

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

TIAGO RODRIGO FERREIRA BARCELOS

**PADRÃO DE EMISSÕES DE GASES EFEITO ESTUFA E INSERÇÃO EM CADEIAS
GLOBAIS DE VALOR: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BRASIL E CHINA
NO PERÍODO 2000-2016**

Rio de Janeiro

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

TIAGO RODRIGO FERREIRA BARCELOS

**PADRÃO DE EMISSÕES DE GASES EFEITO ESTUFA E INSERÇÃO EM
CADEIAS GLOBAIS DE VALOR: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE
BRASIL E CHINA NO PERÍODO DE 2000-2016**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Kaio Vital da Costa

Rio de Janeiro

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

B242p Barcelos, Tiago Rodrigo Ferreira.
Padrão de emissões de gases efeito estufa e inserção em cadeias globais de valor: um estudo comparativo entre Brasil e China no período 2000-2016 / Tiago Rodrigo Ferreira Barcelos. – 2023.
102 f.; 31 cm.

Orientador: Kaio Glauber Vital da Costa.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e da Tecnologia, 2023.

Bibliografia: f. 86-98.

1. Cadeias globais de valor. 2. Gases do efeito estufa. 3. Mudanças climáticas.
I. Costa, Kaio Glauber Vital da, orient. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. III. Título.

CDD 38

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária: Luiza Hiromi Arao CRB/7 – 6787

Biblioteca Eugênio Gudín/CCJE/UFRJ

TIAGO RODRIGO FERREIRA BARCELOS

**PADRÃO DE EMISSÕES DE GASES EFEITO ESTUFA E INSERÇÃO EM
CADEIAS GLOBAIS DE VALOR: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BRASIL
E CHINA NO PERÍODO 2000-2016**

Dissertação de Mestrado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Economia.

Aprovada em 08 de fevereiro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Kaio Glauber Vital da Costa
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Marta dos Reis Castilho
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Aleix Altimiras Martin
Universidade Estadual de Campinas

AGRADECIMENTOS

A produção material dessas páginas, de fato, é resultado de grande esforço individual, marcado pela disciplina e superação dos próprios limites e que, portanto, traduz-se em um processo solitário de realização pessoal. No entanto, gostaria de valorizar a participação coletiva deste feito, que, a meu ver, totaliza a maior parte. Observo que toda e qualquer conquista particular são originadas a partir de ideias e ações históricas de nossos antecessores, tornando todo resultado um produto social e coletivo. Por isso, meu primeiro agradecimento é dedicado aos autores que produziram esta literatura a qual referencio, que abriram caminhos para o desenvolvimento desta linha de pesquisa e iluminaram a minha trajetória como pesquisador.

Em segundo lugar, gostaria de reconhecer o papel das instituições públicas de ensino, assim como de todos os servidores e profissionais que integram suas estruturas, que viabilizam a dinamização do conhecimento com mais justiça e qualidade.

Agradeço a todos os que compõe o corpo docente e administrativo do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que oferecem um trabalho de excelência, e a CAPES/PROEX pelo financiamento ao desenvolvimento acadêmico. Particularmente, agradeço aos professores e pesquisadores da linha de Indústria, principalmente à Marília Marcato, Marta Castilho e Thiago Miguez, que contribuíram para o aprimoramento deste trabalho, e ao meu orientador Kaio Vital da Costa, por sua paciência e parceria para construção de cada etapa, sempre com disposição e cordialidade.

Em nível pessoal, esta conquista é compartilhada com pessoas que caminham ao meu lado desde o início, assim como das que o Rio de Janeiro me presenteou e que se tornaram essenciais. Agradeço, com a mais profunda sinceridade, o apoio dos meus pais, Marcelo e Márcia, que sempre confiaram em minhas decisões e investiram na realização dos meus sonhos, e dos meus amigos de Bragança Paulista e Araraquara, que apesar da distância física, se fazem presentes por outros meios.

Aos meus parceiros de Rio de Janeiro, Cacau, Giorgio, Helena e Mariana, sou grato pelos nossos encontros e conexões, que sempre garantiram bons papos, risadas, comida e música de qualidade.

Aos meus companheiros de jornada, agradeço a toda turma de Mestrado de 2021, que compartilharam deste desafio que é cursar uma pós-graduação no Brasil, em um momento tão

conturbado da nossa história. Em especial, agradeço aos amigos Adriano Duarte, Enock Azevedo e Pedro Rocha, que foram os mais próximos e se tornaram verdadeiros aliados nos estudos e na boemia.

Por fim, como retrata João Guimarães Rosa em o *Grande Sertão: Veredas* (1956), “O real não está no início ou na chegada, ele se dispõe pra gente é no meio da travessia”, saúdo e agradeço a todos que cruzaram o meu caminho ao longo desta vivência, e contribuíram para a minha evolução neste plano.

RESUMO

Esta dissertação discute a relação entre cadeias globais de valor e emissões de gases efeito estufa, demonstrando como variações na demanda externa interferem no padrão de emissões domésticas de Brasil e China. Este tipo de análise é importante pois permite-nos ter uma visão ampliada dos múltiplos agentes que influem sobre a estrutura produtiva dos países, e seus respectivos papéis e responsabilidade para a redução de impactos ambientais propagados por meio do comércio internacional. Com referencial metodológico de Chen et al. (2021) e Johnson e Noguera (2012), propomos uma análise insumo-produto com dados da MRIO UNCTAD-EORA, que estimam as emissões incorporadas no comércio, no período de 2000 a 2016, considerando os fluxos comerciais com as seguintes regiões econômicas: Mercado Comum do Sul (Mercosul); União Europeia; Estados Unidos, México e Canadá (USMCA); Ásia Leste e Resto do Mundo. A principal contribuição deste trabalho é dada pela elaboração de uma análise comparativa sobre emissões incorporadas em fluxos de comércio tradicional e de CGV, de países em desenvolvimento com as principais regiões econômicas do mundo. Adicionalmente, propomos a construção de um indicador sintético *emissões setoriais para CGV* (SE_{CGV}), sendo uma medida de proporção que indica a composição das emissões totais setoriais entre mercado doméstico e para as CGV. Em geral, os principais resultados indicam que o Brasil possui baixos níveis de emissões, em volume, quando comparado a China, mas que, em ambos os casos, as emissões estão mais associadas as demandas domésticas. Além disso, os dados revelam que as emissões chinesas incorporadas pela produção e consumo estão associadas a geração de energia e indústrias de alta intensidade energética, que é uma preocupação eminente entre os formuladores de políticas nacionais e internacionais. Para o Brasil, apesar do país ser um grande exportador de bens primários, a maior distribuição de emissões captadas pelas métricas é proveniente dos setores da indústria tradicional, e que, portanto, revelam espaços para o incentivo ao aumento da eficiência energética no país. Por fim, em ambos os casos, os parceiros regionais são os principais distribuidores e receptores de suas emissões.

Palavras-chave: Cadeias Globais de Valor; Gases efeito estufa; Mudanças climáticas; Responsabilidade climática.

ABSTRACT

This dissertation discusses the relationship between global value chains and greenhouse gas emissions, demonstrating how variations in foreign demand interfere in the pattern of domestic emissions for Brazil and China. This type of analysis is important because it allows us to have a broader view of the multiple agents that influence the productive structure of countries, and their respective roles and responsibilities for reducing environmental impacts propagated through international trade. With methodological referential of Chen et al. (2021) and Johnson and Noguera (2012), we propose an input-output analysis with data from the UNCTAD-EORA MRIO, which estimates the emissions embodied in trade, in the period from 2000 to 2016, considering the trade flows with the following regions: Common Market of the South (Mercosur); European Union; United States, Mexico and Canada (USMCA); East Asia and Rest of the World. The main contribution of this work is given by the comparative analysis of emissions embedded in traditional trade flows and GVC, of developing countries with the main economic regions of the world. Additionally, we propose a synthetic index of sectoral emissions for GVC (SE_{CGV}), being a proportion measure that indicates the composition of countries' total emissions between domestic market and GVC. In general, the results pointed out that Brazil has low levels of emissions, in volume, compared to China, but emissions are associated with domestic demands for both. Furthermore, the data reveals that Chinese production and consumption emissions are associated with power generations and energy intensive industries, which is a major concern among national and international policymakers. For Brazil, despite the country being a large exporter of primary goods, the largest emissions captured by the metrics comes from traditional industry sectors, and that, therefore, reveals rooms for improving energy efficiency in the country. Finally, regional partners are the main distributors and recipients of their emissions for both countries.

Keywords: Global-value chains; Greenhouse gas emissions; Climate change; Climate responsibility.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Matriz para mapeamento da dinâmica de upgrading/downgrading econômico e social	37
Tabela 2 – Estrutura MRIO.....	56
Tabela 3 – Exportações e importações brutas brasileiras por região (em %)	67
Tabela 4– Exportações e importações brutas chinesas por região (em %)	70
Tabela 5 – Variação das emissões setoriais domésticas e de participação em GVC: Brasil (em MtCO ₂ e)	77
Tabela 6– Variação das emissões setoriais domésticas e de participação em GVC: China (em MtCO ₂ e)	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1– Evolução das exportações e importações brutas de Brasil e China, no período 1991-2019.....	43
Gráfico 2– Indicadores de CGV para o Brasil, de 1990-2018.....	44
Gráfico 3– Indicadores de CGV para a China, de 1990-2018	45
Gráfico 4– Evolução das emissões de GEE, no período de 1970-2021: Brasil e China.....	48
Gráfico 5– Composição setorial das emissões de CO2e chinesas, no período de 1990-2016.	49
Gráfico 6– Composição setorial das emissões de CO2e brasileiras, no período de 1990-2016	51
Gráfico 7– Emissões totais brasileiras, incorporadas pelos encadeamentos backward e forward	66
Gráfico 8 – Emissões totais chinesas, incorporadas pelos encadeamentos backward e forward	70
Gráfico 9– Indicadores PBA, CBA e CGV: Brasil.....	73
Gráfico 10– Indicadores PBA, CBA e CGV: China.....	75
Gráfico 11– Indicador de emissões setoriais em CGV: Brasil e China	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Princípios para atribuição de responsabilidades por emissões incorporadas no comércio.....	29
Figura 2 – Decomposição das emissões em três métricas contábeis	60

