China é uma exportadora líquida de CO₂ incorporado no comércio com os EUA. Su e Ang (2011) investigaram a distribuição das emissões de CO₂ incorporadas no comércio internacional e a forma com que são absorvidas pela demanda final de um país. Zhang, Guo e Hewings (2014) tentou esclarecer os efeitos do comércio interprovincial da China sobre a distribuição de CO₂.

Por fim, Yamano e Guilhoto (2020) calcularam as emissões incorporadas no comércio internacional entre 65 países para os anos de 2005 e 2015. Os resultados encontrados pelos autores, mostram que as emissões globais de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis aumentaram cerca de 19% no período analisado. Além disso, no ano de 2015, 27% do CO₂ emitido no mundo estava relacionado ao comércio internacional. No que diz respeito ao consumo final, observaram que em termos globais, as emissões diminuíram cerca de 11%. No entanto, ainda são 3,6 vezes maiores do que as dos países não pertencentes à OECD.

No que tange a trabalhos nacionais que utilizaram o método de Insumo-Produto aplicado à geração de gases poluentes por meio da estrutura produtiva é possível citar Machado (2002), Hilgemberg (2005), Oliveira (2011), Souza *et al.* (2015), Pedroso (2016), Zapparoli *et al.* (2018) e França, Sesso Filho e Zapparoli (2018).

Machado (2002) analisou o volume de energia e CO₂ embutido nos produtos que o Brasil negocia internacionalmente para avaliar o impacto do comércio exterior sobre as emissões e o uso de energias. Hilgemberg (2005) verificou as emissões de CO₂ por unidade monetária decorrente do uso de gás natural, álcool e derivados do petróleo, para as cinco regiões do Brasil mais o estado de São Paulo. Oliveira (2011) procurou analisar as emissões dos gases do efeito estufa a partir das alterações nas estruturas econômicas do Brasil.

Souza *et al.* (2015) examinou a estrutura produtiva dos países que fazem parte do grupo econômico formado pelo Brasil, Rússia, Índia e China (BRIC) e qual o seu impacto na intensidade da geração CO₂. Pedroso (2016) analisou os efeitos econômicos mundiais internos e externos para verificar as variações de emissões dos gases causadores do efeito estufa no mundo. Zapparoli *et al.* (2018) estimou as emissões de CO₂ dos países do BRIC calculando o quanto é gerado para cada unidade monetária produzida na demanda final. França, Sesso Filho e Zapparoli (2018) analisaram a relação da Zona do Euro com seus impactos no uso de energia.

Metodologia

Com o propósito de estimar as emissões de dióxido de carbono equivalente embutidos (CO₂eq) no comércio internacional de bens e serviços, o modelo de Insumo-Produto formulado por Leontief (1951) ampliado para coeficientes ambientais é amplamente utilizado para estes cálculos que relacionam a produção de cada país com as emissões de poluentes. A utilização desse modelo como instrumento de análise ambiental se deve ao fato de ser o mais indicado para quantificar os impactos diretos da produção sobre o meio ambiente (Guilhoto; Sesso Filho, 2010).

Fontes e Base de Dados

Para realização deste estudo foram utilizados os dados disponíveis no Banco de Dados Mundial de Insumo-Produto (*World Input-Output Database – WIOD*). O WIOD foi criado para verificar os efeitos da globalização sobre os padrões do comércio, pressões ambientais e desenvolvimento socioeconômico de vários países, nos permitindo levantar questões sobre a emissão de gases poluentes das maiores economias existentes (Timmer, 2012).

A siglas dos países do banco de dados da OECD e seus respectivos continentes estão no Quadro 2.

Quadro 2 – Continente e a sigla dos países analisados na pesquisa.

Sigla	País	Continente	Sigla	País	Continente
NOR	Noruega	Europa	ITA	Itália	Europa
AUS	Austrália	Europa	LUX	Luxemburgo	Europa
USA	EUA	América do Norte	UK	Reino Unido	Europa
NLD	Países Baixos	Europa	CZE	República Checa	Europa
DEU	Alemanha	Europa	GRC	Grécia	Europa
IRL	Irlanda	Europa	EST	Estônia	Europa
SWE	Suécia	Europa	SVK	Eslováquia	Europa
CHE	Suíça	Europa	HUN	Hungria	Europa
JPN	Japão	Ásia	POL	Polônia	Europa
CAN	Canadá	América do Norte	LTU	Lituânia	Europa
KOR	Coréia	Ásia	PRT	Portugal	Europa
DNK	Dinamarca	Europa	LVA	Letônia	Europa
BEL	Bélgica	Europa	RUS	Rússia	Europa
AUT	Áustria	Europa	MEX	México	América do Norte
FRA	França	Europa	BRA	Brasil	América do Sul
FIN	Finlândia	Europa	TUR	Turquia	Europa
SVN	Eslovênia	Europa	CHI	China	Ásia
ESP	Espanha	Europa	IDN	Indonésia	Ásia

Fonte: Adaptado de *World Input-Output Database* (WIOD, 2012).

