

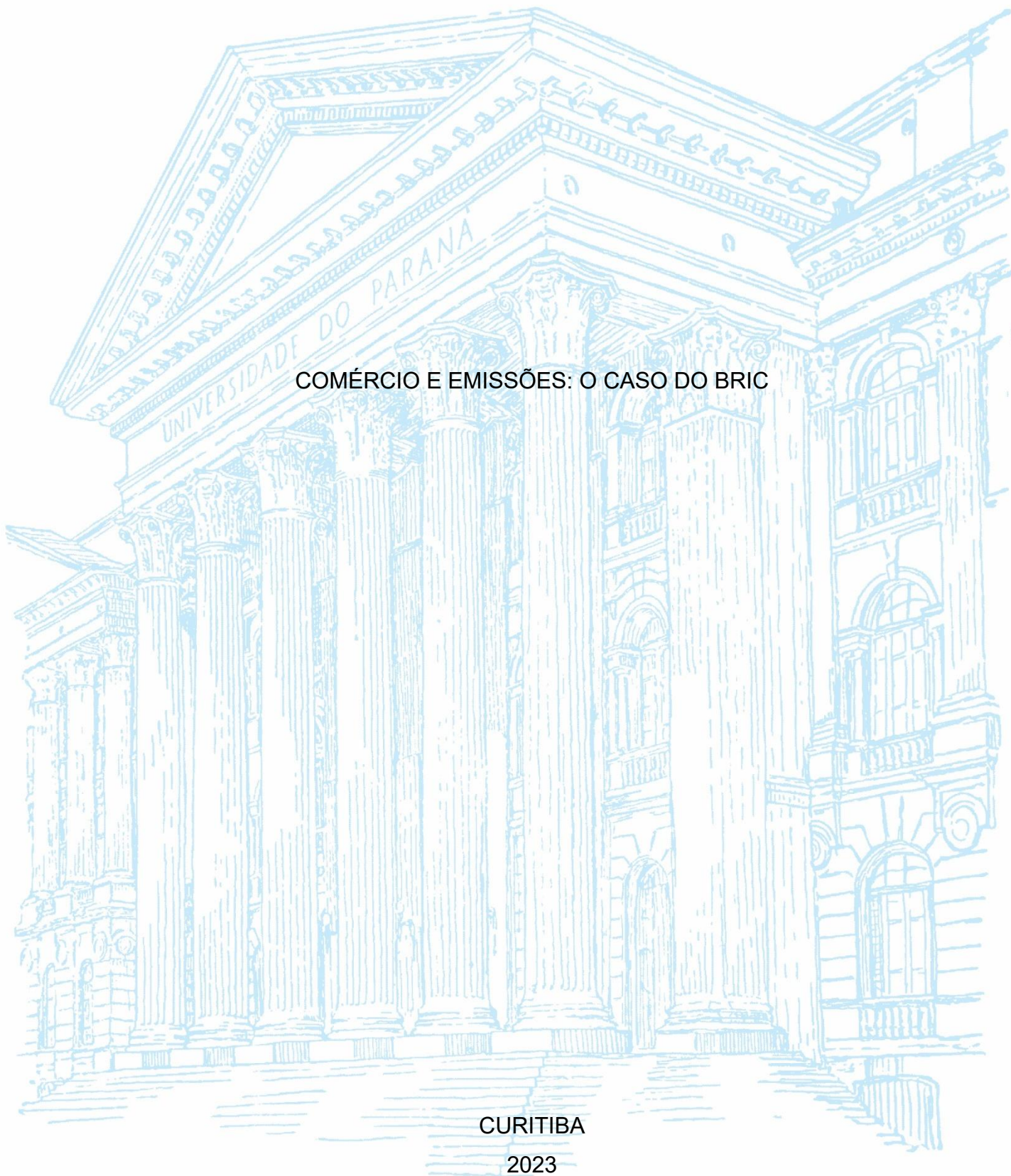
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ILLIAN CURVELLO FERREIRA

COMÉRCIO E EMISSÕES: O CASO DO BRIC

CURITIBA

2023



ILLIAN CURVELLO FERREIRA

COMÉRCIO E EMISSÕES: O CASO DO BRIC

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Vinicius de Almeida Vale

CURITIBA

2023

RESUMO

Este trabalho analisa as emissões de CO₂ incorporadas nos fluxos de comércio dos países do BRIC por meio da metodologia de extração hipotética com as matrizes de insumo-produto para os anos de 2000 e 2014 da WIOD. Além disso, com as evidências científicas da mudança do clima e da necessidade de reduzir as emissões de GEE para conter os eventos climáticos extremos e o aumento da temperatura média do planeta, que colocam em risco a vida na Terra, o trabalho destaca a importância do BRIC para a mitigação desses riscos devido sua relevância no comércio internacional e o elevado nível de emissão nos países que pertencem ao bloco. Assim, o trabalho explora a trajetória de cada país, demonstrando a evolução no perfil de emissões dos países do BRIC, destacando os principais parceiros comerciais e quais dentre eles estimulam mais as emissões de GEE.

Palavras-chave: Valor adicionado; Emissões de carbono; Extração hipotética; World Input-Output Database; BRIC.

ABSTRACT

This study analyzes the CO₂ emissions incorporated in the BRIC trade flows through the methodology of hypothetical extraction with the input-output matrices for the years 2000 and 2014 of the WIOD. In addition, with scientific evidence of climate change and the need to reduce greenhouse gas emissions to contain extreme weather events and the increase in the average temperature of the planet, which put life on Earth at risk, this study highlights the importance of the BRIC to mitigate this risk due to its relevance in international trade and the high level of emissions in the countries that belong to the acronym. Thus, the trajectory of each country was explored, demonstrating the evolution in the emissions profile of the BRIC countries, highlighting the main trading partners and which among them stimulate GHG emissions the most.

Keywords: Value added; Carbon emissions; Hypothetical extraction; World Input-Output Database; BRIC.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E EXTERNALIDADES AMBIENTAIS	8
2.2 EMISSÕES E CONCENTRAÇÃO DOS GASES DO EFEITO ESTUFA NO BRIC....	10
2.2.1 Brasil.....	11
2.2.2 Rússia.....	13
2.2.3 Índia	15
2.2.4 China	17
3 METODOLOGIA E BASE DE DADOS	19
3.1 MODELO DE INSUMO-PRODUTO	19
3.2 MODELAGEM DAS EMISSÕES DE CO2	24
3.3 BASE DE DADOS	25
4 RESULTADOS	26
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Com o Protocolo de Kyoto, criado em 1997, intensificaram-se as discussões em torno das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) por meio da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC, na sigla em inglês), no qual estabelece metas de redução de emissões para países desenvolvidos. Assim, o objetivo central do Protocolo de Kyoto era limitar ou reduzir as emissões de GEE.

Nesse contexto, a rápida industrialização, que melhorou os padrões de vida das pessoas, mas com o consumo de uma grande quantidade de energia fóssil, levou a um aumento significativo das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e, em decorrência, uma maior preocupação com o aquecimento global. Além disso, juntamente com o processo de industrialização, o comércio internacional promoveu efetivamente o crescimento da economia mundial e permitiu que os países potencializassem suas vantagens comparativas, mas também levou a um padrão de comércio internacional com uma estrutura centro-periferia e, conseqüentemente, variações regionais nas emissões de CO₂.

Dessa maneira, junto com o desenvolvimento econômico, aumentou-se também o impacto negativo sobre o meio ambiente, no qual as principais preocupações se referem às emissões de GEE, sobretudo as emissões de CO₂, já que a poluição atmosférica pode resultar em aumento da temperatura média do planeta, contribuindo com o processo de aquecimento global. Assim, a crescente importância da problemática ambiental, decorrente da poluição, tem acelerado os esforços para incorporação da dimensão ambiental nas propostas de desenvolvimento social e econômico. Ou seja, há uma pressão para incorporação de uma governança ambiental, social e corporativa.

Nesse sentido, segundo Evans (2021), com o aumento da pauta ambiental, países em desenvolvimento, como Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (BRICS), apresentam um contraste aos países desenvolvidos. Esses países assumiram o papel de produzir grandes quantidades de bens de consumo baratos e intensivos em carbono e, conseqüentemente, foram, em muitos casos, responsabilizados por tais emissões.

Então, observa-se a existência de dois problemas principais relacionadas às emissões globais de carbono e comércio internacional. Primeiro, a troca de

mercadorias pode levar a disputas sobre as responsabilidades de redução de emissões de carbono, já que há emissões incorporadas aos produtos que são comercializados por meio do comércio internacional. Ou seja, cria-se uma discussão relacionada às responsabilidades pelo lado do produtor ou pelo lado do consumidor.

Em segundo, barreiras comerciais relacionadas às questões ambientais podem impactar o sistema de livre comércio. Em outras palavras, países desenvolvidos que já atingiram o pico de emissões e já implementaram estratégias de neutralização com altos custos de produção podem querer proteger suas empresas. Os países desenvolvidos podem introduzir, por exemplo, tarifas de carbono ou elevar os padrões de proteção ambiental, estabelecendo obstáculos ao comércio internacional.

Nesse contexto, as economias ainda em desenvolvimento, orientadas para a exportação, enfrentam uma progressiva pressão para reduzir suas emissões. Os países exportadores, por outro lado, podem exigir que os países importadores assumam mais responsabilidades pelas emissões de carbono, o que pode aumentar as disputas internacionais de responsabilidade pelas emissões e os atritos comerciais.