LISTA DE SIGLAS/ABREVIACOES

AIE	Agência Internacional de Energia
AR	Assessment Report
BRIC	Brasil Rússia Índia China
CAP	Commodities Agrícolas Processadas
CBA	Consumption Based Accounting of Emissions
CBR	Consumption Based Responsibility
CGV	Cadeias Globais de Valor
CH4	Gs Metano
CI	Commodities Industriais
CO2	Dixido de Carbono
CO2e	Dixido de Carbono equivalente
COP	Conferncia das Partes
DVA	Domestic Vallue Added
DVX	Domestic Vallue Added in Exports
EEIT	Emissions Embodied In Trade
EF	Ecological Footprint
EKC	Environmental Kuznets Curve
EMN	Empresas Multinacionais
FVA	Foreign Vallue Added
GATT	General Agreement on Tariffs and Trade
GEE	Gases Efeito Estufa
GIC	Grupo de Indústria e Competitividade
GSC	Global Supply Chain
GVC	Global Vallue Chain Accounting of Emissions
HEM	Hypotetical Extraction Model
HRP	Hipótese de Refgio de Poluio
IBR	Income Based Responsibility
IDE	Investimento Direto Externo
IE	Instituto de Economia
II	Indústria Inovativa

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOT	Input-Output Tables
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change
IT	Indústria Tradicional
Mercosul	Mercado Comum do Sul
MRIO	Multi-Regional Input Output
MtCO ₂ e	Mega Tonelada de Carbono Equivalente
N ₂ O	Óxido Nitroso
NBSC	National Bureau Statistics of China
NDC	Nationally Determined Contributions
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OMC	Organização Mundial do Comércio
ONU	Organização das Nações Unidas
PBA	Production Based Accounting of Emissions
PBR	Production Based Responsibility
PNMC	Programa Nacional de Mudanças Climáticas
PPCDam	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
ROW	Rest of World
SDA	Structural Decomposition Analysis
SEEG	Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases Efeito Estufa
SR	Share Responsibility
SUT	Supply Use Tables
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
UE	União Europeia
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
USMCA	United States Mexico Canada
WITS	World Integrated Trade Solution

LISTA DE VARIÁVEIS

<i>Variáveis</i>	<i>Equação</i>	<i>Descrição</i>
A	$\left\{ \frac{z_{ij}^k}{x_j} \right\}$	Matriz de coeficientes técnicos global
A ^D	Matriz diagonal de A	Matriz de coeficientes técnicos doméstico
A ^F	A – A ^D	Matriz de coeficientes técnicos estrangeiro
B	$(I - A)^{-1}$	Matriz Inversa de Leontief Global
L	$(I - A^D)^{-1}$	Matriz Inversa de Leontief Doméstica
C	$\left\{ \frac{c_i^s}{x_i^s} \right\}$	Coefficiente de emissões
CBA	$\sum_{t=1}^M \sum_{j=1}^k c_i^s b_{ij}^{st} f_j^{st}$	Emissões incorporadas pelo consumo
E	A ^F X + Y ^F	Relações intermediárias e finais externas
EED_FD	$\sum_{j=1}^k c_i^r l_{ij}^r f_j^{rr}$	Emissões incorporadas na produção de bens finais e consumidas no mercado doméstico
EED_EX	$\sum_{s=1, s \neq r}^M \sum_{j=1}^k c_i^r l_{ij}^r f_j^{rs}$	Emissões incorporadas na produção de bens finais e exportados
EEIM_GVC	$\sum_{t'=1, t' \neq r}^M \sum_{t=1, t \neq r}^M \sum_{i=1}^k c_i^t l_{ij}^t A_{ij}^{tt} b_{ij}^t f_j^{rr}$	Emissões incorporadas em insumos intermediários importados e consumidas no mercado doméstico
EEM	$\sum_{t=1, t \neq r}^M \sum_{i=1}^k c_i^t l_{ij}^t f_j^{tr}$	Emissões incorporadas em bens finais importados e consumidas no mercado doméstico
EEP_GVC	$\sum_{s=1, s \neq r}^M \sum_{t'=1, t' \neq r}^M \sum_{t=1, t \neq r}^M \sum_{i=1}^k c_i^t l_{ij}^t A_{ij}^{tt'} b_{ij}^{t'r} f_j^{rs}$	Emissões incorporadas em bens intermediários importados para produção final doméstica e re-exportados
GVC	$\sum_{s=1}^M \sum_{t=1}^M X \sum_{t=1}^M \sum_{j=1}^k c_i^s b_{ij}^{st} f_j^{st}$	Emissões incorporadas em CGV
PBA	$c_i^s \sum_{t=1}^M \sum_{j=1}^k b_{ij}^{st} f_j^{st}$	Emissões incorporadas pela produção
PBA_FD	$c_i^s \sum_{j=1}^k l_{ij}^s f_j^{ss}$	Emissões incorporadas na produção final doméstica para o mercado doméstico
PBA_FDr	$c_i^r \sum_{s=1, s \neq r}^M \sum_{j=1}^k l_{ij}^s A_{ij}^{sr} b_{ij}^{rs} f_j^{ss}$	Emissões incorporadas na produção de bens intermediários exportados, mas consumidos no mercado doméstico
PBA_EX	$c_i^t \sum_{r=1, r \neq s}^M \sum_{j=1}^k l_{ij}^s f_j^{sr}$	Emissões incorporadas na produção final doméstica para o mercado externo
PBA_GVC	$c_i^t \sum_{t'=1, t' \neq s}^M \sum_{t=1, t \neq s}^M \sum_{r=1, r \neq s}^M \sum_{j=1}^k l_{ij}^s A_{ij}^{sr} b_{ij}^{rt} f_j^{tt}$	Emissões incorporadas na produção de bens intermediários e consumidos no exterior
V	$\left\{ \frac{v_j^k}{x_j^k} \right\}$	Coefficiente de Valor agregado

SE_{CGV}	$\frac{EE_{CGV_i^s}/Y_j^{f^s} - EE_{FD_i^s}/Y_i^{d^s}}{EE_{t_i^s}/Y_i^s}$	Emissões setoriais em CGV
Y	Base de dados	Demanda final
Y^d	Base de dados	Demanda final doméstica
Y^f	Base de dados	Demanda final estrangeira

SOBRE/SUBSCRITOS E SÍMBOLOS ALGÉBRICOS

\wedge	Operador diagonal
'	Operador Transposta
i	Vetor unitário
i, j	Setor
k e G	Países
I	Matriz Identidade
M	Todos os setores
r	País (ou região) parceiro comercial
s	País (ou região) produtor
t e t'	País (ou região) terceiro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	16
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
1.1 A introdução da dimensão ambiental no debate sobre desenvolvimento econômico: uma breve recapitulação histórica.....	20
1.2 Comércio internacional, fragmentação da produção e emissões de gases de efeito estufa.....	25
1.3 O conceito de <i>upgrading</i> nas cadeias globais de valor e a importância da dimensão ambiental.....	35
1.4 Uma breve análise do padrão de participação e posicionamento nas cadeias globais de valor e de emissões do Brasil e da China, no período recente	42
1.4.1 Caracterização do padrão de inserção do Brasil e da China nas cadeias globais de valor.....	42
1.4.2 Caracterização do padrão de emissões do Brasil e da China.....	47
2 METODOLOGIA.....	54
2.1 Análise de participação em Cadeias Globais de Valor	54
2.2 Base de dados: UNCTAD-EORA	61
3 ANÁLISE DOS RESULTADOS	65
3.1 Padrão de emissões e participação em cadeias globais de valor	65
3.1.1 Origem e destino das emissões de gases efeito estufa	65
3.2 Decomposição das emissões	71
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
REFERÊNCIAS.....	86
APÊNDICE A.....	99
APÊNDICE B.....	100

INTRODUÇÃO

A ascensão da dimensão ambiental como norteadora de políticas de desenvolvimento econômico ocorre em paralelo ao agravamento da crise climática global. Os relatórios divulgados pelo Painel Intergovernamental de mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês) (IPCC, 2007; 2014; 2018) apresentam evidências sobre o processo de aquecimento global e mudanças climáticas associados a intervenção antrópica aos sistemas naturais, e dão previsibilidade à uma crise climática, sem precedentes, em caso de manutenção dos padrões de poluição global.

Neste contexto, no âmbito da Organização das Nações Unidas (ONU), os países têm buscado alternativas de desenvolvimento que sejam ambientalmente sustentáveis e socialmente justas, como forma de coibir o avanço das mudanças climáticas e proteger as populações mais vulneráveis, que absorvem, em grande medida, o ônus da crise (UN, 2015b). No entanto, a consolidação de um mundo globalizado, formado por sistemas difusos de interconexão econômica e cultural entre países, cria dificuldades na construção de soluções globais equitativas.

As disparidades socioeconômicas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento são refletidas na esfera ambiental por meio da relação entre poluição, crescimento econômico e estrutura institucional, que criam uma tendência de concentração da poluição em regiões com menores níveis de renda, transformando-as em “refúgios de poluição”. Esta dinâmica alocativa da poluição, que está presente em uma vasta literatura (WALTER, UGELOW, 1979; COLE, ELLIOT, 2003; TAYLOR, 2005; DUAN et al., 2020), estabelece conexões históricas entre o padrão de acumulação capitalista e a degradação ambiental, e que encontra um meio de propagação nas relações contemporâneas de produção e comércio internacional.

O fenômeno da globalização, que permitiu a maior interconectividade entre os países, incidiu sobre a organização da estrutura produtiva global. A maior funcionalidade dos negócios à longas distâncias, graças ao avanço das tecnologias de informação e comunicação, estimularam o processo de fragmentação da produção, no qual as etapas intermediárias são transferidas para diferentes economias, formando as denominadas Cadeias Globais de Valor (CGV). A introdução do modelo de CGV alterou a lógica tradicional da produção voltada ao comércio exterior, de forma que as relações entre empresas para produção final passam a ser multilaterais, com fluxos comerciais intermediários que atravessam múltiplas fronteiras e se conectam em diferentes sentidos. Desta forma, estas relações formaram um novo padrão de

comércio internacional, que desafiam o estudo da criação e distribuição do valor na economia global (MARCATO, BALTAR, 2020).

A inserção internacional, por meio das CGV, pode ser observada como uma forma de auferir ganhos econômicos através de estímulos ao desenvolvimento produtivo, principalmente para as economias emergentes. Na literatura (HUMPHREY; SCHMITZ, 2002; KAPLINSKY; MORRIS, 2003), são definidas trajetórias e oportunidades para evolução das empresas a partir das CGV, que usualmente remetem ao avanço das empresas para as etapas de maior valor agregado, definido pelo conceito de *upgrading* industrial ou econômico.