Os países foram organizados no Quadro 2 conforme o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do ano de 2012, do país com maior IDH para o com menor IDH, para facilitar a análise da dependência.

Os dados decorrentes das emissões de gases do efeito estufa para os países

analisados estão defasados em razão de só estarem disponíveis os períodos de 1995 a 2009 nas contas ambientais do WIOD. Portanto, foram utilizadas as emissões de GEE para o ano de 2012 do banco de dados acessível em *Organisation For Economic Co-operation and Development* (OECD.Stat), que dispõe das emissões de 96 setores dos 36 países visto no WIOD, além disso, no início da pesquisa, não foram encontrados os dados referentes a matriz insumo-produto da OECD.stat. O ano de 2012 foi escolhido por ser o período que contempla a maior quantidade de informação para agregar as matrizes de produção do WIOD com a emissão de CO₂eq do OECD.stat.

Foram considerados os poluentes dos principais gases que compõem o efeito estufa, que são o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarboneto (HFCs), compostos perfluorados e polifluorados (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆). Cada um desses gases tem tempo de vida e aquecimento na atmosfera diferente, então, foram todos, mensurados em CO₂eq para facilitar a análise. Além disso, as emissões desta pesquisa são as geradas a partir queimas de combustíveis fósseis.

Para unir as bases de dados foi necessário agregar as matrizes de produção e a emissão de CO₂eq em um único setor que representa a estrutura produtiva e a poluição atmosférica de cada país. Então, a matriz de Insumo-Produto mundial não está composta por setores econômicos, mas somente por países com a intenção de analisar os fluxos das inter-relações que o comércio bilateral entre os países pode causar. Entretanto, é importante ressaltar que essa agregação faz os resultados perderem importantes informações estruturais, como as emissões de poluentes gerados pelo comércio entre os setores de países diferentes.

Os gases do efeito estufa mais relevante são dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), mistura não especificada de hidrofluorcarbonetos (HFCs) e perfluorcarbonetos (PFCs) (WIOD [...], 2012; OECD, 2019). A capacidade desses gases em contribuir para o aquecimento global depende do seu tempo de duração na atmosfera terrestre e seu potencial de radiação, por isso não podem ser comparados. Para simplificar a análise foram todos mensurados e concentrados em dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), além disso os dados estão disponíveis em mil toneladas.

Matriz de Insumo-Produto

A forma mais simples de descrever a matriz Insumo-Produto nacional é demonstrar os fluxos de bens e serviços entre os diversos setores da economia de um país⁵, em relação a determinado período e em termos monetários. É importante destacar que, de forma específica, o método de Insumo-Produto é uma adaptação da teoria neoclássica de equilíbrio geral para o estudo empírico da interdependência quantitativa entre as atividades econômicas inter-relacionadas (Leontief, 1988).

A matriz Insumo-Produto indica todas as inter-relações de compra e venda de uma determinada economia. Tal relação básica pode ser visualizada no Quadro 3.

⁵ "O método foi originalmente desenvolvido para analisar e avaliar as relações entre os diversos setores produtivos e de consumo de uma economia nacional, mas vem sendo aplicado ao estudo de sistemas econômicos menores, como uma área metropolitana, ou até mesmo ao estudo de uma grande empresa individual integrada, também vem sendo aplicado à análise das relações econômicas internacionais" (Leontief, 1988).

Escrito de forma matricial tem-se:

$$\begin{bmatrix} (1-a_{11}) & -a_{12} & \dots & -a_{1n} \\ -a_{21} & (1-a_{22}) & \dots & -a_{23} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -a_{31} & -a_{32} & \dots & (1-a_{33}) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

O que pode ser reescrito da seguinte forma:

$$\left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -a_{11} & -a_{12} & \dots & -a_{1n} \\ -a_{21} & -a_{22} & \dots & -a_{23} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -a_{31} & -a_{32} & \dots & -a_{33} \end{bmatrix} \right\} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

A partir da relação (5) tem-se:

$$(I-A)*X=Y \quad (6)$$

E, assim, pode-se “[...] obter a solução única do sistema a partir da equação [...]” (Chiang; Wainwright, 2006):

$$X=(I-A)^{-1}*Y \quad (7)$$

A relação apresentada em (7) resume a capacidade explicativa da análise de Insumo-Produto no tocante ao comportamento das economias nacionais. Contudo, verifica-se como um impacto na demanda final (Y) afeta o valor da produção (X) e este, por sua vez, afeta outra variável como emprego, salário, importação, impostos e etc., assim, é possível observar a importância deste método para os países.