Grupos econômicos, como o BRICS, representam papel chave nas disputas internacionais na obtenção de vantagens e menores barreiras ao comércio. O BRICS possui potencial, por exemplo, para ser o maior fornecedor mundial de produtos agrícolas, minerais e industriais devido a capacidade produtiva diversificada. Além disso, a contribuição dos países do grupo para a economia e comércio mundial é de aproximadamente 15% e 22%, respectivamente (BAUMANN; ARAÚJO; FERREIRA, 2010).

Vale ressaltar que a nomenclatura BRIC, lançada, inicialmente, por Jim O'Neill, se referia aos países que estavam em rápido desenvolvimento econômico e não eram potências globais, como Brasil, Rússia, Índia e China. Posteriormente, foi adicionado o "S" em referência à África do Sul (O'NEILL, 2001).

O economista acreditava que essas nações emergentes eram o futuro. Em linha com a relevância dessas economias, segundo Baumann, Araújo e Ferreira (2010), os países do BRIC representam, em conjunto, mais de 25% da área terrestre do planeta e mais de 40% da população mundial, sendo que essa concentração gera implicações sobre o aparato produtivo, tanto pela disponibilidade de mão de obra, quanto pela dimensão da demanda.

Nesse contexto, este trabalho concentra-se na análise das emissões de CO₂ e do Valor Adicionado dos países do BRIC incorporadas aos fluxos de comércio nos anos de 2000 e 2014. Para tal, utiliza-se a metodologia de insumo-produto e extração hipotética com a base de dados da World Input-Output Database (WIOD) e dados de CO₂ da Comissão Europeia.

Além desta Introdução, este trabalho está dividido em mais quatro capítulos. O segundo capítulo apresenta uma breve revisão da literatura sobre os desdobramentos das emissões de GEE. O terceiro detalha os aspectos metodológicos e base de dados. O quarto apresenta e discute os resultados. Por fim, o último capítulo traz as considerações finais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E EXTERNALIDADES AMBIENTAIS

A visão dos teóricos defensores do livre comércio, isto é, desde David Ricardo e Adam Smith, era que a redução das barreiras comerciais resultaria em ganhos de bem-estar para todos os agentes. No entanto, como até meados do século XX a questão ambiental não tinha destaque e ficava a margem na agenda econômica internacional, os modelos empregados para estimar variações no bem-estar atrelados ao processo de maior liberdade comercial raramente incorporavam o meio ambiente em suas análises.

Porém, com a projeção de cenários ambientais catastróficos, a necessidade de repensar as fontes de energia tradicionalmente empregadas na atividade econômica ganhou força e os argumentos favoráveis ao livre comércio passaram a ser questionados.

Assim, o debate acerca do impacto do comércio internacional e sua relação com o meio ambiente surge essencialmente a partir de sua associação ao crescimento econômico. Em suma, devido ao meio ambiente ser fonte e destino comum das externalidades da atividade econômica, o aumento no nível global de produção tende a gerar maior pressão sobre os recursos naturais gerando externalidades negativas. Isto é, com o aumento dos níveis de produção, há também uma crescente demanda sobre os recursos naturais e externalidades negativas advindas da produção e, posteriormente, do consumo (FEIX et al., 2010).

Nesse contexto, as análises de emissões derivadas da queima de combustíveis fósseis e modelos de emissões de energia se concentraram em economias industrializadas, onde as emissões foram altas (Estados Unidos e países da União Europeia), e em países em rápida industrialização, como a China e a Índia. No entanto, desde 2010, a maior parte do crescimento das emissões globais ocorreu em países subdesenvolvidos e emergentes. Ao longo de 2010 e 2018, todos os países com uma taxa de crescimento de emissões superior à média mundial foram economias em desenvolvimento (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2019; NAÇÕES UNIDAS, 2020).

Por sua vez, os países em desenvolvimento enfrentam vários desafios, como os altos custos de adaptação às mudanças climáticas e uma dotação de tecnologias

mais fraca. Ao mesmo tempo, precisam sustentar o crescimento econômico para gerar empregos e tirar as pessoas da pobreza. Esse crescimento, na maioria das vezes, está atrelado ao aumento de emissões de CO₂. Portanto, é importante levar em consideração o comércio internacional e sua relação com as externalidades ambientais.

Também vale ressaltar que, no período de 1995 a 2009, os Estados Unidos apresentaram uma redução nas emissões, enquanto os países em desenvolvimento, como Brasil, Rússia, China e Índia, apresentaram um comportamento de acréscimo com o decorrer dos anos. Em outras palavras, nota-se que há contraste entre as regiões em desenvolvimento e as regiões desenvolvidas. Países em desenvolvimento evidenciam que a maior intensidade de emissão está associada ao seu desenvolvimento econômico.

Nesse contexto, Shin (1998) aborda a questão das responsabilidades dos países desenvolvidos e em desenvolvimento nas emissões de GEE. Conforme abordado pelo autor, cada país sabe que a mudança climática não é desejável e pode causar danos graves ao meio ambiente, porém, destaca que não é do interesse dos mesmos conter a atividade econômica, isto é, os agentes não estão dispostos a reduzir as emissões em detrimento da atividade econômica.

A análise da poluição incorporada nos fluxos de comércio, então, torna-se necessária devido à expansão e à globalização acelerada das economias mundiais, onde o uso de bens finais e insumos de produção que um país necessita não são necessariamente produzidos pelo próprio país.

Nesse sentido, algumas métricas são combinadas como o Modelo de Insumo-Produto e com a abordagem de Pegada Ecológica. Wackernagel e Rees (1996) sugeriram uma métrica, conhecida como Pegada Ecológica, e definiram um indicador que estabelece o impacto das pessoas, dos processos e das atividades sobre as áreas de terras produtivas necessárias para produzir recursos e assimilar os resíduos produzidos. Nesse contexto, foram consideradas somente as áreas produtivas, excluindo desertos, geleiras permanentes, florestas protegidas, áreas urbanizadas e áreas de absorção de CO₂ e resíduos. Por sua vez, o indicador é expresso em hectares, resultado do cálculo da área produtiva necessária para satisfazer a necessidade do indivíduo, da população, da cidade, região ou país.

A análise de Insumo-Produto ambientalmente ampliada, por sua vez, integra dados físicos sobre o uso de materiais com informações estruturais sobre os fluxos

de oferta e demanda dentro das economias. Esse tipo de análise usa Matrizes de Insumo-Produto (MIP) estendidas para incluir informações ambientais, tais como o uso de recursos naturais ou impactos ambientais, como emissões, de cada setor. Uma vez incluídos os fatores ambientais, eles podem ser tratados da mesma forma que trabalho e capital na estrutura de insumo-produto, ou seja, podem ser derivados coeficientes por unidade de produção e, por meio das transações entre os setores (demanda intermediária), podem ser alocados ao consumo final (LEONTIEF, 1970).

Juntamente com a Pegada Ecológica, a principal vantagem da análise de Insumo-Produto é que ela permite o cálculo de Pegadas Ambientais para todos os produtos ou setores, inclusive aqueles com cadeias de globais complexas, já que todo o sistema econômico é incluído nos cálculos. No caso das matrizes multirregionais de insumo-produto, também é possível considerar diferentes intensidades de usos de materiais em diferentes países (WIEDMANN et al., 2007).

2.2 EMISSÕES E CONCENTRAÇÃO DOS GASES DO EFEITO ESTUFA NO BRIC

Até 2100, espera-se que o aumento da temperatura global (em comparação com os níveis pré-industriais) ultrapasse a meta limite de 1,5°C, determinada no Acordo de Paris de 2015. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), as emissões globais precisam ser reduzidas pela metade na próxima década, com emissões líquidas zero alcançadas em meados do século, para limitar o aumento da temperatura global em 1,5°C.

Em 1990, os principais países que emitiram CO₂, em relação ao total mundial, foram os Estados Unidos (23%), Japão (5,72%), países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (24%), Brasil (0,94%), Rússia (3,80%), Índia (3,00%) e China (11,00%). Até 2007, as emissões dos Estados Unidos e do Japão haviam caído para 22,00% e 5,00%, respectivamente.

Nos países do BRIC, por outro lado, era observado uma tendência de aumento, com a China representando 16,00%, a Índia 5,00%, o Brasil 1,15% e a Rússia 6,00%. Além do aumento de suas emissões, os países do BRIC são caracterizados por transformações substanciais nas áreas socioeconômicas, na industrialização, no estímulo populacional, no crescimento liderado pelas exportações e reformas tecnológicas que afetam o crescimento doméstico, as emissões e as capacidades de inovação (BANCO MUNDIAL, 2015).

2.2.1 Brasil

O Brasil tem um perfil de emissões diferente dos demais países do BRIC. Primeiro, as emissões brasileiras do setor de uso da terra e florestas foram as mais relevantes no total de emissões em 2000 e segue com grande participação em 2014, ocupando o terceiro lugar, apresentando níveis abaixo dos registrados nos setores de agricultura e energia. Segundo, as emissões derivadas da geração de energia são menos relevantes no total, comparadas às emissões dos demais países do BRIC, mas aumentaram em números absolutos e relativos. Terceiro, o setor de agricultura também tem papel relevante e ascendente nas emissões, ainda que menor do que o do setor de energia em 2014. Por fim, as emissões de processos industriais e resíduos também cresceram no período, mas ainda somaram menos de 10% do total de emissões em 2014.

TABELA 1 – PARTICIPAÇÃO DOS SETORES NAS EMISSÕES DO BRASIL – 2000 E 2014

Setores	Emissões 2000 (MtCO ₂ e)	Do total de 2000 (%)	Emissões 2014 (MtCO ₂ e)	Do total de 2014 (%)
Agricultura	379,72	20,99%	495,01	35,74%
Energia	317,23	17,53%	520,12	37,55%
Processos industriais	25,25	1,40%	35,65	2,57%
Uso da terra e florestas	1041,43	57,56%	266,89	19,27%
Resíduos	45,55	2,52%	67,32	4,86%
Total	1809,18	100%	1384,99	100%

Fonte: Adaptado de *Climate Watch Data* (2022).