Entretanto, para além da dimensão econômica, a participação em CGV também produz efeitos sobre as dimensões social e ambiental. A reconfiguração geográfica da produção e, portanto, de processos industriais, pode fortalecer a dinâmica de distribuição de atividades poluentes para países em desenvolvimento, uma vez que o posicionamento em cadeias corresponde as capacidades estruturais e institucionais dos países integrantes (ARCE et al., 2012). Adicionalmente, observa-se que a organização da produção em sistemas compartilhados dificulta a atribuição de responsabilidades pelas externalidades ambientais negativas geradas ao longo do processo produtivo e comercial e que, portanto, comprometem o enfrentamento às mudanças climáticas.

Nessas condições, a incorporação de ideias de sustentabilidade às relações em cadeias de produção, que são representadas através do conceito de *upgrading* ambiental, tem sido encorajada e objetivam redução de custos econômicos e ambientais de processos e produtos realizados ao longo das CGV (DE MARCHI et al., 2019). A busca por uma estratégia ganha-ganha entre meio ambiente e economia, é perseguida como uma solução efetiva para os problemas ambientais e que é capaz de garantir a realização, por definição, do desenvolvimento sustentável. No entanto, é importante destacar que, para diferentes autores (NATHAN; SARKAR, 2013; OECD; WTO; UNCTAD, 2013), o *upgrading* não deve ser considerado um processo automático à participação em cadeias ou que gera sempre resultados positivos e mútuos às dimensões socioambientais, sendo ressaltadas, portanto, a importância do desenvolvimento de capacidades e a execução de uma governança inteligente para criação de um ambiente interno favorável de negócios para a evolução das empresas.

Portanto, a partir destas considerações, propomos uma análise comparativa para a interação de dois países às redes de produção CGV, Brasil e China. A seleção dos países é motivada, primeiro, pela dimensão do mercado interno e protagonismo regional; segundo, por se tratar de

países em desenvolvimento; terceiro, pela existência de uma parceria comercial estratégica entre eles; quarto, pelo posicionamento em etapas distintas em CGV; e, por último, pelas diferentes trajetórias de desenvolvimento percorrida ao longo deste século. Deste modo, com base nas contribuições metodológicas de Chen et al. (2021) e Johnson e Noguera (2012) para decomposição estrutural de relações em CGV, propomos um estudo de análise insumo-produto matriz multirregional (MRIO), que estima as emissões incorporadas na produção e consumo de bens e serviços dos países, considerando os fluxos comerciais com as seguintes regiões: Mercado Comum do Sul (Mercosul); União Europeia; Estados Unidos, México e Canadá (USMCA); Ásia Leste e Resto do Mundo.

O objetivo deste estudo consiste em observar como a inserção internacional e os estímulos de demanda global e doméstica, para o comércio tradicional e de CGV, são traduzidos em termos emissões de gases efeito estufa (GEE) nos países. A partir disso, a pergunta geral que conduz a discussão é: qual o padrão estrutural de emissões de GEE de Brasil e China? A demanda externa e de CGV influi sobre este padrão? E, mais especificamente, quais são os setores e posições em cadeia de maior impacto ambiental, em termos de emissões de GEE? A análise avalia os resultados de indicadores de emissões em relações comerciais entre os anos de 2000 e 2016, período que abrange as fases pré e pós-crise financeira de 2008, evento que impactou diretamente a dinâmica produtiva global.

As principais contribuições deste trabalho são dadas pela análise comparativa dos efeitos das transações comerciais, em termos de emissões incorporadas pela produção e consumo das transações de países em desenvolvimento com as principais regiões econômicas do mundo, que é pouco tratado na literatura. Adicionalmente, propomos a construção do indicador sintético de *emissões setoriais para CGV*, sendo uma medida de proporção que indica como se dividem as emissões totais dos países entre o abastecimento do mercado doméstico e as CGV. Esta discriminação oferece uma visão agregada e setorial sobre as emissões que são geradas localmente para suprir as demandas em CGV, oferecendo insumos para avançar nas discussões sobre responsabilidade e justiça climática.

Em geral, os principais resultados indicam que os países apresentam níveis, em volume, muito distintos de emissões de GEE associadas a bens e serviços, de forma que o fenômeno de crescimento contemporâneo da China tem sido marcado pelo aumento progressivo das emissões. No entanto, tanto para Brasil quanto para China, a geração de emissões esteve mais associada ao abastecimento do mercado doméstico. Além disso, os dados revelam que as

emissões chinesas incorporadas pela compra e venda de bens e serviços, tanto no mercado doméstico quanto externo, estão vinculadas a demanda de setores e indústrias de alta intensidade energética, associados a dependência de combustíveis fósseis. Para o Brasil, a maior distribuição de emissões pela venda de bens e serviços é proveniente dos setores da indústria tradicional e que, portanto, revelam espaços para o aumento da eficiência energética do país. No entanto, neste caso específico, destacamos sobre as emissões por mudança de uso na terra, que compõe grande parte das emissões totais brasileiras, mas que não são captadas pelas métricas utilizadas. Por fim, em ambos os casos, os parceiros regionais são os principais distribuidores e receptores das emissões dos países.

Portanto, além desta introdução, o presente trabalho está dividido em três capítulos principais. O primeiro, inicialmente, apresenta uma revisão histórica da incorporação das questões ambientais nas discussões de desenvolvimento econômico, comércio internacional e CGV, para, posteriormente, apresentar os fatos estilizados sobre a participação em CGV e de emissões de GEE do Brasil e China. O segundo, faz uma descrição da metodologia, apresentando os indicadores e base de dados utilizada. O terceiro capítulo apresenta uma análise descritiva dos principais resultados obtidos e, por último, encerramos com as considerações finais.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, inicialmente apresentamos uma revisão histórica da incorporação das questões ambientais e de mudanças climáticas no debate sobre desenvolvimento econômico, apontando seus principais avanços e desafios. Em seguida, paralelo ao debate climático, o período também é caracterizado pelo desenvolvimento tecnológico e científico, principalmente nos setores das tecnologias da informação e comunicação, que estimularam o processo de globalização produtiva e financeira. Essas transformações tecnológicas permitiram a fragmentação da produção entre diferentes países, possibilitando a emergência das CGV. Desta forma, a inclusão da dimensão ambiental no debate sobre desenvolvimento econômico ocorre ao mesmo tempo de uma maior integração comercial e produtiva entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Essa maior integração entre os países promoveu a reconfiguração geográfica da indústria manufatureira, permitindo com que as empresas multinacionais deslocassem as atividades mais poluentes do processo produtivo aos países em desenvolvimento, fenômeno estudado como formação de refúgios de poluição (*pollution havens*). Assim, procuramos discutir a relação entre este novo padrão de comércio internacional de CGV e os impactos sobre meio ambiente ao redor do mundo, propriamente a questão das emissões de gases de efeito estufa (GEE), apresentando os principais conceitos para análise e tratamento desta questão. Por fim, como o objetivo central deste trabalho consiste em fornecer uma contribuição empírica por meio de um estudo de caso, discutimos o perfil produtivo, exportador e emissor de GEE dos países objeto desta análise: Brasil e China.

1.1 A introdução da dimensão ambiental no debate sobre desenvolvimento econômico: uma breve recapitulação histórica

As preocupações com os impactos do modelo de crescimento econômico capitalista ao meio ambiente são objeto de discussão em fóruns internacionais desde o final da década de 1950. Esse período corresponde a ocorrência de desastres ambientais – como o *The great London Smog*¹, em 1952 (LASKIN, 2006), e *Minamata disease*², no Japão, em 1956 (MURATA, KARITA, 2022) –, nos quais a rápida industrialização era apontada como um dos

¹ Grande nevoeiro, na cidade de Londres, causado pela fumaça produzida dos processos industriais de combustão expelidos pelas chaminés das fábricas.

² Contaminação da baía de Minamata, no Japão, por resíduos químicos que causaram danos ao ecossistema.

principais fatores explicativos desses eventos. Neste contexto, o relatório “*Limits to Growth*”, elaborado pelo Clube de Roma³ em 1972, causou forte impacto sobre a comunidade internacional, propondo a alternância do modelo de crescimento e desenvolvimento econômico vigente, a fim de evitar um cenário de catástrofe humanitária (KRÜGER, 2001).

No entanto, a natureza sistêmica e complexa da problemática ambiental, em nível global – que, neste caso, é definida pelas questões de mudanças climáticas –, impõe grandes desafios para a formulação e adoção de políticas econômicas de enfrentamento dessas questões. Souza e Corazza (2017) argumentam que, como as mudanças climáticas compõe o debate das denominadas questões de “fronteiras planetárias”⁴, as principais dificuldades estão associadas a noção de causalidade em sistemas difusos, que dificulta a atribuição de responsabilidades, assim como do seu caráter cumulativo e da presença de um interregno temporal entre a aplicação de medidas e repercussão de seus efeitos.

Apesar dessas dificuldades, segundo Bereiter et al. (2015), estudos revelam que desde a década de 1950, o aumento da temperatura média global tem sido associado ao aumento da concentração dos denominados gases efeito estufa⁵ na atmosfera terrestre, provocadas por ações antrópicas e que influenciam a ocorrência de fenômenos geofísicos (ALLEN et al., 2018). Considerando as duas primeiras décadas dos anos 2000, pesquisas demonstram que houve um aumento de 20ppm (parte por milhão) da concentração de dióxido de carbono (CO₂) por década, que representa uma elevação muito acelerada em relação aos 800mil anos passados (MASSON-DELMOTTE et al., 2013)

Diante deste cenário, a proposta de enfrentamento às mudanças climáticas e construção de uma agenda de desenvolvimento passam a ser encaradas como uma questão coletiva, sendo conduzidas por organismos multilaterais, no âmbito da Organização das Nações Unidas (ONU). Nesse sentido, em 1992, a conferência Eco-92 da ONU, realizada no Rio de Janeiro/Brasil, obteve êxito na formulação de uma estratégia voltada ao desenvolvimento

³ O Clube de Roma foi criado em 1968, reunindo diversos especialistas e cientistas de diferentes áreas do conhecimento para discussão sobre as crises atuais e o futuro da humanidade.

⁴ Termo definido por Rockstrom et al. (2009) que atribui uma noção sistêmica sobre as relações entre a ação antrópica e os sistemas naturais, com finalidade de identificar os limites operacionais seguros da ação humana, de forma a evitar os riscos à integridade do planeta Terra.