Portanto, a versão que está pautado este trabalho foi expandida para uma relação inter-regional de Insumo-Produto, que analisa o fluxo entre as estruturas produtivas dos países, conforme o Quadro 4 detalha.

Quadro 4 - Relações de Insumo-Produto em um sistema inter-regional com duas regiões

	País 1	...	País 37	Demanda Final			
País 1	Insumos Intermediários 1-1	...	Insumos Intermediários 1-37	DF 1-1	...	DF 1-37	Produção Total 1

...
País 37	Insumos Intermediários 37-1	...	Insumos Intermediários 37-37	DF 0-1	...	DF 37-37	Produção Total 37
	Importação do Restante do Mundo (1)	...	Importação do Restante do Mundo (37)				
	Impostos Indiretos Líquidos (IIL1)	...	Impostos Indiretos Líquidos (IIL37)				
	Valor Adicionado 1	...	Valor Adicionado 37				
	Produção Total País 1	...	Produção Total País 37				
	GEE 1	...	GEE 37				

Fonte: Adaptado de Moretto (2000).

Denominado de “modelo Isard”, devido a aplicação de Isard (1951) o modelo inter-regional de Insumo-Produto, demanda grande quantidade de dados, reais ou estimados, principalmente, quanto às informações sobre fluxos intersetoriais e inter-regionais.

O Quadro 4, de forma esquemática, apresenta as relações dentro de um sistema de Insumo-Produto inter-regional com 37 regiões analisada no estudo. Complementando o sistema regional, no sistema inter-regional, há uma troca de relações entre as regiões, exportações e importações, sendo expressas por meio do fluxo de bens que se destinam ao consumo intermediário e à demanda final.

Os fluxos intersetoriais são determinados por fatores tecnológicos e econômicos em uma economia, segundo (Leontief, 1951) pode ser também representado matricialmente da seguinte forma:

$$X = Ax + y \quad (8)$$

Em que:

X = vetor ($n \times 1$) com o valor bruto da produção;

y = vetor ($n \times 1$) com a demanda final setorial e;

A = matriz ($n \times n$) com os coeficientes técnicos de produção, na qual o elemento a_{ij} representa a participação do produto do setor i sobre a produção do setor j .

Tomando as relações de compra e venda de insumo entre os países presentes na economia constrói-se a matriz de consumo intermediário, por meio da qual se obtém a matriz A . Sendo Z a matriz de consumo intermediário, o elemento z_{ij} sinaliza

o valor demandado pelo setor j do setor i . Desse modo, fazendo $\frac{z_{ij}}{x_{ij}}$ obtém-se o elemento a_{ij} da matriz A . Isolando X obtém-se:

$$X = By \quad (9)$$

$$B = (I - A)^{-1} \quad (10)$$

A matriz **B** recebe o nome de inversa de Leontief. De acordo com Guilhoto e SESSO FILHO (2010), a partir do modelo básico, é possível ter trabalhos que abordem as extensões como endogeneização do consumo das famílias para estudos relacionados à distribuição de renda e análises estruturais e de impacto.

Miller e Blair (2009) identificam que por meio dos coeficientes diretos e da matriz de Leontief pode-se estimar para cada setor da economia, o quanto é gerado direta e indiretamente, no que diz respeito ao emprego, importações, impostos, salários, valor adicionado e demais variável para cada unidade monetária produzida para a demanda final, ou seja:

$$GV_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} v_i \quad (11)$$

em que:

GV_j é o impacto total, direto e indireto, sobre a variável em questão;

b_{ij} é o ij -ésimo elemento da matriz inversa de Leontief e

v_i é o coeficiente direto da variável em questão.

Uma limitação do modelo refere-se ao coeficiente direto da variável em questão (v_i), o qual no trabalho analisamos as emissões de CO₂ equivalente. Como o valor monetário da produção de cada país pode ser afetado pela taxa de câmbio do período, o coeficiente de emissão por milhão de dólares produzido pode estar subestimado ou superestimado, a depender da taxa de câmbio do período.

Para o cálculo dos multiplicadores, a divisão dos geradores pelo coeficiente direto correspondente concebe os multiplicadores, que apontam o quanto é gerado, direta e indiretamente, em termos CO₂eq para cada unidade diretamente gerada desses poluentes atmosféricos. Neste sentido, pode o multiplicador de CO₂eq indicar a quantidade de emissão criados, direta e indiretamente, para cada CO₂eq direto criado (Miller; Blair, 2009). Portanto, o multiplicador do i -ésimo setor seria dado por:

$$MV_i = \frac{GV_i}{v_i} \quad (11)$$

onde MV_i representaria o multiplicador da variável em questão e as outras variáveis são definidas conforme feito anteriormente.