A diferença do perfil de emissões do Brasil se dá porque a matriz energética do país é muito diferente da mundial. Apesar do consumo de energia de fontes não renováveis ser maior do que o de renováveis, utiliza-se mais fontes renováveis que no restante do mundo. Somando lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis, as fontes renováveis totalizam 44,8%, quase metade da matriz energética brasileira (EPE, 2022).

Embora o nível de emissões totais de CO₂ do Brasil tenha sido relativamente baixo entre os países do BRIC, o volume das emissões por Produto Interno Bruto (PIB) é o segundo maior, caracterizando, portanto, uma economia intensa em carbono. Isso alerta que o Brasil precisa usar mais energia renovável em vez de energia fóssil em seu desenvolvimento. O Brasil possui consideráveis recursos de energia renovável, especialmente hidrelétricas.

Na década de 1970, a energia hidrelétrica poderia suprir 20% do consumo total de energia no Brasil, o que era extremamente alto para energia renovável. A maior parte dessa energia foi gerada na região sudeste do Brasil. Enquanto isso, a energia eólica não era explorada para gerar eletricidade, e a energia solar era usada apenas para secar a soja (HAMMOND, 1977; GOLDEMBERG, 1978).

Na década de 1990, foram instalados os primeiros anemógrafos e sensores controlados por computador para energia eólica do Brasil. A partir dos dados recolhidos, foram construídas turbinas eólicas, contribuindo substancialmente para a redução das emissões de CO₂. A energia hidrelétrica também se desenvolveu rapidamente, mas suas conquistas foram feitas à custa do meio ambiente. A construção de barragens causou graves inundações e causou danos substanciais às florestas do Brasil (FEARNSIDE, 2001).

De 2001 a 2011, o consumo total de energia renovável do Brasil continuou a crescer a uma velocidade moderada, atingindo o pico de 463.272.000 Megawatt-hora (MWh) em 2011. No final de 2010, 47,3% da energia primária do país era renovável, superando a média mundial de 13% (DUAILIBE, 2011).

Em 2008, o Brasil promulgou o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, em que define ações e medidas voltadas à mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Um dos principais objetivos do Plano era manter a alta participação de energia renovável na matriz elétrica. Com esse objetivo, estabeleceu-se uma meta de ter mais de 80% da base de energia proveniente de fontes renováveis até 2030.

Em 2014, a seca reduziu os reservatórios hidrelétricos do Brasil em mais de 60%. Também havia 11 Megawatt (MW) de capacidade solar instalada em 2014, e o governo planejou aumentar o número para 3.500 MW até 2018, porém atingiu 2.400 MW. No que se refere à energia eólica, embora a participação na geração total de energia tenha sido pequena, a energia eólica no Brasil também obteve conquistas importantes no período de 2000 a 2010. Em 2011, com 1.000 MW de capacidade eólica instalada, o Brasil ocupava o primeiro lugar na América do Sul.

Por sua vez, o Plano Nacional de Energia (PNE), lançado em 2007, visou atingir os seguintes objetivos até 2030: aumentar a participação da eletricidade derivada de usinas eólicas e de bagaço de cana-de-açúcar; adicionar uma série de projetos hidrelétricos à rede elétrica; expandir a indústria solar fotovoltaica; promover o uso de aquecedores solares de água no setor residencial; bem como estabelecer pesquisas sobre produção de energia a partir de resíduos sólidos.

O Plano incentiva ainda os usuários industriais a aumentarem o consumo médio de etanol em 11% nos próximos 10 anos; antecipa a exigência de mistura de 5% de biodiesel de 2013 para 2010; e apoia a criação de um mercado internacional de biocombustíveis (EPE, 2022).

Além disso, o PNE também determina que seja criado um Plano de Ação Nacional de Eficiência Energética para reduzir o consumo de eletricidade em 10% até 2030 e estabelecer outras medidas, como incentivos à substituição de equipamentos elétricos antigos por equipamentos modernos, e criar melhorias na eficiência energética da indústria, transportes e edifícios. O PNE também promove o aumento sustentável da utilização de biocombustíveis na rede nacional de transportes e estabelece medidas de adaptação às alterações climáticas (EPE, 2022).

2.2.2 Rússia

A Federação Russa foi criada em 1991 após a dissolução da União Soviética. Devido à recessão pós-soviética, o investimento em infraestrutura no país também caiu. Isso colocou grandes problemas para o desenvolvimento de energia renovável na década de 1990.

Conforme dados da Tabela 2, é possível observar que a Rússia apresentou uma diminuição de 10,54% nas suas emissões entre 2000 e 2014, mas em razão de diminuição de atividade econômica, e não por ganhos de eficiência ou descarbonização. O setor de agricultura diminuiu no período sua participação relativa, enquanto a participação de processos industriais e resíduos aumentaram em termos absolutos. O setor de uso da terra e florestas apresentou emissões negativas desde 2000, porém, desde 2014, verifica-se um aumento de participação em razão do corte de madeira para suprir a demanda mundial.

TABELA 2 – PARTICIPAÇÃO DOS SETORES NAS EMISSÕES DA RÚSSIA – 2000 E 2014

Setores	Emissões 2000 (MtCO ₂ e)	Do total de 2000 (%)	Emissões 2014 (MtCO ₂ e)	Do total de 2014 (%)
Agricultura	110,12	6,07%	97,07	5,99%
Energia	1926,92	106,29%	2033,7	125,39%
Processos industriais	55,84	3,08%	61,08	3,77%
Uso da terra e florestas	-363,24	-20,04%	-680,49	-41,96%
Resíduos	83,23	5,00%	110,49	7,00%
Total	1812,87	100%	1621,85	100%

Fonte: Adaptado de *Climate Watch Data* (2022).

Até 1994, não havia consumo de energia renovável, exceto hidrelétricas. Em 1994, a concessionária de energia elétrica regional de Kalmykia reconheceu a importância da energia renovável e utilizou tecnologia doméstica para construir um parque eólico de 22 MW.

No entanto, no início da década de 1990, o financiamento de pesquisa em energia renovável do governo diminuiu, pois o desenvolvimento de energia renovável foi negligenciado pelo governo russo em favor de outras indústrias. Os subsídios eram insuficientes, de modo que faltavam incentivos para investir em produtos solares domésticos.

Havia outras barreiras em termos de transações e mercados, embora as *joint ventures* encontrassem métodos para superar algumas das principais barreiras. Nas *joint ventures*, as empresas estrangeiras forneceram capital, negócios e *marketing*, enquanto as empresas russas forneceram informações por meio de redes de contato personalizadas. Exemplos de sucesso são a *joint venture* Windenergo e a *joint venture* Sovlux US-Russian em Moscou (MARTINOT, 1999).

A Rússia é a 2º maior produtora e exportadora mundial de petróleo; a 2º maior produtora e a maior exportadora de gás natural; e a 3º maior exportadora mundial de carvão. O gás natural respondeu, em 2019, por 45,89% da eletricidade russa. A Rússia também é uma economia intensiva em energia, com 186,74 quilograma(kg) de petróleo equivalente a cada US\$ 1,000 em 2014 (BANCO MUNDIAL, 2022). Além disso, é uma das maiores exportadoras de energia do mundo. De fato, quando somadas as exportações de três hidrocarbonetos (carvão, petróleo e gás natural), a Rússia é a maior exportadora mundial de combustíveis fósseis. Assim, a energia não é apenas um meio para o desenvolvimento e uma necessidade para o bem-estar da população russa; é um negócio nacional com proporções globais (IEA, 2021).

Vale salientar também que a Rússia é o único país dos BRICS que está no Anexo I da UFCCC, isto é, com obrigações de redução de emissões no Protocolo de Kyoto. Durante as negociações do Protocolo, o objetivo da Rússia era maximizar as vendas de créditos de carbono para outros países desenvolvidos. O desenvolvimento real da política climática moderna na Rússia começou depois que ela ratificou o Protocolo de Kyoto em 2005. Desde então, o país desenvolveu de forma mais consistente sua política de mudança climática. A decisão da Federação Russa de ratificar foi essencial para o regime internacional de proteção do clima. Vale destacar que a Rússia atingiu suas primeiras metas do período de compromisso sob o Protocolo de Kyoto devido à crise econômica da década de 1990. Com efeito, uma diminuição do PIB conduziu a uma redução das emissões de CO₂.

A Rússia e a União Europeia começaram a trabalhar juntas para explorar os enormes recursos de energia renovável no noroeste da Rússia. Também instalou vários geradores eólicos nesta área, que possui abundantes recursos eólicos. Em 2014, enormes geradores eólicos foram construídos nas margens de Oktyabrsky, região do extremo leste da Rússia. Em 2015, as turbinas eólicas supriam 30% das necessidades de eletricidade em Oktyabrsky. A energia solar da Rússia também obteve conquistas significativas: a primeira fazenda solar em Batagai conservou grandes quantidades de energia fóssil (CLARK; ELKIN, 2015).

2.2.3 Índia

A Índia é a 2^o maior produtora e importadora mundial de carvão e, assim como a China, utilizava grande parte para geração de eletricidade, representando 72,72% do total produzido em 2019. A economia indiana é intensiva em energia, com 124,41 kg de petróleo equivalente a cada US\$ 1,000 (IEA, 2021).