⁵ Os GEE são classificados como uma combinação de gases na atmosfera que causam a elevação da temperatura global (ou que potencializam os efeitos do gás carbônico) e que, portanto, são quantificados pela métrica de carbono equivalente (CO₂e). Os principais gases mapeados são o gás carbônico (CO₂), óxido nitroso (N₂O), gás metano (CH₄) e outros do grupo de hidrocarbonetos (Lashof, Ahuja, 1990).

sustentável⁶ global, promovendo a cooperação internacional entre os países para a implementação de políticas transversais, integrando as esferas econômica, social e ambiental (SAWYER, 2011).

Dentre os diversos desdobramentos da Eco-92, destaca-se a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas (UNFCC, sigla em inglês), representando a institucionalização da busca por soluções conjuntas destinadas ao enfrentamento das questões climáticas (OKEREKE, CONVERY, 2016). A partir desse marco institucional, a UNFCC assume o papel de promover o debate sobre a adoção de medidas para mitigação e adaptação climática entre as entidades membros, que são chamadas de Partes. Para isso, são realizadas rodadas internacionais periódicas, denominadas Conferência das Partes (COP), com o objetivo de criar ambientes de negociação para implementação de metas e acordos, em diferentes níveis (SOUZA, CORAZZA, 2017). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês), que foi criado em 1988, no âmbito da UNFCC, é consolidado como um mecanismo de divulgação científica e de orientação política para o entendimento e enfrentamento das mudanças climáticas, atribuindo a devida importância à comunidade científica mundial na luta contra as mudanças climáticas (VIOLA, 2002).

Nesse sentido, estimula-se o engajamento dos países por meio das discussões e negociações internacionais com o objetivo de redução e mitigação das emissões de GEE. O Protocolo de Kyoto⁷, em 1997, representou um esforço nessa direção, propondo a implementação de um regime climático internacional⁸ entre os países industrializados, denominado como Anexo I – que eram os países da União Europeia, Estados Unidos, Canadá, Federação Russa e Japão –, para adoção de metas de redução de emissões de CO₂, a serem atingidas entre 2008 e 2012 (BOHRINGER, 2003). Este arranjo representa uma tentativa de estabelecer um compromisso “moral” em prol da redução das emissões de GEE, visto que estes eram, reconhecidamente, no ano base de 1990, os responsáveis pelo acúmulo de cerca de 80,9% da concentração de CO₂ na atmosfera, devido ao ritmo de crescimento econômico impulsionado pela queima de combustíveis fósseis (SOUZA, CORAZZA, 2017).

⁶ O termo desenvolvimento sustentável foi definido pelo Relatório Brundtland, em 1987, que integra as vertentes econômicas, sociais e ambientais e propõe um modelo de desenvolvimento que visa atender as demandas presentes, sem comprometer as gerações futuras (Jacobs, 1999).

⁷ Ver Bohringer (2003)

⁸ Tipo de regime internacional voltado às mudanças climáticas, que visa a normatização, regulação e adoção de procedimentos padrões transnacionais. Existem diferentes abordagens e perspectivas de regimes internacionais na área de Economia Política Internacional, que são encontradas em Young (1982; 2011).

Entretanto, os princípios do Protocolo de Kyoto foram confrontados pela complexidade do processo de atribuição de responsabilidades históricas vinculadas as mudanças climáticas, além de sofrer resistência por questões de ordem econômica. Estes pontos, acompanhadas do avanço do processo de industrialização de economias emergentes – tais como os países do BRIC (Brasil, Rússia, Índia, China) – contribuem, em parte, para explicar as dificuldades nas negociações⁹ e cumprimento do regime de Kyoto (SOUZA, CORAZZA, 2017).

Em 2007, a publicação do Quarto Relatório de Avaliação (AR4) pelo IPCC enfatiza a necessidade de repensar a arquitetura do regime climático internacional. No documento, são evidenciados a relação entre as ações antrópicas – que faz referência, principalmente, a queima de combustíveis de origem fóssil para produção e consumo de energia, uso da terra e crescimento populacional – e o aumento da temperatura do planeta, por meio das emissões de GEE, alertando sobre os futuros cenários globais possíveis (IPCC, 2007).

As estimativas do relatório IPCC (2007; 2018), ao comparar os períodos pré¹⁰ e pós-industriais, demonstraram que as atividades humanas foram responsáveis por uma elevação média de 0,85 °C da temperatura do planeta entre os anos de 1880 e 2012, causando efeitos graves e que serão sentidos por centenas de anos. No entanto, a principal preocupação dos especialistas diz respeito aos cenários previstos em caso de manutenção do ritmo de crescimento das taxas de emissões de GEE, que estimaram uma elevação de 1,5°C da temperatura global entre 2030 e 2052.

Este cenário anuncia fortes mudanças climáticas, em nível regional e global, que ameaçam a sobrevivência dos ecossistemas e atravessa diversas áreas da sociedade. Os principais efeitos sobre o meio ambiente previstos são: o aumento médio da temperatura terrestre e dos oceanos – com aumento de nível e da acidificação, que pode causar danos graves ou irreversíveis à biodiversidade (IPCC, 2014) –, a ocorrência de temperaturas extremas e com elevação de precipitação em algumas regiões, ao mesmo tempo que aumenta a probabilidade de período de secas prolongadas em outras, ameaçando os ecossistemas terrestres de reprodução natural (IPCC, 2018). As regiões que estão mais sujeitas aos impactos são as

⁹ As negociações do regime de Kyoto passaram por momentos críticos e que culminaram na não ratificação do Protocolo pelos Estados Unidos (Viola, 2002); o reconhecimento da Rússia como uma economia de mercado pela UE, em troca de sua ratificação (Bueno, 2016); e a saída do Canadá em 2011 (Schemeller, 2011).

¹⁰ O período pré-industrial é definido pela fase que antecede a expansão da atividade industrial em larga escala, com período base em 1750.

pequenas ilhas, regiões costeiras, megacidades e áreas montanhosas, expondo as populações mais vulneráveis destas localidades à riscos sem precedentes (ALBERT et al., 2017).

Diante deste cenário, Rubial (2016) argumenta que, em meados de 2009, a demanda pela implementação de um novo regime climático se tornou emergencial. O processo de desconstrução do regime de Kyoto esteve alinhado a construção de uma aliança junto às economias emergentes durante a COP 15 de Copenhague/Dinamarca, em 2009, e que se materializou, em 2015, no “Acordo de Paris”, assinado durante a 21ª COP em Paris/França. Como um dos principais entraves das negociações entre as Partes, no regime de Kyoto, esteve vinculado às emissões correntes (totais ou acumuladas) de países que não estavam agrupados no Anexo I, a construção do Acordo de Paris propõe um regime de coalização mais amplo e integrado, com metas nacionais definidas pelas Partes (NDC, sigla em inglês) e negociadas no campo diplomático.

Entre as metas acordadas pelo Acordo de Paris¹¹, podemos destacar: (a) o comprometimento na adoção medidas que limitam a elevação da temperatura global, preferencialmente, em 1,5°C em relação ao período pré-industrial; (b) incentivo ao ganho de habilidades nos projetos voltadas a adaptação climática; (c) desenvolvimento de tecnologias e infraestrutura para mitigação de efeitos climáticos; (d) utilização de mecanismos financeiros internacionais; (e) aplicação de estratégias de desenvolvimento resilientes às mudanças climáticas (UN, 2015a).

Nesse contexto de rápidas mudanças climáticas e de maior integração econômica entre os países, a formação de uma agenda global de desenvolvimento passa, então, a ser orientada ao cumprimento do Acordo de Paris, que visa a realização de um modelo de desenvolvimento equitativo e resiliente. Isso porque, como a magnitude dos riscos varia de acordo com a posição geográfica, clima e nível de desenvolvimento dos países, as consequências do aquecimento global são mais severas sobre as regiões e populações mais vulneráveis (UN, 2015a). Nesse sentido, as prioridades para o enfrentamento das mudanças climáticas foram elencadas na “Agenda 2030”, elaborada pela ONU em 2015. A agenda é composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)¹², subdivididos em 169 metas, que orientam a execução

¹¹ No campo da Economia Política Internacional, não há consenso sobre o sucesso ou fracasso deste novo regime climático internacional, entretanto, analistas observam que o Acordo de Paris representa uma vitória no campo diplomático para o tratamento de questões climáticas (DIMITROV, 2016), de modo que tenta corrigir as falhas encontradas no regime de Kyoto (BUENO, 2016).

¹² Segundo a UN(2015), os ODS são: 1) erradicação da pobreza, 2) fome zero e agricultura sustentável, 3) saúde e bem-estar, 4) educação de qualidade, 5) igualdade de gênero, 6) água potável e saneamento, 7) energia limpa e

de um planejamento sistemático para aplicação de soluções sociais, econômicas e ambientais, e que incorpora a equidade como uma dimensão integral das trajetórias de desenvolvimento sustentável (UN, 2015b).

No escopo da agenda, a redução das emissões de GEE é colocada como um ponto de partida para o alcance das metas previstas. O relatório AR5 do IPCC (2014) evidencia os aspectos desta relação, de forma que qualquer trajetória factível de desenvolvimento sustentável depende da limitação do aquecimento global ao nível de 1,5°C e que, portanto, a estratégia implementada deve ser pautada: pela busca do descolamento do crescimento econômico ao aumento do nível de emissões de GEE – o que remete ao incentivo a descarbonização¹³ das estruturas produtivas – transição energética e mudança no padrão de consumo dos países. As organizações internacionais têm se empenhado na execução desta agenda, mas reconhecem as dificuldades e desafios para condução planejada do processo de mudança estrutural sustentável (SAVONA, CIARLI, 2019), que são impactados pelas desigualdades históricas entre países, imersos em um contexto de globalização.

1.2 Comércio internacional, fragmentação da produção e emissões de gases de efeito estufa

As últimas décadas do século XX, período histórico marcado pela introdução da dimensão ambiental no debate sobre crescimento e desenvolvimento econômico, são caracterizadas também por um rápido progresso científico e tecnológico¹⁴, que promoveram mudanças de paradigmas e causaram grandes transformações sobre o funcionamento da economia global (ROSEMBERG, 1994).

A globalização¹⁵ é um fenômeno que resulta deste movimento, no qual temos o interesse pela expansão das fronteiras culturais, sociais e econômicas, por meio do

acessível, 8) trabalho decente e crescimento econômico, 9) indústria, inovação e infraestrutura, 10) redução das desigualdades, 11) cidade e comunidades sustentáveis, 12) consumo e produção responsáveis, 13) ação contra a mudança global do clima, 14) vida na água, 15) vida terrestre, 16) paz, justiça e instituições eficazes e 17) parcerias e meios de implementação.