Souza *et al.* (2015), indica que quando o efeito de multiplicação se restringe somente à demanda de insumos intermediários, estes são chamados de multiplicadores do tipo I. Porém, quando a demanda das famílias é endogenizada no sistema, levando-se em consideração o efeito induzido, estes multiplicadores recebem a denominação de multiplicadores do tipo II. Assim, para fins desta pesquisa, os multiplicadores estão restritos ao tipo I.

Índices de Ligação Inter-Regional

Este índice de ligação intersetorial foi criado por Rasmussen (1956) e ampliado para identificar os setores-chave nas economias por Hirschman (1958), por isso, leva o nome de índice de ligação de Rasmussen-Hirschman. Neste trabalho o índice foi modificado para uma análise somente inter-regional para identificar os países chaves nas emissões de poluentes atmosféricos.

Os índices se baseiam na equação $B = (I - A)^{-1}$ (10), da matriz inversa de Leontief. Definindo a_{ij} como elemento da matriz B , deve-se calcular $L_{.j}$ e $L_{i.}$ que representam a soma de uma coluna e a soma de uma linha respectivamente da matriz B e n o número total de setores, bem como L^* é a média de todos os elementos da matriz B . Assim podemos definir:

Índice de ligações para trás:

$$U_j = [L_{.j} / n] / L^* \quad (12)$$

Índices de ligações para frente:

$$U_i = [L_{i.} / n] / L^* \quad (15)$$

Os valores calculados são relativos à média, portanto, para ser considerado uma país chave nas emissões mundiais tanto o índice de ligação para trás quanto o para frente precisa ser maior que 1.

Resultados e discussão

Estrutura produtiva mundial e emissões de CO₂eq

Esta seção investiga a estrutura produtiva mundial, além de seu comportamento nas emissões de CO₂eq, a fim de traçar um panorama econômico do período de 2012 em relação a intensidade das emissões de gases poluentes. Dessa forma, a Tabela 1 compara a produção, em milhões de dólares, dos países e suas respectivas emissões, em mil toneladas, de dióxido de carbono equivalente para o período de 2012, com o propósito de mostrar a relação entre produção e poluição atmosférica. Foram marcados os 5 países que se destacaram na quantidade de emissão e poluição atmosférica.

Tabela 1 – Produção econômica e emissão de CO₂eq por países, 2012, (em US\$ milhões e mil Ton)

Item	Países	Valor da produção (US\$ Milhões)	%	Emissões de CO ₂ eq (Mil Ton.)	%
1	Noruega	832.712,79	0,57	53.702,58	0,17
2	Austrália	2.962.485,37	2,03	543.593,86	1,67
3	EUA	28.663.254,00	19,69	6.528.790,27	20,11
4	Países Baixos	1.613.444,13	1,11	194.254,76	0,60
5	Alemanha	6.608.792,78	4,54	924.628,11	2,85
6	Irlanda	450.359,92	0,31	57.736,27	0,18
7	Suécia	987.678,35	0,68	56.980,19	0,18
8	Suíça	1.327.569,47	0,91	51.436,66	0,16
9	Japão	11.351.477,64	7,80	1.393.114,77	4,29
10	Canadá	3.340.328,29	2,29	706.703,37	2,18
11	Coréia	3.083.803,36	2,12	685.926,00	2,11
12	Dinamarca	580.801,58	0,40	54.496,34	0,17
13	Bélgica	1.058.281,92	0,73	119.279,99	0,37
14	Áustria	764.692,79	0,53	79.916,89	0,25
15	França	4.806.515,17	3,30	490.337,17	1,51
16	Finlândia	496.080,55	0,34	62.265,18	0,19
17	Eslovênia	89.210,70	0,06	19.104,44	0,06
18	Espanha	2.524.467,55	1,73	348.927,28	1,07
19	Itália	4.024.546,71	2,76	471.609,13	1,45
20	Luxemburgo	167.672,23	0,12	11.767,93	0,04
21	Reino Unido	4.659.264,14	3,20	584.481,23	1,80
22	República Checa	491.599,40	0,34	133.472,35	0,41
23	Grécia	394.295,27	0,27	112.084,28	0,35
24	Estônia	47.221,21	0,03	20.080,57	0,06
25	Eslováquia	218.230,67	0,15	43.042,49	0,13
26	Hungria	258.209,99	0,18	60.065,36	0,19
27	Polônia	1.012.234,02	0,70	398.129,42	1,23
28	Lituânia	76.309,24	0,05	21.220,34	0,07
29	Portugal	397.564,15	0,27	66.945,45	0,21
30	Letônia	59.343,47	0,04	11.390,76	0,04
31	Rússia	3.415.630,89	2,35	2.674.245,81	8,24
32	México	2.000.442,35	1,37	658.944,00	2,03
33	Brasil	4.206.527,84	2,89	1027.739,00	3,17
34	Turquia	1.472.372,21	1,01	445.631,48	1,37
35	China	25.593.234,42	17,58	11.895.765,00	36,64
36	Indonésia	1.759.671,71	1,21	757.250,00	2,33