O perfil das emissões indianas de GEE, conforme Tabela 3, aumentaram 101,95% entre 2000 e 2014. A agricultura é o setor com maior participação no total, e seu peso relativo aumentou no período. Em segundo lugar, tem-se o setor de energia, cuja participação diminuiu consideravelmente. As emissões de processos industriais e resíduos também aumentaram entre 2000 e 2014, mas bastante baixas em termos proporcionais. O setor de uso da terra e florestas teve emissões negativas, mas elas são cada vez menores, em números absolutos e em participação relativa.

TABELA 3 – PARTICIPAÇÃO DOS SETORES NAS EMISSÕES DA ÍNDIA – 2000 E 2014

Setores	Emissões 2000 (MtCO _{2e})	Do total de 2000 (%)	Emissões 2014 (MtCO _{2e})	Do total de 2014 (%)
Agricultura	960,19	64,97%	2133,15	71,47%
Energia	617,94	41,81%	699,71	23,44%
Processos industriais	57,48	3,89%	133,32	4,47%
Uso da terra e florestas	-219,36	-14,84%	-60,44	-2,03%
Resíduos	61,62	4,00%	78,78	3,00%
Total	1477,87	100%	2984,52	100%

Fonte: Adaptado de Climate Watch Data (2022).

Durante a década de 1960, a Índia iniciou sua exploração inicial de energia renovável. Em meados da década de 1960, o país construiu um moinho de vento convencional multipalhetas no Laboratório Nacional de Aeronáutica para explorar a energia eólica. Nos dez anos seguintes, outros tipos de moinhos de vento foram erguidos. Esses primeiros desenvolvimentos em energia eólica foram direcionados para fins de irrigação. Houve também um programa nacional de energia solar fotovoltaica durante a década de 1970 e um programa solar térmico na década de 1980 (BHATTACHARYA, 2009).

Usando essas experiências como base, a Índia aplicou a energia solar à vida diária. Em 1995, foi concluída a instalação de 700 bombas fotovoltaicas, 26.000 unidades de iluminação doméstica fotovoltaica e outras instalações que utilizam energia solar. Enquanto isso, a energia eólica também se desenvolveu. Parques eólicos construídos começaram a gerar energia. A capacidade eólica instalada acumulada no país e atingiu 576 MW em 1995 (BHATTACHARYA, 2009).

Em 2016, a energia eólica apresentou a maior capacidade instalada acumulada entre os vários tipos de energia renovável, sendo responsável por mais da metade da capacidade total de energia renovável.

É importante acrescentar que, até 2014, a Índia tinha a Comissão de Planejamento que publicava os Planos Quinquenais. As mudanças entraram em foco a partir do 11º Plano Quinquenal (2007-2012). Na ocasião, foram aprovadas as metas de reduzir em 20% de mistura de biocombustíveis comercializados no país em relação a 2007, tanto para biodiesel quanto para bioetanol até 2017. Capacidade instalada de 20.000 MW até o final do 13º Plano Quinquenal em 2022. No 12º Plano Quinquenal (2012-2017), foram definidas as seguintes metas: alcançar 15 milhões de metros quadrados (m²) de área de coletor solar térmico até 2017 e 20 milhões de m² até 2022; e implantar sistemas de iluminação solar de 20 milhões para áreas rurais até 2022.

2.2.4 China

Como mencionado anteriormente, os países do BRIC têm diferentes perfis de emissões. Entre 2000 e 2014, as emissões chinesas de GEE aumentaram 166%. Na China, o setor de energia responde pela maior parcela de emissões: 81,16%, em 2000, e 88,70%, em 2014. A agricultura e os processos industriais veem em seguida, alternando os postos como 2º e 3º setores em emissões no período, reflexo da transformação da economia chinesa. Já o uso da terra e florestas são negativos em números absolutos, pois reflete o sequestro de carbono.

TABELA 4 – PARTICIPAÇÃO DOS SETORES NAS EMISSÕES DA CHINA – 2000 E 2014

Setores	Emissões 2000 (MtCO ₂ e)	Do total de 2000 (%)	Emissões 2014 (MtCO ₂ e)	Do total de 2014 (%)
Agricultura	677,06	16,04%	691,8	6,16%
Energia	3425,69	81,16%	9959,18	88,70%
Processos industriais	301,37	7,14%	1112,43	9,91%
Uso da terra e florestas	-347,73	-8,24%	-709,55	-6,32%
Resíduos	164,69	4,00%	174,62	2,00%
Total	4221,08	100%	11228,48	100%

Fonte: Adaptado de *Climate Watch Data* (2022).

Pode-se destacar a China como o maior produtor de carvão, com 49,7% da produção global em 2021 e maior parte para a geração de energia. Vale salientar também que o país é o maior importador de petróleo e tem a 2ª maior capacidade global de refino. Entretanto, ocupava, em 2021, o 1º lugar global em geração de eletricidade por fontes renováveis e tinha, em 2019, 27,21%, 33,76% e 34% da capacidade instalada de hidreletricidade, energia eólica e solar fotovoltaica, respectivamente (IEA,2021).

Diante do exposto, o governo chinês já tinha em seu 11º Plano Quinzenal (2006-2010) metas de transição energética. De 2006 a 2010, a intensidade energética da China, medida pelo consumo de energia por unidade do PIB, foi reduzida em 19,1% em comparação com o nível de 2005. As emissões totais de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Dióxido de Enxofre (SO₂) foram reduzidos em 12,45% e 14,29%, respectivamente. Além disso, quase todas as províncias cumpriram as metas de redução de emissão de poluentes (LIU, 2022).

O 12º Plano Quinquenal de Desenvolvimento Econômico e Social Nacional da República Popular da China foi um programa voltado para o crescimento econômico,

inovação, competitividade e desenvolvimento social, como o acesso à educação. O crescimento econômico nos três principais setores, a saber, agricultura, indústria e serviços, foi o objetivo principal. Entretanto, ênfase específica também foi dedicada ao desenvolvimento verde, proteção ambiental e conservação de energia.

O Plano incluiu metas energéticas vinculativas, como meta de que os recursos de combustíveis não fósseis atingissem 11,4% do consumo de energia primária até 2015, de que o consumo de energia por unidade do PIB diminuísse 16% e as emissões de CO₂ por unidade do PIB diminuíssem 17% até 2015. O Plano também incorporou metas de implantação específicas para energias renováveis, já que a China iniciaria a construção de 120 Gigawatt (GW) de hidrelétricas e construiria 70 GW de capacidade eólica – seis *onshore* e duas grandes bases de energia eólica costeira e *offshore* – até 2015. A China também especificou como meta a construção de 5 GW de usinas de energia solar (IEA, 2022).

3 METODOLOGIA E BASE DE DADOS

3.1 MODELO DE INSUMO-PRODUTO

Segundo Guilhoto (2011), uma economia funciona para equacionar a demanda e a oferta dentro de uma extensa gama de atividades. As tabelas de insumo-produto de Leontief proporcionam, portanto, uma análise da economia como um sistema interligado, ou seja, um sistema onde setores suprem as necessidades uns dos outros.

As tabelas de insumo-produto, então, têm como objetivo proporcionar uma análise acerca das relações intersetoriais de produção, sendo útil para as atividades de planejamento de modo geral, como avaliação de mudanças estruturais na economia e análises setoriais, comércio internacional e cadeias globais de valor, comércio inter-regional e disparidades regionais, meio ambiente, energia, intensidade de emissões e fluxos de água virtual, distribuição de renda, política fiscal, entre outros tópicos.

Em termos de relações fundamentais, as tabelas de insumo-produto representam uma desagregação dos modelos integrado a um Sistema de Contas Nacionais, em que inclui demanda final, Valor Adicionado e a demanda intermediária, conforme Figura 1.

FIGURA 1- RELAÇÕES FUNDAMENTAIS DE INSUMO-PRODUTO

	Setores Compradores		
Set. Vend	Insumos Intermediários	Dem. Final	Prod Total
	Impostos Indiretos Líquidos (IIL)	IIL	
	Importações (M)	M	
	Produção Total		

Fonte: Guilhoto (2011).

Com base nas relações fundamentais apresentadas na Figura 1, o Quadro 1 apresenta de forma esquemática um exemplo de uma tabela de insumo-produto para uma economia com 2 setores.

QUADRO 1 - TABELA DE INSUMO-PRODUTO PARA UMA ECONOMIA COM 2 SETORES

		Compras (j)						
		Demanda Intermediária		Demanda Final				
Vendas(i)		Setor 1	Setor 2	Consumo das Famílias	Governo	Investimentos	Exportações	Total
	Setor 1	Z_{11}	Z_{12}	C_1	G_1	I_1	E_1	X_1
	Setor 2	Z_{21}	Z_{22}	C_2	G_2	I_2	E_2	X_2
Importação	M_1	M_2	M_c	M_g	M_j		M	
Impostos	T_1	T_2	T_c	T_g	T_j	T_e	T	
Valor Adicionada	W_1	W_2					W	
Total	X_1	X_2	C	G	I	E		

Fonte: Guilhoto (2011).

Na Quadro 1, Z_{ij} é o fluxo monetário entre os setores i e j ; C_i é o consumo das famílias dos produtos do setor i ; G_i é o gasto do governo junto ao setor i ; I_i é demanda por bens de investimento produzidos no setor i ; E_i é o total exportado pelo setor i ; X_i é o total de produção do setor i ; T_i é o total de impostos indiretos líquidos pagos por i ; M_i é a importação realizada pelo setor i ; e W_i é o valor adicionado gerado pelo setor i .