¹³ A iniciativa *Deep Decarbonization Pathways Project* (DDPP) tem sido uma ferramenta metodológica importante, que auxilia os governantes na formulação de políticas climáticas nacionais para condução à uma rota de neutralidade de emissões de carbono, a fim de evitar o cenário de aumento da temperatura global (BATAILLE et al., 2016).

¹⁴ Rothwell (1992) argumenta sobre a aceleração das mudanças tecnológicas, processos inovativos e formas de comercialização, definindo que, a partir da década de 1990, temos um modelo mais integrado

¹⁵ A globalização é um fenômeno multifacetado, que recebe diferentes definições para diferentes aplicações. Do ponto de vista produtivo e comercial, a globalização é considerada o aumento das transações comerciais

desenvolvimento de tecnologias da informação e da comunicação (TIC) e da redução dos custos de transporte entre os países. O debate sobre os impactos da globalização ao comércio internacional e meio ambiente teve início na década de 1990, por meio da divulgação de estudos empíricos promovidos pelo Tratado Norte-Americano de Livre Comércio (NAFTA, sigla em inglês).

A avaliação ambiental de Grossman e Krueger (1993), além de lançar uma ampla literatura sobre as consequências ambientais do crescimento econômico, desenvolveram estudos empíricos e um modelo computacional potencial. O trabalho teórico inspirado por suas descobertas ampliou ainda mais o interesse pelo desenvolvimento de métodos que incorporassem as preocupações ambientais nos modelos de comércio padrão, em um contexto de expansão do modelo de liberalização do comércio internacional (COPELAND; TAYLOR, 1994, 1995).

As consequências ambientais associadas as liberalizações comerciais são discutidas em alguns estudos (COPELAND, TAYLOR, 1994, 2004; COPELAND, 2005), que procuraram identificar as características-chaves dessa interação e as diferentes perspectivas presentes neste debate. Para os defensores da liberalização, o comércio pode oferecer uma situação “ganha-ganha” para o meio ambiente e economia, pois considerando a qualidade ambiental como um bem normal, o crescimento da renda induzido pelo comércio faz com que as pessoas aumentem sua demanda e preferências por um meio ambiente limpo e preservado, o que, por sua vez, incentiva as empresas a adotarem técnicas de produção mais limpas. Por outro lado, para os críticos, se não houver mudança das técnicas de produção, o aumento da escala da atividade econômica induzida pelo aumento do comércio deve impactar o meio ambiente e deteriorar a qualidade ambiental.

Outro ponto levantado nessa discussão é, se a qualidade ambiental é considerada um bem normal, as economias em desenvolvimento tendem a adotar padrões mais flexíveis de regulamentação e fiscalização ambiental (LOW, 1996). Dessa forma, dadas as desigualdades na distribuição mundial de renda, a liberalização do comércio pode causar um impacto de transferência das indústrias intensivas em poluição para os países em desenvolvimento, movimento que é estudado como Hipótese de Refúgios de Poluição (HRP) (FRANKEL, 2009).

internacionais, acrescidas da expansão de fronteiras institucionais (incluindo empresas multinacionais, agências internacionais e organizações não governamentais), de investimento direto externo e integração do mercado de capitais (Deardoff, Stern, 2002).

A HRP é definida como o aumento da poluição industrial nos países em desenvolvimento – principalmente nos países asiáticos, africanos e latino-americanos – em decorrência da ausência de um aparato normativo regulatório robusto ou eficaz, o que determina a formação de uma estrutura produtiva “suja” (COLE, ELLIOT, 2003; DUAN et al., 2020). Esse movimento é acompanhado da redução na participação de indústrias e processos poluentes nos países desenvolvidos, demonstrando que, por meio do controle normativo industrial e da condução do processo de mudança estrutural por ideais sustentáveis – como, por exemplo, o incentivo às políticas de transição energética, incorporação de processos tecnológicos e inovação (OCDE, 1999) –, temos a predominância de indústrias e setores “limpos” nos países desenvolvidos (SAVONA, CIARLI, 2019). Nestas condições, os efeitos desse tipo de interação díspar são propagados e estimulados por meio do comércio internacional, que atua como um mecanismo de realocação da poluição de acordo com o perfil institucional e econômico dos países (COLE, ELLIOT, 2003).

Grossman e Krueger (1995) trazem outra interpretação para este debate, argumentando sobre a relação entre nível de renda e deterioração ambiental. Os autores consideram que a deterioração ambiental é crescente à baixos níveis de renda, mas a medida em que a renda cresce até determinado ponto crítico, a trajetória da poluição passa a ser decrescente no longo prazo. Essa relação é referenciada como uma analogia ao estudo de Kuznets sobre a desigualdade de renda, que remete a curva no formato de U invertido como Curva de Kuznets Ambiental (EKC, na sigla em inglês). Desta forma, entende-se que, se o comércio leva ao crescimento, o incentivo ao comércio ajudará os países a atingir o ponto de inflexão e reduzir a poluição no longo prazo¹⁶.

Nesse sentido, as análises de HRP e EKC assinalam e interpretam os principais aspectos da interação entre comércio e o meio ambiente. Segundo o relatório da WTO (2021), os principais impactos do comércio internacional sobre a questão de mudanças climáticas, estão vinculadas as emissões de GEE geradas pela produção, transporte e consumo de bens e serviços. Nesse sentido, a contabilização das emissões de GEE incorporadas no comércio internacional (EEIT, sigla em inglês), se torna uma medida importante para o entendimento da

¹⁶ Empiricamente, evidências em apoio ao EKC foram encontradas para vários poluentes (Grossman e Krueger 1993; Grossman e Krueger 1995; Kleemann e Abdulai 2013; Selden e Song 1994), incluindo dióxido de carbono (pelo menos para países ricos; ver Musolesi et al., 2010). No entanto, essas descobertas foram criticadas. Harbaugh et al (2002) apontam a sensibilidade desses estudos para a especificação do modelo, qualidade dos dados e definição da variável dependente (por exemplo, que tipo de poluentes são considerados). Outra fonte de crítica é que muitos desses estudos são testados em dados transversais, o que ignora a dinâmica e a heterogeneidade da trajetória de poluição de cada país.

dinâmica de transferência de poluição por meio dos fluxos comerciais e que auxiliam na elaboração de políticas consistentes. Fundamentalmente, as métricas de EEIT permitem a contabilização as emissões do tipo territorial, que estão vinculadas as emissões locais gerada pela produção, e as emissões incorporadas pelo consumo de insumos e bem finais entre países (STEINBERGER et al., 2012). A análise de EEIT acompanhada da formulação de políticas que atribuam responsabilidades aos agentes envolvidos, são considerados meios fundamentais de promover a mitigação de externalidades ambientais negativas de forma direta (LENZEN, MURRAY, 2010).

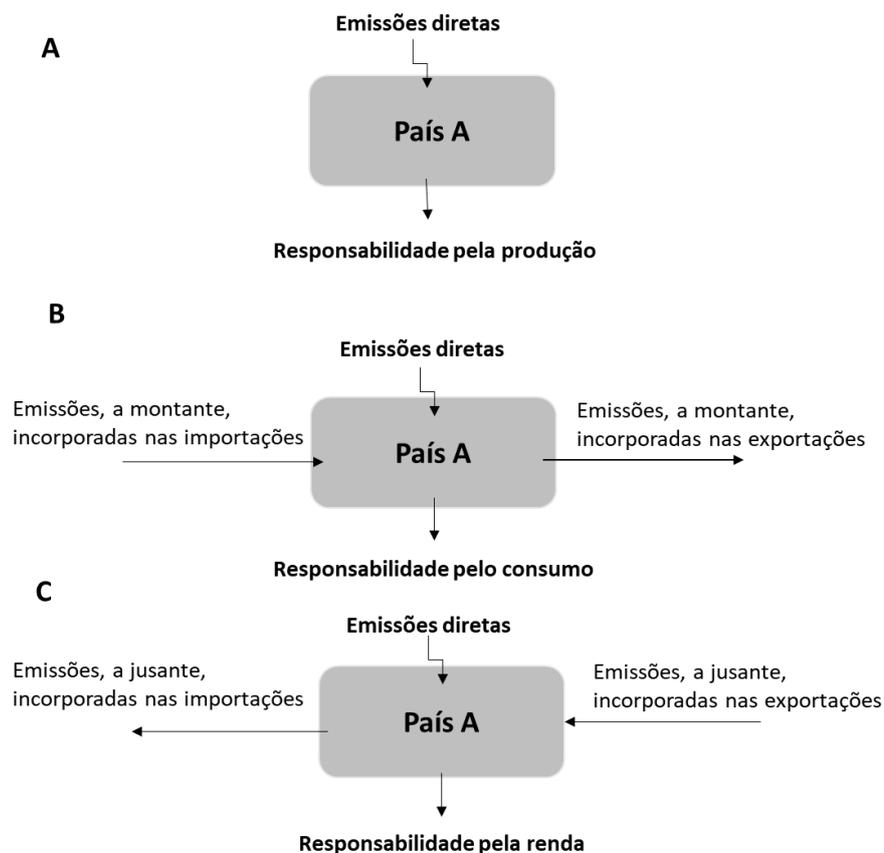
Na literatura, é possível encontrar diversos estudos que tratam sobre a relação entre EEIT e comércio, assim como da atribuição de responsabilidade por emissões geradas pela produção e consumo (ANDREW, FORGIE, 2008; WEI et al., 2014; JIANG, CHEN, YANG, 2018; WOOD et al., 2018; TUKKER, WOOD, GILJUM, 2018; SATO, 2014; WIEDMANN, 2009; WIEDMANN et al., 2007). No entanto, a maioria das revisões e análises existentes são pouco abrangentes, discutindo separadamente os dados de EEIT das questões de atribuição de responsabilidades.

A discussão sobre a responsabilidade pelas emissões tornou-se cada vez mais decisiva desde o acirramento das negociações pós-Kyoto (FRANKEL, 2009), mas que são permeadas por questões teóricas problemáticas, tais como: quando os produtos são produzidos para atender às necessidades externas, quem é o responsável pelos problemas ambientais decorrentes da produção desses bens exportados? É responsabilidade do país exportador instar a empresa exportadora a melhorar seu processo produtivo? Ou é responsabilidade do país importador criar preferências de consumo ecologicamente corretas? Ou, até mesmo, se a responsabilidade pode ser dividida proporcionalmente entre países exportadores e importadores?