Fonte: Elaborada a partir de dados da ODCE e WIOD (2012)

Na Tabela 1 EUA, China, Japão, Alemanha e França juntos representam mais de 52% da produção dos países listados, destacando os EUA e a China que são as maiores potências econômicas do período com, respectivamente, 19,69% e 17,58% da produção. China, EUA, Rússia, Japão e Brasil representam mais de 72% das emissões mundiais. O que evidencia a importância deles para o controle das

alterações climáticas por atividades antrópicas, principalmente, os EUA e a China que representam mais de 57% do total de poluição atmosférica emitido no período.

Para analisar o potencial de emissão de poluentes atmosféricos de cada país, utiliza-se o coeficiente de nominado multiplicador de CO₂eq. O aumento da produção intensiva em CO₂eq de um determinado país faz com que a atividade produtiva desse país demande produção adicional de bens e serviços intermediários, também intensivos em CO₂eq, de outros países. Esse aumento da produção nos demais países causa um aumento nas emissões não só dentro do próprio país como também nos países que as estruturas produtivas estão interligadas, desempenhando um efeito em cadeia, o que causa impacto de emissões de CO₂eq mais forte na economia.

A Tabela 2 evidencia os resultados do multiplicador de CO₂eq para os 36 países listados no banco de dados do trabalho para o ano de 2012, a fim de mensurar as condições econômicas que cada país tem nas emissões de poluentes, seja de forma direta ou indireta. Também foram destacados os 5 países com o maior multiplicador e as emissões são analisadas em mil toneladas.

Tabela 2 - Multiplicador das emissões de CO₂eq na estrutura produtiva de cada país, 2012 (em mil Ton.)

Item	Países	Multiplicador CO ₂ eq	Item	Países	Multiplicador CO ₂ eq
1	Noruega	2,11	19	Itália	2,18
2	Austrália	1,94	20	Luxemburgo	3,50
3	EUA	1,74	21	Reino Unido	1,96
4	Países baixos	2,39	22	República Checa	2,19
5	Alemanha	2,14	23	Grécia	1,72
6	Irlanda	2,10	24	Estônia	1,82
7	Suécia	2,89	25	Eslováquia	2,52
8	Suíça	2,99	26	Hungria	2,14
9	Japão	1,97	27	Polônia	1,98
10	Canadá	1,88	28	Lituânia	2,10
11	Coréia	2,30	29	Portugal	1,87
12	Dinamarca	2,23	30	Letônia	2,42
13	Bélgica	2,38	31	Rússia	1,77
14	Áustria	2,23	32	México	1,64
15	França	2,06	33	Brasil	1,77
16	Finlândia	2,56	34	Turquia	1,84
17	Eslovênia	1,91	35	China	2,69
18	Espanha	1,98	36	Indonésia	1,75

Fonte: Elaborada a partir de dados da OECD (2019) e (WIOD [...], (2012).

De modo geral, observa-se que os países que apresentam estrutura produtiva com maior grau de multiplicação das emissões de CO₂eq são a Suécia (7), Suíça (8), Finlândia (16), Luxemburgo (20) e China (35). Luxemburgo detém o maior efeito multiplicador da economia mundial, visto que o aumento de mil toneladas nas emissões de CO₂eq nesse país provoca um aumento de 3.660 toneladas nas emissões nos demais países pelo efeito indireto.

Entretanto, Luxemburgo é um país com baixo nível de poluição atmosférica e nível de produção total, por isso, deve-se dar mais atenção à Suíça e a China as quais não só tem um alto efeito multiplicador como também estão entre os principais emissores de CO₂eq para o mundo.

Portanto, o multiplicador de CO₂eq indica para cada um dos países as emissões CO₂eq de forma direta e indireta. Um aumento da produção de um determinado país produz emissões de CO₂eq, tanto sobre o próprio país, quanto sobre todo os demais países da economia mundial, devido a necessidade do comércio internacional para aquisição de insumos e transportes intensivos em poluição atmosférica de outros países.

Índices de Ligação Inter-Regional Rasmussen-Hirschman

Os índices de Rasmussen-Hirschman têm sido encontrados na literatura para considerar os setores chaves na economia, neste trabalho, como os setores foram agregados em países, utiliza-se o índice para encontrar os países chaves nas emissões de CO₂eq embutido no comércio entre eles.