Então, as linhas da tabela de insumo-produto correspondem às vendas em termos monetários da produção de cada setor de atividade. Já as células Z_{11} e Z_{22} descrevem as vendas dos setores para si mesmo e Z_{12} e Z_{21} para o outro setor, ou seja, representam as vendas de insumos intermediários dos respectivos setores.

As colunas correspondem as compras e pagamentos, em termos monetários, feitas por cada setor de atividade e cada segmento da demanda final. Da mesma forma, as células abaixo da demanda final correspondem as compras de cada segmento feita aos setores de atividade. Já na linha de importação, as células correspondem aos pagamentos de importações de bens e serviços feitas pelos

setores de atividade (M_1 e M_2) e pelos segmentos da demanda final (M_C , M_g e M_i). O mesmo se aplica na linha de impostos, que descreve os pagamentos feitos pelos setores de atividade (T_1 e T_2) e pelos segmentos da demanda final (T_C , T_g e T_e). A linha de valor adicionado demonstra os pagamentos aos fatores de produção: salários, lucros, aluguéis e juros (W_1 e W_2). Por último, as células X_1 e X_2 - na última linha e última coluna – demonstram a produção total e demanda total para os dois setores de atividade.

Portanto, a partir do que foi aludido acima, pode-se chegar em um modelo simples, que considera n setores de atividade:

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} + c_i + g_i + I_i + e_i \equiv x_i \quad (1)$$

em que z_{ij} é a produção do setor i que é utilizada como insumo intermediário pelo setor j ; c_i é a produção do setor i que é consumida domesticamente pelas famílias; g_i é a produção do setor i que é consumida domesticamente pelo governo; I_i é a produção do setor i que é destinada ao investimento; e_i é a produção do setor i que é exportada; x_i é a produção doméstica total do setor i .

Assumindo-se que os fluxos intermediários por unidade do produto são fixos, pode-se derivar o sistema aberto de Leontief:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + y_i = x_i \quad (2)$$

em que a_{ij} é o coeficiente técnico que indica a quantidade de insumo do setor i necessária para a produção de uma unidade de produto do setor j ; e y é a demanda final por produtos do setor i .

A equação (2) pode ser escrita em forma matricial como:

$$Ax + y = x \quad (3)$$

em que A é a matriz de coeficientes diretos de insumo de ordem ($n \times n$); e x e y são vetores colunas de ordem ($n \times 1$).

Resolvendo a equação (3), é possível obter a produção total que é necessária para satisfazer a demanda final:

$$x = (I - A)^{-1}y = Ly \quad (4)$$

em que $(I - A)^{-1}$ é a matriz de coeficientes diretos e indiretos, ou a matriz de Leontief.

A representação do modelo, até o presente momento, considera apenas uma única região. Considerando um modelo inter-regional nacional com n diferentes regiões e o Restante do Mundo (RoW) como um vetor coluna na demanda final, tem-se as seguintes equações básicas:

$$\begin{bmatrix} x^i \\ \vdots \\ x^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^{11} & \dots & A^{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{n1} & \dots & A^{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^1 \\ \vdots \\ x^n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y^{11} & \dots & y^{1n} & y^{1row} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ y^{11} & \dots & y^{nn} & y^{row} \end{bmatrix} i \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} x^i \\ \vdots \\ x^n \end{bmatrix} = \left\{ \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} A^{11} & \dots & A^{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{n1} & \dots & A^{nn} \end{bmatrix} \right\}^{-1} + \begin{bmatrix} y^{11} & \dots & y^{1n} & y^{1row} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ y^{11} & \dots & y^{nn} & y^{row} \end{bmatrix} i \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} x^i \\ \vdots \\ x^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L^{11} & \dots & L^{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ L^{n1} & \dots & L^{nn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y^{11} & \dots & y^{1n} & y^{1row} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ y^{11} & \dots & y^{nn} & y^{row} \end{bmatrix} i \quad (7)$$

em que i é um vetor coluna com todos os elementos iguais à unidade que soma todos os elementos em cada das $n + 1$ linhas da matriz y .

Seguindo o trabalho de Los et al. (2016), o valor adicionado na região 1, expresso por PIB_1 , é representado pela seguinte equação:

$$PIB_1 = v_1(I - A)^{-1}yi \quad (8)$$

em que v_1 é um vetor linha com razões entre o Valor Adicionado e o VBP em indústrias na região 1 como primeiros elementos (\widetilde{v}_1) e zeros nos outros elementos $v_1 = [\widetilde{v}_1 \ 0]$; e i é um vetor coluna que todos os elementos são unidade.

Para atribuir a quantidade de Valor Adicionado domesticamente nas exportações da região 1 para a região n , inicialmente os autores consideram um mundo hipotético onde a região 1 não exporta para a região n . Como apresentado em Haddad et al. (2020), o chamado PIB hipotético pode ser representado por:

$$PIB_{1,n}^* = v_1 (I - A_{1,n}^*)^{-1} y_{1,n}^* i \quad (9)$$

em que $A_{1,n}^*$ e $y_{1,n}^*$ representam as matrizes de coeficientes hipotéticos e a de demanda final, expressas por:

$$A_{1,n}^* = \begin{bmatrix} A^{11} & \dots & A^{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{n1} & \dots & A^{nn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$y_{1,n}^* = \begin{bmatrix} y^{11} & \dots & y^{1n} & y^{1row} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ y^{n1} & \dots & y^{nn} & y^{nrow} \end{bmatrix} i \quad (11)$$

Segundo Haddad et al. (2020), é possível extrair os Valores Adicionados domesticamente nas exportações, representado pelo Valor Adicionado Doméstico (DVA), da região 1 para n regiões por meio das equações (8) e (9):

$$DVA_{1,n}^* = PIB_1 - PIB_{1,n}^* \quad (12)$$

Da mesma forma, os autores informam que pode atribuir a quantidade de DVA nas exportações da região 1 para todas as n -regiões, excluindo a própria região.

3.2 MODELAGEM DAS EMISSÕES DE CO₂

Como apresentado por Wiebe et al. (2012) e Haddad et al. (2020), para analisar as emissões de CO₂ em termos de comércio internacional é preciso considerar os coeficientes de intensidade de uso de CO₂ (CI's):

$$CI_i^n = \frac{eco2_i^n}{vbp_i^n} \quad (13)$$

em que CI_i^n é o coeficiente de intensidade de uso de CO₂ do setor i da região (país) n ; $eco2_i^n$ é a emissão de CO₂ do setor i da região (país) n ; vbp_i^n é o Valor Bruto da Produção do setor i da região (país) n

Seguindo a lógica apresentada por Haddad et al. (2020), é possível realizar uma adaptação do modelo para captar a emissão incorporada aos fluxos do comércio. Assim, da mesma forma que foi aplicado para o PIB, pode-se encontrar o total transacionado de poluentes (TTP) na região 1 conforme equação abaixo:

$$TTP_1 = w_1(I - A)^{-1}y \quad (14)$$

em que w_1 é um vetor linha com a quantidade de emissões por unidade de VBP das indústrias da região 1 como primeiros elementos (\tilde{w}_1) e zeros em todos os outros elementos $w_1 = [\tilde{w}_1 \ 0]$.

Para atribuir o total transacionado de poluentes da região 1 para a região n , é considerado procedimento similar ao adotado na equação (9):

$$TTP_{1,n}^* = w_1(I - A_{1,n}^*)^{-1}y_{1,n}^* \quad (15)$$

em que $A_{1,n}^*$ e $y_{1,n}^*$ poder ser expressos pelas equações (10) e (11).

Por fim, das equações (14) e (16) define-se o total doméstico de poluentes transacionados nas exportações da região 1 para as n regiões:

$$TDPT_{1,n}^* = TTP_1 - TTP_{1,n}^* \quad (12)$$

3.3 BASE DE DADOS

Para atingir os objetivos propostos, este trabalho utiliza tabelas de insumo-produto da WIOD e dados de CO₂ da Comissão Europeia - Corsatea et al. (2019). Como aludido por Timmer et al. (2015), a WIOD é uma base de dados temporal com dados a partir de 1995, no qual o presente trabalho utiliza dados de 2000 e 2014 para os 43 países, mais o Restante do Mundo (RoW). Porém, cabe salientar que neste estudo serão analisados exclusivamente os países do BRIC, ou seja, Brasil, China, Índia e Rússia, e seus transbordamentos na emissão de CO₂, já que não há dados da África do Sul disponível na base utilizada.