Diante destas dificuldades, Lenzen (2008), Lenzen e Murray (2010), Marques et al. (2012) e Zhang (2013) discutem e aplicam uma conceitualização teórica para condução prática de atribuição de responsabilidades por emissões, estabelecendo três princípios para atribuição: responsabilidade pela produção (PBR, sigla em inglês), que considera os produtores são responsáveis por todo o impacto ambiental gerado pela produção; responsabilidade baseada no consumo (CBR, sigla em inglês), que atribui a responsabilidade aos componentes do lado da demanda (famílias, governo, importadores); responsabilidade baseada na renda (IBR, sigla em inglês), responsabilidade atribuída aos provedores dos insumos primários (trabalhadores,

investidores, governo e exportadores), que obtém renda a partir das atividades emissoras; e, por fim, o princípio de responsabilidade compartilhada (SR, sigla em inglês), que remete a atribuição de responsabilidade entres todos os agentes envolvidos (produtores, consumidores e aos que capturam a renda). A Figura 1 abaixo ilustra esse esquema, na qual o sentido da flecha aponta a direção do fluxo de emissões.

Figura 1 – Princípios para atribuição de responsabilidades por emissões incorporadas no comércio



Fonte: Marques et al. (2012). Tradução própria.

Esta discussão é importante, porque a natureza global da mudança climática requer ações coletivas, de forma que, se um grande emissor não se comprometer com sua responsabilidade e meta de mitigação, é improvável que o resto do mundo possa compensá-lo. Além disso, qualquer emissor que ficar fora de qualquer acordo se beneficiará da ação tomada por outros; logo, os esforços de mitigação para lidar com as mudanças climáticas podem ser considerados bens públicos que permitem fenômenos de “free-riding” (STERN, 2007), prejudicando ou atrasando a política climática.

A partir destes conceitos, entende-se que o avanço dos estudos que combinam os dados de EEIT nas relações comerciais, para discussão e orientação da atribuição de responsabilidades pela crise climática, é uma forma de contribuir para a elaboração de propostas e soluções globais mais justas e equitativas.

O relatório da Organização Mundial do Comércio (OMC)¹⁷ (WTO, 2022) declara que as questões ambientais e de mudanças climáticas devem ser tratadas como um ponto chave para o futuro do comércio internacional. Isso porque, os cenários previstos impõem dificuldades sobre a produção de bens e serviços em áreas vulneráveis e que tem potencial de alterar toda a dinâmica do sistema comercial – por meio da queda na produtividade, escassez de recursos naturais, capacidade de oferta e danificação da infraestrutura de transporte –. Então, a estratégia para a redução de custos econômicos e ambientais é baseada no direcionamento de esforços para adoção de medidas de adaptação climática e mitigação das emissões de GEE, visando o alcance das metas estabelecidas pelo Acordo de Paris.

No entanto, segundo o relatório WTO (2021), como o nível de incorporação de emissões de GEE nos fluxos comerciais são determinados por diferentes fatores¹⁸, a construção de um modelo comercial descarbonizado e de baixo impacto é considerado um grande desafio. Dentre os fatores, podemos destacar o processo de fragmentação da produção e formação de CGV, que está atrelada ao processo de globalização produtiva.

Para entender este processo, Baldwin (2012) propõe uma organização cronológica do estudo sobre a expansão da globalização produtiva em duas fases principais, as quais denomina como “fases de *unbundling*” (que pode ser traduzido como “fases de desempacotamento”). A primeira revolução industrial, datada em meados da década de 1830, marca o início do que considera como primeiro *unbundling*, com a introdução dos sistemas de transporte à vapor. A revolução nos meios de transporte transformou a organização produtiva mundial, favorecendo a ampliação das economias de escala, que reduziram os custos de transação, aumentaram os lucros e viabilizaram uma trilha de crescimento econômico.

¹⁷ A OMC foi criada em 1995, como um sucessor do Acordo Geral de Tarifas e Comércio (GATT, sigla em inglês), com a finalidade de promover a negociação de acordos comerciais entres os países no pós-guerra, representando uma força pró-liberalização comercial e de globalização comercial e financeira (Deardorff, Stern, 2002).

¹⁸ Os principais determinantes das emissões incorporadas no comércio são: (1) tamanho da economia; (2) composição setorial dos fluxos comerciais; (3) a formação de CGV; (4) transporte; e (5) eficiência energética dos sistemas de produção (WTO, 2021).

Neste primeiro momento, é importante destacar que, como a revolução foi predominante nos países desenvolvidos (Europa, Estados Unidos e Japão), os efeitos da primeira fase foram concentrados, propiciando o acúmulo de vantagens competitivas – como por exemplo, a mecanização da mão de obra e ganho de produtividade, intenso progresso técnico e aumento dos estímulos inovativos –, ao mesmo tempo que ampliou as disparidades relativa aos países do Sul global – que no geral, representavam o grupo dos não-industrializados e fornecedores de matéria-prima – contribuindo, então, para a divisão internacional do trabalho nos moldes centro-periferia –(PREBISCH, 1959; MEDEIROS, 2017). Nessas condições, apesar de parecer contraditório a noção de globalização, o primeiro *unbundling* também teve um efeito concentrador, contribuindo para o aumento da migração internacional do trabalho e originando os chamados *clusters*¹⁹ industriais (BALDWIN, 2012),

Em meados da década de 1980, a revolução das TIC marca o início da “segunda fase *unbundling*”, que revolucionou os meios de comunicação e aumentou a capacidade de coordenação à longas distâncias (BALDWIN, 2012). Uma das principais características dessa fase foi a ampliação do movimento de dispersão geográfica das etapas produtivas, por meio da redução dos custos comerciais – considerados toda a gama de custos que as empresas enfrentam para transportar bens ou serviços de onde são produzidos para os consumidores finais – (MOISÉ et al. 2011).

Adicionalmente, a onda de liberalização financeira e comercial dos anos 1990, contribuiu para uma redução significativa dos custos associados às tarifas e algumas barreiras comerciais não tarifárias, principalmente nos países em desenvolvimento (AKYUZ, 2005). Desse modo, a conjunção de fatores que propiciaram a formação de um ambiente comercial mais favorável a conexão inter-empresas entre diferentes regiões – envolvendo desde reformas regulatórias nos setores de transporte e infraestrutura, eficiência de distribuição, padronização e gestão de negócios – facilitaram a configuração eficiente das cadeias de suprimentos (GEREFFI, FERNANDEZ-STARK, 2011).

Estes múltiplos e sobrepostos eventos possibilitaram a formação das CGV. O conceito de CGV, e das cadeias de suprimentos globais (GSCs, sigla em inglês), respondem ao crescente

¹⁹ A formação de *clusters* (ou distritos industriais) se dá pela maior facilidade de coordenar a produção em larga escala por meio de regiões geograficamente próximas. Isso porque, a coordenação de um processo produtivo complexo requer a participação de diferentes fatores, tais como tecnologia, qualificação profissional, treinamento, investimento e informação, que são essenciais para a redução dos riscos envolvidos no processo produtivo (Baldwin, 2012).

fenômeno da fragmentação global da produção – isto é, o fato de que as funcionalidades de negócios e as atividades de produção ao longo de uma cadeia de valor são cada vez mais realizadas por várias entidades localizadas em diferentes economias (STURGEON, MEMEDOVIC, 2011) –, e que são subseqüentes aos processos de *outsourcing* e *offshoring*, os quais remetem as transferências de etapas intermediárias à empresas afiliadas ou independentes, nacionais ou estrangeiras (MEDEIROS, TREBAT, 2017).

A formação das CGV causa uma modificação na visão tradicional de produção voltada ao comércio exterior – no qual as empresas ou economias produziam bens ou serviços finais a partir do zero, dentro da empresa ou economia, para depois exportá-los –, passando a apresentar uma estrutura mais parecida à uma rede altamente complexa, na qual os componentes e peças são produzidos em vários estágios e em diferentes economias, que se conectam em múltiplos sentidos (HENDERSON et al., 2002). Desta forma, empresas ou economias se especializam em estágios distintos da produção, de forma que o valor total dos bens é dado pelo conjunto de atividades que constituem a produção oriunda das relações interempresas, em nível global (GEREFFI, FERNANDEZ-STARK, 2011).

Gereffi e Luo (2015) caracterizam dois tipos de empresas que compõe as CGV: as empresas líderes, que geralmente são as empresas multinacionais (EMNs), com sede nos países desenvolvidos, que controlam e definem o funcionamento e o ritmo da cadeia em termos de preços, entregas e performance; e as empresas fornecedoras, localizadas nos países em desenvolvimento, que são responsáveis pela produção dos bens e serviços demandados pelas empresas líderes.

Nessa configuração, a abordagem de CGV entende que a dinamização de produtos e processos por meio das subsidiadas das multinacionais, tem potencial de estimular o desenvolvimento das capacitações tecnológicas, através da transmissão de técnicas de aprendizagem via *know-how* e integração corporativa, os quais serviriam como um atalho para o desenvolvimento econômico (BALDWIN, 2012). Desta forma, temos uma maior afinidade da abordagem de CGV às propostas de liberalização comercial via o modelo de integração produtiva e financeira, argumentando que o modelo seria capaz de oferecer grandes oportunidades as economias emergentes.

Entretanto, é possível observar que a dispersão geográfica das empresas e etapas produtivas apresenta alguma relação com as capacidades estruturais e institucionais dos países. Isso porque, historicamente, os ganhos acumulados pelo processo de industrialização dos países

desenvolvidos favoreceram a formação das empresas líderes nessas regiões, em detrimento do desestímulo ao desenvolvimento industrial das economias emergentes (BALDWIN, 2012). Adicionalmente, a expansão e modernização das empresas líderes permite com que exerçam controle sobre o conhecimento tecnológico – principalmente via acordo de licenças, venda de patentes e investimento direto –, sendo capazes de ditar o ritmo do progresso científico mundial.

Desta forma, o poder de mercado proporcionado pelo controle tecnológico, que se traduz também em influência geopolítica e geoeconômica, se apresenta como um dos principais condicionantes da superioridade internacional dos países desenvolvidos. Em contrapartida, a formação da estrutura produtiva dos países em desenvolvimento, marcada pela baixa intensidade tecnológica e de conhecimento, condicionam e limitam sua participação nas cadeias como empresas fornecedoras.