Os países ditos chaves são as que têm maior poder de encadeamento dentro da economia mundial no que se refere às emissões de CO₂eq. É possível determinar os países que tem o maior poder de encadeamento por meio do índice de ligação para trás que estima o quanto um país demanda insumos intensivos em CO₂eq de outros países, e o índice de ligação para frente que informa o quanto um país é demandado de insumos intensivos de CO₂eq pelos outros.

A Tabela 3 mostra os índices de ligação inter-regional de Rasmussen-Hirschman para trás e para frente dos 36 países listados para o ano de 2012. Estão destacados os países que apresentam o índice para trás e para frente superior a 1, porque para ser considerado um país com a economia chave nas emissões mundiais, tanto o índice de ligação para trás quanto o para frente precisam ser maiores que 1.

Dos países listados na Tabela 3, os considerados chaves no encadeamento de insumos intensivos em CO₂eq são a Coreia (11), República Checa (28), Grécia (23), Estônia (24), Polônia (27), Rússia (31), México (32), Brasil (33), Turquia (34), China (35) e Indonésia (36). Dentre esses países a Rússia e a China se destacam por serem as principais economias que transferem e recebem CO₂eq no comércio internacional de insumo.

O resultado de 3,17 para o índice de Rasmussen-Hirschman para trás na economia da Rússia, por exemplo, significa que no período de 2012, esta economia é demandada 3,17 vezes a média das economias por produtos intensivos em CO₂eq. A análise do índice para Rasmussen-Hirschman para frente é semelhante, por exemplo, a Rússia está demandando CO₂eq incorporado nos insumos do comércio internacional 5,07 vezes maior que a média das outras economias.

Tabela 3 - Índices de ligações inter-regionais de emissão CO₂eq, 2012

Item	Países	Trás	Frente	Item	Países	Trás	Frente
1	Noruega	0,32	0,25	20	Grécia	1,14	0,98
2	Austrália	0,83	0,79	21	Coréia	1,21	1,10
3	Irlanda	0,65	0,41	22	Eslovênia	0,95	0,76
4	Suécia	0,39	0,25	23	Portugal	0,74	0,63
5	Canadá	0,92	0,85	24	República Checa	1,37	1,19
6	Japão	0,57	0,58	25	Hungria	1,15	0,80
7	EUA	0,91	1,59	26	Polônia	1,78	1,87
8	Suíça	0,28	0,17	27	Estônia	1,79	1,50
9	Países baixos	0,68	0,54	28	Lituânia	1,35	0,92
10	Finlândia	0,74	0,52	29	Lavívia	1,08	0,77
11	Luxemburgo	0,59	0,23	30	Eslováquia	1,16	0,75
12	Bélgica	0,63	0,48	31	México	1,24	1,12
13	Áustria	0,55	0,43	32	Brasil	1,00	1,02
14	Dinamarca	0,50	0,35	33	Rússia	3,17	5,04
15	França	0,49	0,52	34	China	2,88	4,22
16	Itália	0,60	0,64	35	Turquia	1,29	1,23
17	Reino Unido	0,57	0,68	36	Indonésia	1,75	1,72
18	Espanha	0,65	0,63	37	Outros países não especificados	0,39	0,33
19	Alemanha	0,69	1,11				

Fonte: Elaborada a partir de dados da OECD (2019) e (WIOD [...], (2012).

Portanto, pode-se inferir que as cinco economias mais desenvolvidas têm os índices de ligação, tanto para frente como para trás, menores que as cinco economias menos desenvolvidas, o que indica que os países como a Rússia, México, Brasil, Turquia, China e Indonésia demandam insumos com maior intensidade de CO₂eq incorporado e ofertam produtos com maior teor de CO₂eq que os países mais desenvolvidos.

Também se observa que a Rússia e a China, que recebem o status de principais países chaves para redução de CO₂eq, apontam que o índice de ligação inter-regional na venda de insumos intensivos em CO₂eq (efeito para frente) é maior que na compra (efeito para trás), isso ocorre, devido ao tamanho dessas economias e por serem muito demandadas pelo resto do mundo.

Conclusão

O desenvolvimento industrial trouxe para sociedade uma melhora na qualidade de vida através da maior quantidade e diversidade de bens e serviços disponíveis. Entretanto o crescimento econômico exerce pressão sobre o meio ambiente, principalmente com a poluição atmosférica que tem graves consequências no clima. Em vista disso, o trabalho busca responder qual o impacto da estrutura produtiva

mundial sobre as emissões de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq). Para isso calcula-se o efeito multiplicador e as relações inter-regionais.

Através dos dados desta pesquisa é possível afirmar que os países com maior volume de produção são os EUA, China, Japão, Alemanha e França, juntos representam mais de 52% da produção dos 36 países listados nesta pesquisa. Os países com maior volume de emissão de CO₂eq mundial são a China, EUA, Rússia, Japão e Brasil, os quais representam mais de 72% das emissões totais dos países analisados.