4 RESULTADOS

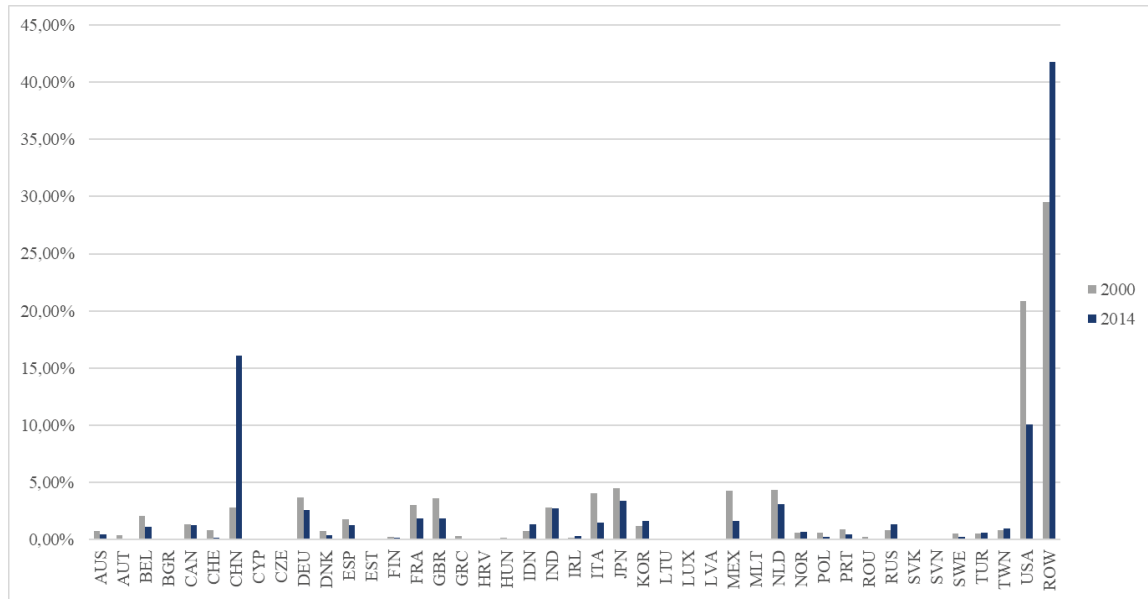
A partir do Gráfico 1, é possível observar o Valor Adicionado incorporado nos fluxos de comércio do Brasil para cada um dos países presentes na WIOD nos anos de 2000 e 2014. Primeiramente, no ano 2000, é possível destacar as participações do Restante do Mundo, Estados Unidos, Japão, Holanda e México, com 29,55%, 20,82%, 4,47%, 4,39% e 4,26%, respectivamente. Em 2014, o Restante do Mundo tem uma participação ainda mais significativa, 41,75%, seguido por China, com 16,07%, Estados Unidos, com 10,07%, Japão, com 3,40% e Holanda, com 3,12%.

Em suma, de 2000 para 2014 foi notado um acréscimo significativo da China, 13,22%, e do Restante do Mundo, 12,21%, na participação do valor adicionado incorporado nos fluxos de comércio do Brasil.

O Brasil, em outras palavras, no início do século XXI, sofreu com o processo de transformação no cenário econômico e político internacional. Os Estados Unidos apresentaram uma perda relativa de importância na economia mundial e, simultaneamente, países periféricos emergiram, como é o caso da China.

Por sua vez, tais dados estão em conformidade com o que é apresentado pela Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD), entre 2008 e 2014, em que as exportações mundiais apresentaram uma taxa média de crescimento de 2,6% e as importações de 2,3%, já os países desenvolvidos tiveram uma taxa média de crescimento das exportações de apenas 1,6% e das importações de 0,5%. Em contrapartida, os países em desenvolvimento apresentaram uma taxa média de crescimento das exportações de 4,1% e das importações de 4,7%, com destaque para a China.

GRÁFICO 1 - VALOR ADICIONADO INCORPORADO NOS FLUXOS DE COMÉRCIO DO BRASIL - 2000 E 2014

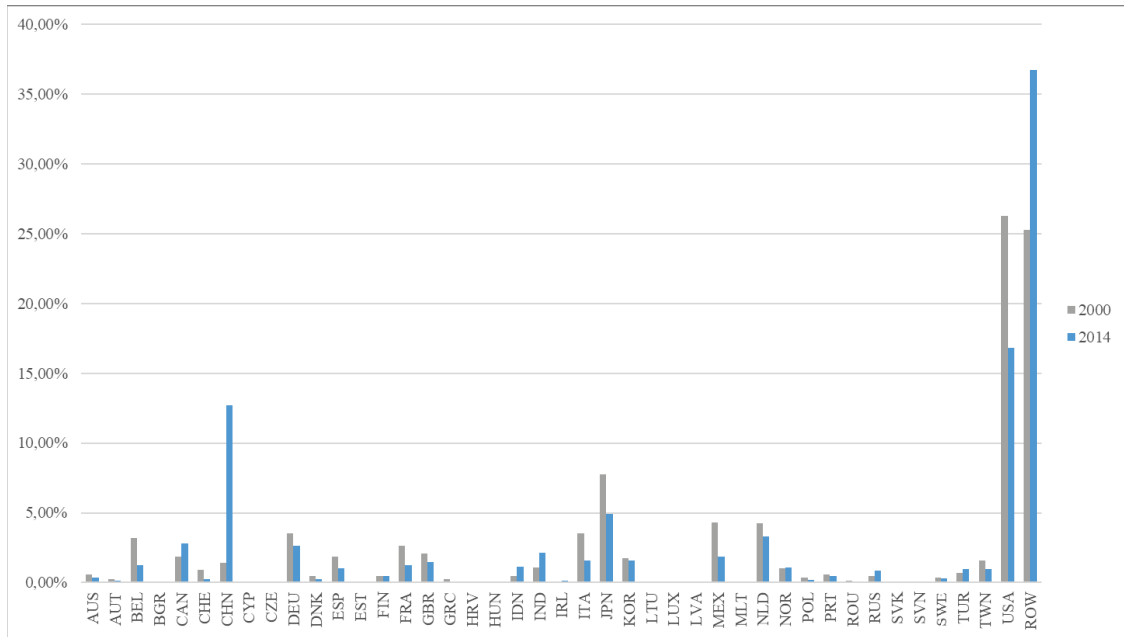


FONTE: O Autor (2022).

No Gráfico 2, por sua vez, é possível verificar o grau de emissão presente para cada um desses demandantes. No ano de 2000, é possível destacar os Estados Unidos com 26,24% das emissões incorporadas aos fluxos de comércio do Brasil, seguido pelo Restante do Mundo, com 25,27%, Japão, com 7,75%, México, com 4,33% e Holanda, com 4,22%. Por fim, em 2014 verifica-se o Restante do Mundo, Estados Unidos, China, Japão e Holanda com 36,72%, 16,81%, 12,68%, 4,93% e 3,33%, respectivamente.

Nas duas últimas décadas houve um crescimento nas exportações para os países Asiáticos, principalmente China, com grande intensidade de emissões. Assim, os principais compradores do Brasil são China, União Europeia e Estados Unidos, embora haja o Restante do Mundo com uma grande parcela. Tal crescimento nas exportações brasileiras para Ásia está relacionado com o incremento populacional, econômico e urbanização daquela região, o que demanda altos volumes de alimentos dos quais o Brasil apresenta elevada competitividade.

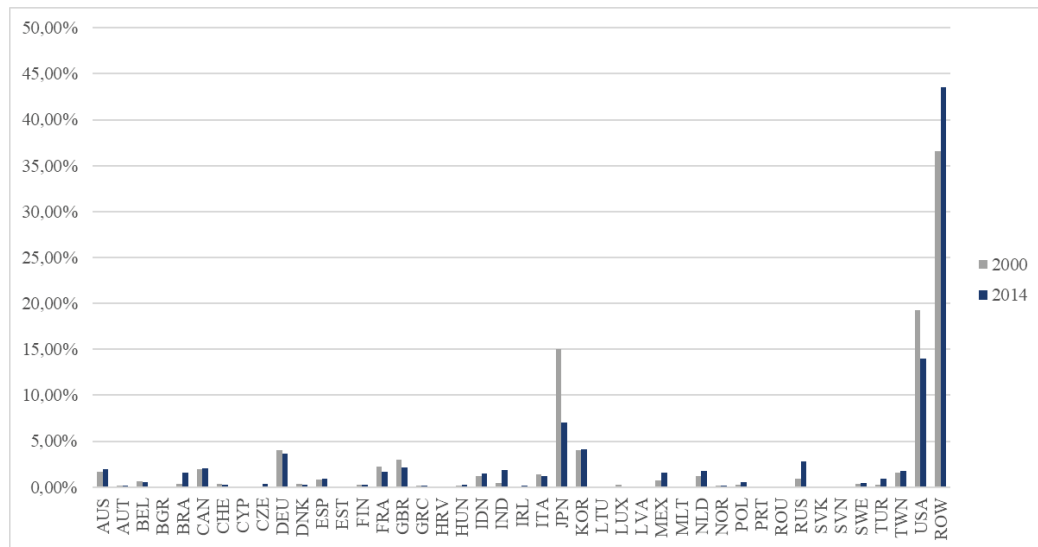
GRÁFICO 2 - EMISSÕES INCORPORADAS NOS FLUXOS DE COMÉRCIO DO BRASIL
- 2000 E 2014



FONTE: O Autor (2022).

O Gráfico 3 apresenta os resultados de Valor Adicionado para a China. É possível notar a grande participação do Restante do Mundo com 36,61%, seguido pelos Estados Unidos, com 19,24%, Japão, com 15,04%, Alemanha, com 3,99% e Coréia do Sul, com 3,97%. No ano de 2014, houve um aumento da participação do Restante do Mundo que foi para 43,57%. Estados Unidos e Japão, por sua vez, tiveram uma diminuição, ficando com 14,03% e 7,02%, nessa ordem.

GRÁFICO 3 - VALOR ADICIONADO INCORPORADOS AOS FLUXOS DE COMÉRCIO DA CHINA - 2000 E 2014



FONTE: O Autor (2022).

No Gráfico 4, por sua vez, pode-se verificar o grau de emissão presente para cada um desses demandantes com relação a China. Em 2000, verifica-se o Restante do mundo com 33,21% das emissões incorporadas aos fluxos de comércio, seguido pelos Estados Unidos, com 20,26%, Japão, com 15,23%, Coréia do Sul, com 4,70% e Alemanha, com 4,16%. Também no ano de 2014 seguiu-se a mesma ordem - Restante do Mundo, Estados Unidos, Japão, Coréia do Sul e Alemanha com 39,97%, 14,65%, 7,29%, 5,18% e 3,57%, respectivamente.