Andreoni e Tregenna (2020) e Tregenna (2009), discutem essa configuração, argumentando como a alta heterogeneidade estrutural, baixo nível de capacitações tecnológicas e experiências de desindustrialização dos países de renda média – que é uma condição comum dos países do Sul Global – restringem sua competitividade no cenário internacional. Adicionalmente, esse tipo de inserção internacional incentiva a armadilha da especialização produtiva destes países (SAVONA, CIARLI, 2019) com uma participação concentrada na oferta de bens primários e atividades produtivas de menor valor agregado.

Nessas condições, a participação dos países em desenvolvimento em CGV não deve ser entendida apenas pela possibilidade de obtenção de maiores oportunidades e melhores resultados econômicos, pois os efeitos não são automáticos e podem repercutir negativamente sobre a dimensão ambiental e social, a depender do tipo de cadeia inserida e posição ocupada (ARCE et al., 2012). Sob a perspectiva ambiental, nos países em desenvolvimento, este padrão de comércio pode induzir ao aumento da poluição gerada pela produção, concentrando as externalidades ambientais negativas diretas em suas fronteiras. Além disso, como há uma incorporação de externalidades ambientais negativas indiretas nos fluxos comerciais – por exemplo, a incorporação de energia para produção de bens comercializados internacionalmente e poluição gerada pelo transporte das mercadorias – temos uma dinâmica de transferência da poluição pelo consumo (ARCE et al., 2012). Desta forma, observa-se que este modelo de divisão internacional do trabalho e padrão comercial, além de tenderem a concentração da

poluição em regiões historicamente menos favorecidas, distribuem seus efeitos negativos, em nível global, por meio do consumo.

Em resumo, observando pela perspectiva ambiental, temos que a evolução das CGV pode contribuir para a geração e distribuição de externalidades ambientais negativas, principalmente associado às emissões de GEE incorporadas nos fluxos de bens e serviços. Todavia, a formação de longas e densas redes de produção global dificultam a mensuração dos efeitos diretos e indiretos propagados e, portanto, a atribuição de responsabilidades (DUAN et al., 2021).

Neste cenário, o mapeamento da origem e destino das emissões tem sido uma técnica fundamental para o entendimento dos principais países e setores responsáveis pelos impactos ambientais. No entanto, a estrutura de produção em CGV elucidam alguns problemas metodológicos nos indicadores tradicionais de comércio internacional que são aplicados na contabilização tanto do valor dos bens e serviços, assim como das emissões ou da pegada ambiental dos fluxos comerciais.

Na literatura, o método de Leontief (1936) para decomposição do produto bruto em valor adicionado é uma forma tradicional de quantificar o valor nas relações intersetoriais. No entanto, a estimação do valor adicionado pelo modelo clássico, omite informações importantes quando aplicadas sobre as relações de CGV. Esta limitação está associada a dispersão geográfica de etapas intermediárias e as múltiplas fronteiras atravessadas pelos insumos para formação do bem final, de forma que o valor total dos bens e serviços é composto por frações de valor incrementado por diferentes países (WANG et al. 2018).

Então, no contexto de CGV, a análise sobre as capacidades produtivas domésticas demanda um ferramental metodológico que seja capaz de contabilizar e discriminar a origem do valor adicionado incorporado nos fluxos de exportações de bens intermediários e finais. Johnson e Noguera (2012) propuseram uma mensuração contábil para avaliar o valor adicionado inserido nas transações comerciais, que são utilizadas por Koopman et al. (2014) para criação de uma abordagem insumo-produto, identificando os componentes de valor agregado dentro das exportações brutas. Posteriormente, sua estrutura foi estendida por Los et al. (2016), que introduziram o método de extração hipotética de insumo-produto (HEM, na sigla em inglês)

para esclarecer as medições propostas por Koopman et al. (2014), e que são adaptadas por outros autores e formas de decomposição²⁰ para estudos de caso específicos.

A principal contribuição destes modelos está na compreensão adequada do novo padrão de produção para o comércio internacional, demonstrando que a análise apenas de dados brutos pode omitir informações sobre as reais capacidades produtivas domésticas dos países (WANG et al. 2018). Adicionalmente, as métricas disponibilizadas pelo *framework* das CGV podem ser adaptadas para análises que relacionam o comércio internacional às questões de emissões de GEE, que consistem no mapeamento da geração e incorporação de carbono ao longo do processo de produtivo e consumo final.

Portanto, como discutido anteriormente em WTO (2022), dado que as questões de mudança climática incidem de diferentes formas sobre o comércio internacional e comprometem sua evolução, a abordagem de CGV, que é aderente às considerações e medidas engendradas pela OMC, utiliza de dois conceitos-chaves para estimular e conduzir o processo de desenvolvimento das empresas por meio das CGV, que são o conceito de governança²¹ e *upgrading*. Apesar de ambos serem fundamentais nesta discussão, o foco aqui será direcionado para o conceito de *upgrading*.

1.3 O conceito de *upgrading* nas cadeias globais de valor e a importância da dimensão ambiental

A ascensão (ou declinação) em termos de posicionamento das empresas dentro de uma cadeia, é apresentado na literatura como *upgrading* (ou *downgrading*, para o caso negativo). Segundo Gereffi e Luo (2015), o conceito de *upgrading* econômico representa o melhoramento

²⁰ Paralelamente, Borin e Mancini (2017) analisaram ainda mais o método de Koopman et al. (2014) para definir consistentemente os fluxos comerciais bilaterais. Los e Timmer (2018), por sua vez, propuseram uma extensão do HEM para obter o valor agregado das exportações brutas tanto bilateral quanto globalmente. Em seguida, Wang et al. (2018) distinguiram as ligações intersetoriais backward e forward linkages na medição do valor agregado das exportações e generalizou o método contábil para setores de produção e pares de países. Arto et al. (2019) propuseram uma avaliação do valor agregado das exportações medido na fronteira incluindo todos os países e indústrias que participam dos fluxos de valor agregado. Para esclarecer ainda mais a dupla contagem na medição dos fluxos comerciais, Mirodout e Ye (2020) mudaram a contabilidade para as vendas de afiliadas estrangeiras para determinar seu impacto nas economias receptoras. Por fim, mais recentemente, Mirodout e Ye (2021) propuseram uma estrutura que pode distinguir o valor agregado doméstico e estrangeiro medido globalmente, bilateralmente e individualmente.

²¹ Gereffi e Stark (2016) classificam os tipos de governança como: de mercado, modular, relacional, cativo ou hierárquico, e que são aplicadas de acordo com as estruturas de mercado e de poder operantes em cada cadeia. A governança estabelece a alocação dos recursos financeiros, material e humano e, portanto, é fundamental para a coordenação dos processos em cadeias, assim como para o compartilhamento de riscos e oportunidades.

da performance econômica das empresas, indústria ou país em diferentes aspectos, de tal forma que possa promover a ascensão da empresa, que parte de um sistema de produção de menor valor agregado (manufatura básica) para atividades mais intensivas em conhecimento e tecnologia (serviços), movimento expresso pelo diagrama “curva sorriso”²² (YE; MENG; WEI, 2015).

Na literatura (HUMPHREY; SCHMITZ, 2002; KAPLINSKY; MORRIS, 2003), são definidas quatro trajetórias para a realização do *upgrading* econômico ou industrial: i) *upgrading* de processo, que refere ao crescimento da produtividade nas atividades existentes, assim como aprimoramento de sistemas organizacionais e relações aos outros elos da cadeia; ii) *upgrading* de produto, com a criação de novos produtos ou aperfeiçoamento dos antigos; iii) *upgrading* funcional, como um melhoramento completo no conjunto de habilidades e setores das empresas; iv) *upgrading* de cadeia ou intersetorial, que se refere ao ganho de autonomia produtiva, que pode levar a uma movimentação horizontal para novas CGV (MARCATO, BALTAR, 2020). O *upgrade* funcional têm sido o principal objeto de análise nos estudos, pois representa o conjunto de melhorias adquiridas pelas empresas que a direcionam para as atividades de maior valor agregado.

Considerando a natureza das relações socioeconômicas, os ganhos do *upgrading* econômico podem ser traduzidos em melhorias sociais, o que é denominado *upgrading* social. A realização do *upgrading* social é definida pela melhoria nas condições de trabalho, remuneração e segurança dos trabalhadores de uma empresa ou indústria específica. A garantia de maior seguridade as famílias, além de criar estímulos para o desenvolvimento de capacitações físicas, humanas e bem-estar, é um elemento fundamental para o processo de compartilhamento e redução de riscos nas empresas, requisito necessário para expansão e evolução das CGV (GEREFFI, LUO, 2015).

No entanto, a ocorrência de *upgrading* econômico não é uma garantia para a realização do *upgrading* social, devido aos conflitos distributivos e disparidades entre os agentes que compõe a CGV. Para analisar a dinâmica do processo de *upgrading*, Bernhardt e Pollak (2015) observam as trajetórias de *upgrading* econômico e social, avaliando quatro setores: vestuário, móveis em madeira, automobilístico e telefones móveis. A relação entre as dimensões é

²² Há controvérsias sobre a determinação do *upgrading* apenas pela via do valor adicionado, pois o papel dos agentes institucionais, legislações e organizações sociais não podem ser descartados. Kaplinski e Morris (2003) reforçam esse argumento, dizendo que *upgrading* não deve representar apenas uma análise de mobilidade positiva na cadeia, mas também, das mudanças necessárias para que esta movimentação aconteça.

projetada sobre uma matriz 3x3, que tem na horizontal, o eixo econômico e, na vertical, o eixo social, marcando nos quadrantes as fases de alinhamento entre as etapas. Na Tabela 1 abaixo, temos a representação deste esquema.

Tabela 1- Matriz para mapeamento da dinâmica de upgrading/downgrading econômico e social

		Econômico		
		<i>Downgrading</i>	Caso intermediário	<i>Upgrading</i>
Social	<i>Upgrading</i>	<i>Upgrading</i> social com <i>Downgrading</i> econômico	<i>Upgrading</i> social sem <i>Downgrading</i> econômico	<i>Upgrading</i> geral
	Caso intermediário	<i>Downgrading</i> econômico sem <i>Upgrading</i> social	Inexistência de <i>Upgrading</i>	<i>Upgrading</i> econômico sem <i>Upgrading</i> social
	<i>Downgrading</i>	<i>Downgrading</i> geral	<i>Downgrading</i> social sem <i>Upgrading</i> econômico	<i>Upgrading</i> econômico com <i>Downgrading</i> social

Fonte: Bernardt, Pollak (2015). Tradução própria.