Os países que apresentam estrutura produtiva com maior grau de multiplicação das emissões de CO₂eq são a Suécia, Suíça, Finlândia, Luxemburgo e China. Visto que o aumento de mil toneladas nas emissões de CO₂eq nesses países provocam um aumento de 2,59 a 3,66 mil toneladas nas emissões em todos os países pelo efeito em cadeia.

A Rússia e a China são as principais economias no encadeamento de insumo intensivos em CO₂eq, demandando, respectivamente, 3,2 e 2,9 vezes a mais que a média e ofertando 4,9 e 3,9 vezes a mais que a média. Além disso, os cinco países mais desenvolvidos têm o índice de ligação menor que os cinco países menos desenvolvidos, indicando que países como a Rússia, México, Brasil, Turquia, China e Indonésia procuram e ofertam insumos com maior teor de CO₂eq incorporado que os países mais desenvolvidos.

A discussão de quais políticas poderiam surtir mais efeitos para combater a transferência de poluição atmosférica entre os países e a produção mais eficiente em termos de emissões nos países em desenvolvimento não foi abordada neste trabalho, podendo ficar como sugestão para discussões em trabalhos posteriores.

Referências

ABRAMOVAY, R. Desenvolvimento sustentável: qual a estratégia para o Brasil?.

Novos Estudos Cebrap, São Paulo, n. 87, p. 97-113, 2010. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1590/s0101-33002010000200006>.

ACKERMAN, F.; ISHIKAWA, M.; SUGA, M. The carbon content of Japan–US trade.

Energy Policy, [s. l.], v. 35, n. 9, p. 4455-4462, 2007. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2007.03.010>.

AHMAD, N.; WYCKOFF, A. Carbon dioxide emissions embodied in international trade of goods. **OECD**, Paris, n. 3, p.1-65, 2003. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1787/421482436815>.

ANDRADE, J. C. S.; COSTA, P. Mudanças climáticas, protocolo de Kyoto e mercado de crédito de carbono: desafios à governança ambiental global. **O&S**, Salvador, v.

15, n. 45, p. 29-45, 2008. Disponível em:

<https://repositorio.ufba.br/ri/Bitstream/ri/1607/1/O%26S-2008-372.pdf>. Acesso em: 16 out. 2018.

CASLER, S. D.; BLAIR, P. D. Economic structure, fuel combustion, and pollution emission. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 22, n. 1, p. 19-27, July 1997.

CHIANG, A.; WAINWRIGHT, K. **Matemática para economistas**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

DU, H.; GUO, J.; MAO, G.; SMITH, A. M.; WANG, X.; WANG, Y. CO₂ emissions embodied in China–US trade: Input–output analysis based on the energy/dollar ratio. **Energy Policy**, Amsterdam, v. 39, n. 10, p. 5980-5987, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.060>

FRANÇA, C. I. F.; SESSO FILHO, U. A.; ZAPPAROLI, I. D. Zona do euro: estrutura produtiva e emissões de gases do efeito estufa. **GEOSUL**, Florianópolis, v. 33, p. 118-139, 2018.

GODOY, S. G. M.; PAMPLONA, J. B. O protocolo de Kyoto e os países em desenvolvimento. **Pesquisa & Debate**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 329-353, 2007. Disponível em: <http://revistas.pucsp.br/index.php/rpe/article/view/11774>. Acesso em: 16 out. 2018.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.

GREENPEACE. **Energias renováveis contra o aquecimento global**. [S. l.: s. n.], [2018]. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/O-que-fazemos/Clima-e-Energia/?gclid=CK3-wY36rdMCFUSAkQodcRUMKg>. Acesso em: 18 abr. 2018.

GUILHOTO, J.; SESSO FILHO, Umberto Antonio. Estimação da matriz insumo-produto utilizando dados preliminares das contas nacionais: aplicação e análise de indicadores econômicos para o Brasil em 2005 2010. **Economia & Tecnologia**, Campinas, v. 23, n. 6, p. 53-62, out./dez. 2010.

HAYAMI, H.; NAKAMURA, M. Greenhouse gas emissions in Canada and Japan: Sector-specific estimates and managerial and economic implications. **Journal Of Environmental Management**, Los Angeles, v. 85, n. 2, p. 371-392, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.10.002>.

HETHERINGTON, R. An input-output analysis of carbon dioxide emissions for the UK. **Energy Conversion Management**, [s. l.], v. 37, n. 6-8, p. 979-984, jun. 1996.

HILGEMBERG, E. M. **Quantificação e efeitos econômicos do controle de emissões de CO₂ decorrente do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo no Brasil**: um modelo inter-regional de Insumo – Produto. 2005. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2005.