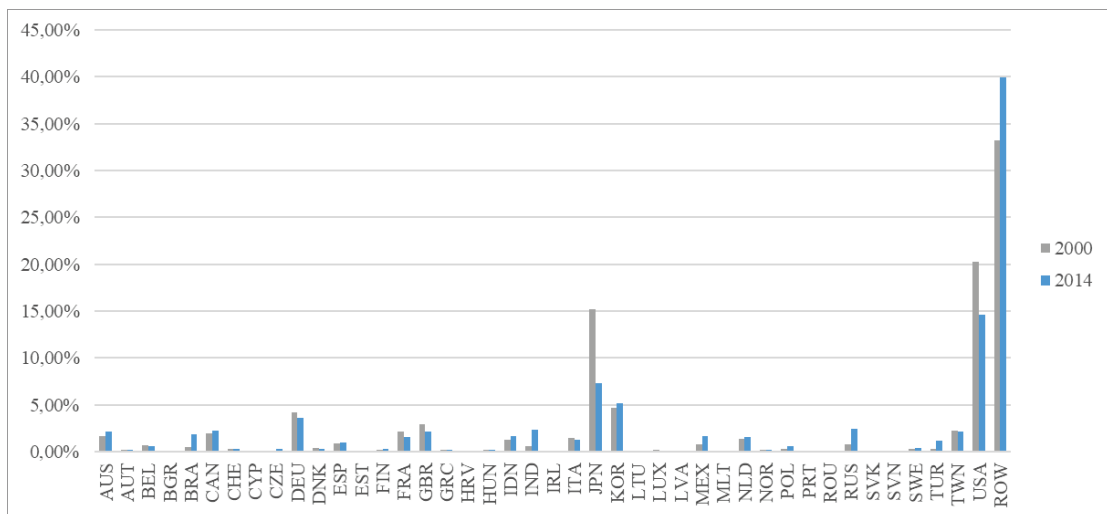
A China nas últimas duas décadas experimentou um grande crescimento. As exportações chinesas cresceram de US\$ 25 bilhões em 1984 para US\$ 383 bilhões em 2003, o que representa um salto de 1,5% para 5,8% em sua participação nas exportações mundiais.

Além disso, o setor de exportação chinês é bastante diversificado. Em 2002, 60% das exportações podiam ser classificados como produtos de alta demanda, mesma proporção registrada pelas exportações dos Estados Unidos. Nesse contexto, as tendências atuais na composição das exportações chinesas sugerem que seu conteúdo tecnológico está aumentando. Em outras palavras, eles estão mudando gradualmente de bens manufaturados relativamente simples para produtos mais sofisticados.

Outro dado relevante é que quase 90% das exportações chinesas em meados da década de 1980 consistiam em produtos primários ou manufaturados baseados

em recursos naturais ou de baixa tecnologia, que tinham maior intensidade na emissão de poluentes, porém em 2002, esse número caiu para 50%, enquanto a porcentagem de exportações de alta tecnologia aumentou de menos de 5% para 30% no mesmo período, justificando o aumento na intensidade de poluentes que se constata na Tabela 1 (FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL, 2022).

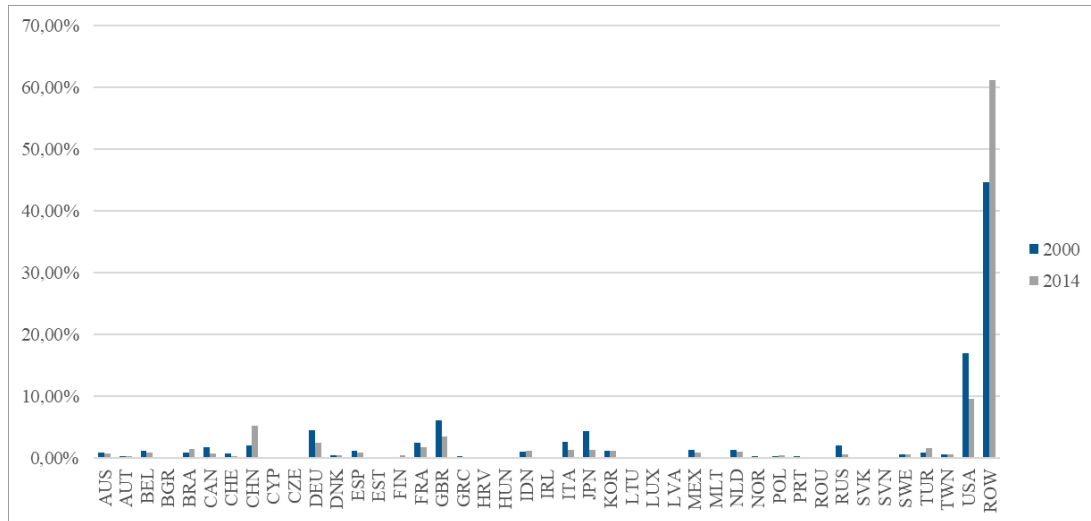
GRÁFICO 4 - EMISSÕES INCORPORADAS NOS FLUXOS DE COMÉRCIO DA CHINA-
2000 E 2014



FONTE: O Autor (2022).

Em relação a Índia, constata-se no Gráfico 5 também uma grande participação do Restante do Mundo, sendo possível verificar um crescimento de 16,59% na participação entre 2000 e 2014. Os Estados Unidos destacam-se em relação aos outros países principalmente no ano de 2000, com 16,92%, mas perde relevância no ano de 2014, com 9,48%, isto é, um decréscimo de 7,44%. A China, por outro lado, apresentou um acréscimo 3,21%.

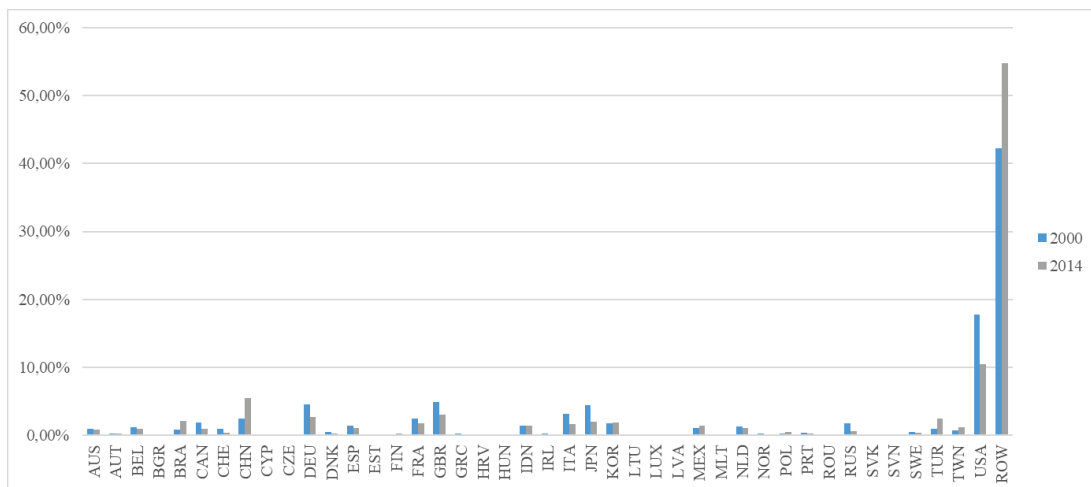
GRÁFICO 5 - VALOR ADICIONADO INCORPORADOS AOS FLUXOS DE COMÉRCIO
ÍNDIA - 2000 E 2014



FONTE: O Autor (2022).

Já com relação ao grau de emissão presente para cada um desses demandantes com relação a Índia, pode-se verificar no Gráfico 6 que o Restante do Mundo possui a maior parcela e, assim como nos outros países, apresentou um aumento nessa participação, que nesse caso foi de 12,60%. Outros países como China, Turquia e Brasil também apresentaram aumento em suas participações, mas esses ainda não têm o mesmo grau de participação, por exemplo, que os Estados Unidos.

GRÁFICO 6 - EMISSÕES INCORPORADAS NOS FLUXOS DE COMÉRCIO DA ÍNDIA-
2000 E 2014

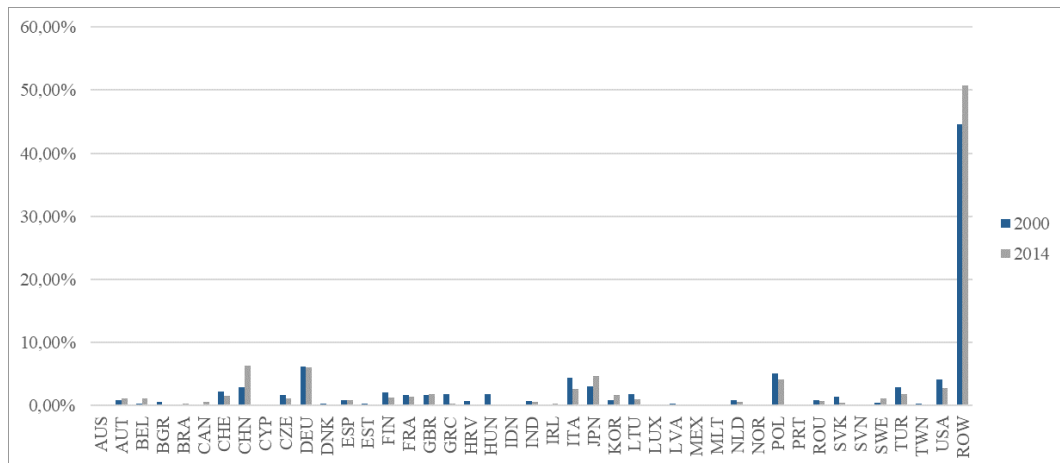


FONTE: O Autor (2022).

Na Rússia, Gráfico 7, pode-se verificar um cenário similar aos outros integrantes do BRIC, em que no ano de 2000 o Restante do Mundo possuía uma parcela significativa do valor adicionado, 44,58%, e no ano de 2014 consolida um aumento em cerca de 6,20%. No contexto russo, entretanto, a Alemanha se mostrou mais significativa, com 6,15%, em 2000, e 6,01%, em 2014.

Embora nenhuma economia em desenvolvimento tenha tido um desempenho tão espetacular quanto a China entre 2000 e 2014, a maioria viu aumentos acentuados na participação da manufatura nas exportações totais. Em linha com as tendências globais, as exportações russas mudaram da União Europeia e dos Estados Unidos para as economias emergentes e em desenvolvimento. O Leste Asiático e o Oriente Médio surgiram como os dois principais mercados de destino para a Rússia.

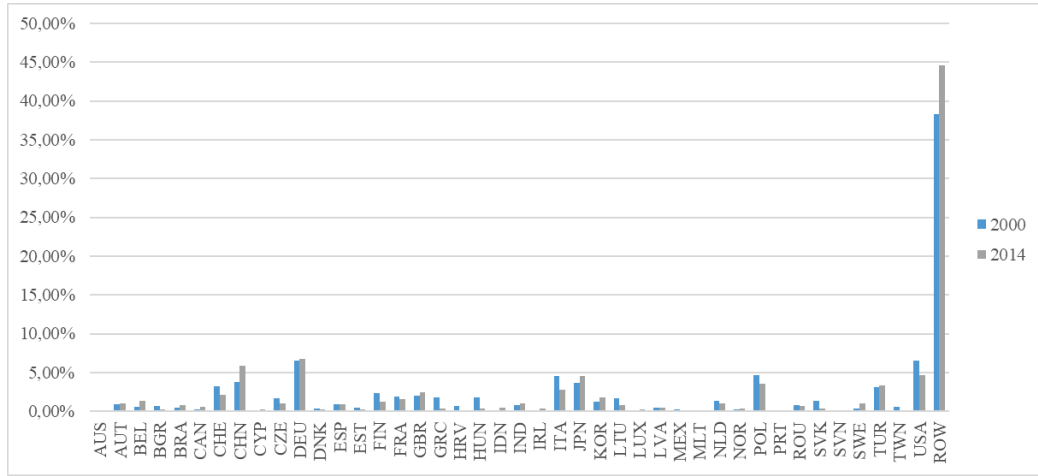
GRÁFICO 7 - VALOR ADICIONADO INCORPORADOS NOS FLUXOS DE COMÉRCIO DA RÚSSIA - 2000 E 2014



FONTE: O Autor (2022).

Já com relação as emissões incorporadas aos fluxos de comércio da Rússia, Gráfico 8, constata-se algo diferente, em que os Estados Unidos apresentam uma participação maior nas emissões atrás apenas do Restante do Mundo em 2000. Em 2014, o Restante Mundo continua com a maioria das emissões, mas desta vez seguido por Alemanha e China. Tal cenário na Rússia reforça a tendência apresentada nos outros países com o arrefecimento da participação da economia americana. Além disso, é possível destacar a participação estável de países europeus devido a Rússia ser um dos principais fornecedores de petróleo e gás natural.

GRÁFICO 8 - EMISSÕES INCORPORADAS NOS FLUXOS DE COMÉRCIO DA RÚSSIA- 2000 E 2014



FONTE: O Autor (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, este trabalho avaliou o valor adicionado e as emissões de CO₂ incorporadas nos fluxos de comércio do BRIC. O Brasil, no período analisado, aumentou as emissões de CO₂ incorporados em suas exportações. A China apresentou enorme crescimento nas emissões, em razão da expansão do seu setor de transformação além do aumento da população urbana em grandes centros industriais. Já a Rússia, não mostrou grandes variações nos seus fluxos de comércio. Por último, a Índia, dentre os quatro países analisados, apresentou menor quantidade absoluta de emissões de GEE em razão das crescentes necessidades de energia que tornam o país mais dependente das importações de combustíveis fósseis, já que sua produção doméstica de petróleo e gás está estagnada há anos, apesar das políticas governamentais para promover a produção.

Assim, em geral, a partir dos diferentes resultados, o presente trabalho permitiu evidenciar a importância de se levar em consideração o comércio internacional no que tange as questões inerentes à degradação ambiental (aqui em termos de emissões de CO₂). Ou seja, diante de todos resultados fica evidente que degradação ambiental e comércio internacional não devem ser tratados de forma separada, onde as questões ambientais devem estar cada vez mais presentes nas discussões dos tomadores de decisões.

Destaca-se também que o processo produtivo nos países integrantes do BRIC está cada vez mais poluidor e os países desenvolvidos ocupam parcela considerável como destino nesses fluxos.

Por fim, vale destacar as limitações deste trabalho. Verifica-se a necessidade de uma análise setorial e das relações dos países e também entre diferentes blocos. É importante também analisar a evolução dos fluxos de comércio em um período que se estenda além de 2014.

REFERÊNCIAS

- BAUMANN, R.; ARAUJO, R.; FERREIRA, J. **As relações comerciais do Brasil com os demais BRICs**. CEPAL; IPEA, 2010. p. 9-46, 2010.
- BHATTACHARYA, S. C.; JANA, C. Renewable energy in India: historical developments and prospects. **Energy**, v. 34, n. 8, p. 981-991, 2009.
- CLARK, I. I. W. W.; ELKIN, D. **Renewable energy rises in Russia: the early steps**. The WorldPost, 2015.
- CORSATEA, T. D. et al. **World input-output database environmental accounts**. Update, v. 2016, p. 54, 2000.
- DUALIBE, A. K. Brazil's renewable energy success. **Nature**, v. 468, n. 7327, p. 1041-1041, 2011.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz energética e elétrica**. Ministério de Minas e Energia. Disponível em:< <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em 12 dez. 2022, v. 24, 2020.
- EVANS, S. Analysis: Which countries are historically responsible for climate change?. **Carbon Brief**, v. 10, 2021.
- FEARNSIDE, P. M. **Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia**. **Environmental management**, v. 27, n. 3, 2001.
- FEIX, R.; MIRANDA, S. H. G.; BARROS, G. S. C. Comércio internacional, agricultura e meio ambiente: teorias, evidências e controvérsias empíricas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 3, p. 605-634, 2010.
- FMI, FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL **The development of China's export performance**, v. 7, 2022.
- GUILHOTO, J. J. M. **Análise de Insumo-produto: teoria e fundamentos**. 2011.
- HADDAD, E.; MENGOU, F. E.; VALE, V. Water Content in Trade: a regional analysis for Morocco. **Economic Systems Research**, v. 32, n. 4, p. 565–584, 2020.
- HAMMOND, A. L. **Photosynthetic solar energy: rediscovering biomass fuels**. Science, v. 197, n. 4305, p. 745-746, 1977.
- IEA, International Energy Agency **O 12º PLANO QUINQUENAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL DA REPÚBLICA POPULAR DA CHINA (2011-2015)**. Disponível em: <https://www.iea.org/policies/2123-the-12th-five-year-plan-for-economic-and-social-development-of-the-peoples-republic-of-china-2011-2015>. Acesso em: 12 dez. 2022.
- IEA, International Energy Agency. Key World Energy Statistics. 2015.

IEA, International Energy Agency. STAFF. **CO2 emissions from fuel combustion**. Organization for Economic, 2019.

IPCC. **The Evidence is Clear: The Time for Action is Now. We Can Halve Emissions by 2030**. 2022.

LEONTIEF, W. Environmental repercussion and the economic structure: an input-output approach. **The Review of Economics and Statistics**, v. 52, n. 3, p. 262-271, 1970.

LIU, Z. et al. Challenges and opportunities for carbon neutrality in China. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 3, n. 2, p. 141-155, 2022.

LOS, B.; TIMMER, M. P.; VRIES, G. J. de. Tracing Value-Added and Double Counting in Gross Exports: comment. **American Economic Review**, v. 106, n. 7, p. 1958–1966, 2016.

MARTINOT, E. Renewable energy in Russia: markets, development and technology transfer. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 3, n. 1, p. 49-75, 1999.

NAÇÕES UNIDAS. **Emissions gap report 2020**. 2020.

O'NEILL, J. Building better global economic BRICs. **Global Economics Paper**, n. 66, p. 1-16, 2001.

SHIN, S. Developing country's perspective on COP3 development (Kyoto Protocol). **Energy Policy**, v. 26, n. 7, p. 519-526, 1998.

TIMMER, M. P.; DIETZENBACHER, E.; LOS, B.; STEHRER, R.; DE VRIES, G. J. (2015), An Illustrated User Guide to the World Input-Output Database: the Case of Global Automotive Production, **Review of International Economics**, 23: 575-605, 2015.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. **Our ecological footprint: reducing human impact on the earth**. New society publishers, 1998.

WIEBE, K. S. et al. Calculating energy-related CO2 emissions embodied in international trade using a global input–output model. **Economic Systems Research**, v. 24, n. 2, p. 113-139, 2012.

WIEDMANN, T. et al. On the conversion between local and global hectares in ecological footprint analysis. **Ecological economics**, v. 60, n. 4, p. 673-677, 2007.

WIOD – **WORLD INPUT-OUTPUT DATA-BASE. 2009**. Disponível em: <<http://www.wiod.org>>. Acesso em: 28 out. 2022.

WORLD BANK. **World Development Indicators 2015**.

WORLD BANK.. **World Development Indicators, indicador EG.USE.COMM.GD.PP.KD**. IEA Statistics. International Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). 2022.