FIELD, C.B.; BARROS, V. R. (ed.). **Alterações climáticas 2014**: impactos, adaptação e vulnerabilidade. Lisboa: IPMA, 2014.

ISARD, W. Interregional and regional input-output analysis: a model of a space-economy. **The Review of Economics and Statistics**, Cambridge, v. 33, n. 4, p. 318-328, 1951.

LABANDEIRA, X.; LABEAGE, J. M. Estimation and controlo f Spanish energy-related CO₂ emissions: an input-output approach. **Energy Policy**, Guildford, v. 30, n. 7, p. 597-611, June 2002.

LEONTIEF, W. **A economia do insumo-produto**. 3. ed. São Paulo: Nova cultural, 1988.

LEONTIEF, W. **The structure of the American economy**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 1951.

LIMA, M. A. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidade e desafios. **Caderno de Ciências e Tecnologia**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 451-472, 2002. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8816>. Acesso em: 15 fev. 2018.

LOPES, Luiz Martins; VASCONCELLOS, Marco Antonio Sandoval de. **Manual de Macroeconomia: nível básico e nível intermediário**. 3. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2008. 512 p.

MACHADO, G. V. **Meio ambiente e comércio exterior: impacto da especialização comercial brasileira sobre o uso de energia e as emissões de carbono do país**. 2002. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

MILLER, R.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

MORETTO, A. C. **Relações intersetoriais e inter-regionais na economia paranaense em 1995**. 2000. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

NAKANO, S.; OKAMURA, Asako; SUZUKI, Masayuki; SAKURAI, Norihisa. The Measurement of CO₂ Embodiments in International Trade. **Oecd Science, Technology and Industry Working Papers**, [s. l.], p.1-40, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/227026518048>.

OLIVEIRA, M. S. **Análise da intensidade de emissões de gases de efeito estufa na demanda final brasileira através do modelo insumo-produto**. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) - Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciências de Informação e Documentação, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

OECD, 2019. Organization for Economic Co-Operation and Development. Disponível em: <https://stats.oecd.org/>. Acessa em: 10 nov. de 2018.

PEDROSO, F. P. Variações dos gases do efeito estufa (GEE): um estudo por meio da decomposição da matriz insumo, produto do mundo de 1995 a 2009. **RACRE**, Espírito Santo do Pinhal, v. 20, p. 61 - 81, 2016.

SHUI, B.; HARRISS, R. C. The role of CO₂ embodiment in US–China trade. **Energy Policy**, Guildford, v. 34, n. 18, p. 4063-4068, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2005.09.010>.

SILVA, C. E. O; GHINI, R. Efeito da concentração de CO₂ do ar sobre a severidade e esporulação de *cylindrocladium scoparium* em folhas destacadas de eucalipto. *In*: WHORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. **Anais [...]**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012.

SILVA, R. W. C.; PAULA, B. L. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terrae Didactica**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 42, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/td.v5i1.8637501>.

SOUZA, A. M.; ZAPPAROLI, I. D.; SESSO FILHO, U. A.; BRENE, P. Estrutura produtiva do Brasil, Rússia, Índia e China (BRIC) e seus Impactos nas emissões de dióxido de carbono. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 1, p. 10-15, 2015.

SU, B.; ANG, B. W. Multi-region input–output analysis of CO₂ emissions embodied in trade: the feedback effects. **Ecological Economics**, Paris, v. 71, p. 42-53, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.024>

TIMMER, M. P. (ed.). **The world input-output database (WIOD): contents, sources and methods**. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <http://www.wiod.org/database/index.htm>. Acesso em: 18 abr. 2018.

UNITED NATIONS. Framework Convention on Climate Change. **Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015**. Geneva: United Nations, 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2018.

WIOD 2013 Release. Vienna: WIIW, 2012. Disponível em: <https://www.rug.nl/ggdc/valuechain/wiod/wiod-2013-release>. Acesso em: 10 ago. 2018.

YAMANO, N.; GUILHOTO, J. CO₂ emissions embodied in international trade and domestic final demand: methodology and results using the oecd inter-country input-output database. **OECD Science**, Boulogne, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1787/8f2963b8-en>

ZAPPAROLI, I. D.; SOUZA, Adriano Martins; SESSO FILHO, Umberto Antonio; BRENE, Paulo Rogério Alves; CÂMARA, Márcia Regina Gabardo. Análise dos transbordamentos nas emissões de dióxido de carbono: Brasil, Rússia, Índia e China - BRIC. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 48, p. 149-164, 2018.

ZHANG, Z.; GUO, J.; HEWINGS, G. J. The effects of direct trade within China on regional and national CO₂ emissions. **Energy Economics**, Amsterdam, v. 46, p. 161-175, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2014.09.011>