As informações da Tabela 1 são baseadas na análise da performance econômica e social dos países e setores que foram objeto do estudo. Para interpretação, os países que se encontram no primeiro quadrante à direita, “*Upgrading* geral”, são os que combinam os resultados positivos para os indicadores de *upgrading* econômico e social, enquanto os que estão no último quadrante à esquerda, “*Downgrading* geral”, são os que apresentam uma combinação de resultados negativos e com decadência nas duas esferas. Os demais quadrantes expressam as diferentes combinações possíveis de *upgrading/downgrading* e econômico/social. Por fim, a coluna e linha do meio refere-se aos casos intermediários, no qual se tem a presença ou falta de *upgrading/downgrading* em alguma (ou até mesmo em ambas) dimensão.

Em uma análise geral dos setores para diferentes países, a classificação sugere algumas considerações interessantes. Bernardt e Pollak (2015) notam que, o *upgrading* econômico foi mais recorrente nos países em desenvolvimento do que nos desenvolvidos, devido a inserção das economias emergentes como produtores e exportadores no mercado global, e que, em consequência, reduziram o *market-share* das economias avançadas. Por outro lado, alguns países em desenvolvimento que apresentaram um ganho de competitividade internacional, não

foram capazes de aumentar o valor agregado dos produtos exportados, sendo denominados como países que percorrem uma trajetória de “*low road*” de competitividade. Por último, observam que o processo de *downgrading* é mais comum nas empresas de baixa intensidade tecnológica.

Com relação a dimensão social, foram observados que os padrões de *upgrading* variam bastante de acordo com os setores analisados, que se justifica pelo perfil social e nível de engajamento social dos trabalhadores. Sob um panorama geral, notam que é usual a combinação de corte de mão de obra e aumento de salários, principalmente nos países desenvolvidos, o que reflete o processo de transformação estrutural dessas economias. Em comparação ao *upgrading* econômico, observam que os efeitos do *upgrading* social são mais difundidos nas empresas, enquanto o processo de *downgrading* é mais comum na esfera econômica (BERNHARDT, POLLAK, 2015).

Em resumo, a classificação dos processos de *upgrading*, via matriz da Tabela 1, ilustram a interação entre as dimensões econômica e social. A análise identifica e entende que os mecanismos que interligam estes relacionamentos têm potencial para serem favoráveis, gerando um ciclo virtuoso de *upgrading*, ao mesmo tempo que podem ser desfavoráveis. Além disso, torna-se evidente que a correlação entre os processos não se traduz em ganhos mútuos, de forma que o desenvolvimento positivo em uma área nem sempre promove efeitos positivos na outra (BERNHARDT, POLLAK, 2015). Portanto, a conjunção de elementos que condicionam o *upgrading* econômico e social demonstra sua complexidade, de forma que se torna imprescindível a introdução de políticas regulatórias e de governança inteligente sobre as CGV, a fim de criar um funcionamento coordenado e mais equitativo entre seus integrantes (GEREFFI, LUO, 2015).

Dadas estas considerações, convém discutirmos as implicações sobre a adição da dimensão ambiental nesse esquema, que, na literatura, tem sido incluída e tratada com vigor apenas no período recente. No geral, o *upgrading* ambiental nas CGVs é definido como a melhoria do desempenho ambiental por meio da introdução nos processos tecnológicos, sociais e organizacionais, com a intenção de evitar ou reduzir os impactos ambientais gerais (KHATTAK et al., 2015). Desse modo, a proposta de *upgrading* ambiental se apresenta como

uma forma de promover a redução dos impactos ambientais de empresas inseridas nas cadeias, (DE MARCHI et al., 2013), buscando a redução da pegada ecológica²³.

De Marchi et al. (2019) destacam que o *upgrading* ambiental pode ser alcançado por diferentes trajetórias, que são motivadas por três fatores principais. Primeiro, os fatores externos à empresa, que trata das mudanças no padrão de consumo, pressões de movimentos ambientais, normas regulatórias, acordos nacionais ou internacionais. Segundo, os fatores internos à CGV, que são estabelecidos pelos modelos de governança e pressão das empresas líderes. E, por último, os fatores internos à empresa, que remete a proatividades das empresas, líderes ou fornecedoras, em aderir a uma estratégia de *upgrading* ambiental.

Em geral, consideram que a combinação dos três contribuí para a consolidação da trajetória de *upgrading* ambiental e formação de uma CGV sustentável. Todavia, em particular, os estudos sobre CGV tem explorado apenas o papel das empresas líderes em promover o “esverdeamento” de toda a cadeia de valor e suas implicações do ponto de vista da governança (DE MARCHI, DI MARIA, PONTE, 2013), e dando menor atenção as fornecedoras e as transformações estruturais exigidas (DE MARCHI et al., 2019).

Em seguida, com a finalidade de contribuir para o desenvolvimento de técnicas para mensuração de *upgrading* ambiental, De Marchi et al. (2019) classificam-no em três tipos principais:

- a) *Upgrading* ambiental de processo: compreende ao ganho de eficiência na produção (“eco-efficiency”) e de utilização dos recursos, por meio da incorporação de tecnologia ou de mudança na organização do sistema produtivo;
- b) *Upgrading* ambiental de produto: desenvolvimento de linhas de produtos sofisticados e de baixo impacto ambiental (“eco-friendly”), tais como produtos com insumos reciclados ou sem componentes tóxicos;
- c) *Upgrading* organizacional: introdução de um modelo de gestão de negócios voltado a sustentabilidade, que estão, usualmente, vinculados à obtenção de certificações internacionais;

Desta forma, propõe-se que as empresas devem empenhar-se na realização de *upgrading* de produto, processo ou melhorar sua organização, levando em consideração as consequências

²³ Em De Machi et al. (2019), considera as medidas de redução da pegada ecológica da empresa como redução das emissões de GEE e redução das perdas de biodiversidade oriundos da exploração de recursos naturais.

ambientais de seus negócios (DE MARCHI et al., 2019). Entretanto, apesar desta classificação contribuir para a análise de desempenho das empresas em CGV e sua relação com o meio ambiente, são reconhecidos os múltiplos fatores e agentes que influem sobre esta questão, de forma que outras diferentes combinações podem promover uma trajetória de *upgrading* ambiental (DE MARCHI et al., 2019).

Nesse sentido, a amplitude das ideias de sustentabilidade incentiva a adoção de uma perspectiva mais holística para análises que atravessam a dimensão ambiental. A redução do peso do setor industrial para o processo de desenvolvimento sustentável exige a obtenção de resultados positivos em indicadores que combinam as questões ecológicas, econômicas e sociais. Desta forma, uma trajetória de *upgrading* ambiental ideal deve considerar a totalidade de externalidades ambientais geradas pelos modelos de produção e consumo, que envolvem emissões de gases e resíduos, de temperatura, grau de toxicidade da água, ar, solo, intensidade energética, sistemas de gestão ambiental e desenvolvimento humano (AZAPAZIG, PARDAN, 2000).

No entanto, estejam dadas a complexidade do modelo de integração produtiva e comercial de CGV, assegurar a sustentabilidade de processos geridos ao longo de cadeias para configurar o *upgrading* ambiental exige grandes esforços, em termos técnicos e financeiros. Diante das dificuldades, e considerando a busca por soluções emergenciais para as questões de mudanças climáticas, as análises que contabilizam as emissões de GEE nas cadeias de produção global são utilizadas como uma forma de compreender a evolução e peso das atividades de empresas e indústrias em CGV sobre o meio ambiente.

As emissões de carbono em bens ou serviços podem ser incorporadas direta ou indiretamente. As emissões diretas correspondem as emissões geradas durante o processo de produção do bem final, incluindo de montagem, embalagem e envio ao mercado (consumidores). As emissões indiretas contabilizam todas as geradas pela produção e transporte dos insumos que são usados na produção do bem ou serviço final, incluindo as emissões de GEE da geração da eletricidade²⁴.

²⁴ Por exemplo, as emissões embutidas em um produto tão simples quanto biscoitos de chocolate vêm de muitas fontes. As emissões de GEE são liberadas para produzir a energia utilizada no preparo, assamento e embalagem dos biscoitos, bem como seu transporte até os clientes. As emissões também estão associadas aos ingredientes dos biscoitos (por exemplo, chocolate, farinha, açúcar). Cada um desses ingredientes é responsável pelas emissões durante sua produção e transporte. Da mesma forma, os insumos usados para fabricar esses ingredientes (por exemplo, mudança de uso da terra para cultivo, fertilizantes para cultivar trigo, energia para moer grãos e torrar cacau, etc.) geram emissões de GEE.

A extensão de métricas que contabilizam as emissões incorporadas na produção, em nível setorial, permite observar os efeitos de distribuição sobre a todas as relações de encadeamento de estruturas produtivas. As metodologias que optam pelos indicadores de avaliação das cadeias baseiam-se em princípios de análise de insumo-produto (WEBER; MATTHEWS, 2007; WIEDMANN, 2009; SETTANI et al., 2011), mapeando as emissões geradas através das interconexões setoriais para produção, utilizando tanto das matrizes nacionais, quanto das matrizes multirregionais (MRIO, sigla em inglês), para análise de relações de comércio entre países (COSTA, 2021).

Esse tipo de análise é importante pois, de acordo com Hoekstra et al. (2016), no período entre 1995 e 2007, foram identificados um aumento em 18% da intensidade de emissões de CO₂ vinculadas aos fluxos comerciais internacionais, demonstrando os possíveis impactos do processo de fragmentação da produção sobre as emissões totais globais. Nesse sentido, a construção de bases MRIO – com destaque as que apresentam extensões ambientais, tais como EORA, EXIOBASE e WIOD (TUKKER, DIETZENBACHER, 2013) – propiciaram um avanço exponencial para o desenvolvimento de análises ambientais e de emissões em CGV. A agregação de dados para produção em nível intersetorial e interpaís, permite mapear a distribuição sistêmica das emissões de GEE ao longo de grandes cadeias dispersas, levando em consideração não apenas a origem e destino das emissões incorporadas em bens finais, mas também nas emissões incorporadas em bens intermediários e nos componentes da demanda final (MENG et al., 2018). Portanto, as análises a partir dos dados estimados pelas MRIOs tem sido promovida como uma alternativa complementar aos indicadores tradicionais de EEIT, pois oferecem informações mais compatíveis ao sistema de produção globalizado.

Na literatura, Chen et al. (2021) destaca que as análises de emissões em MRIO podem ser classificadas em dois grupos principais. O primeiro grupo são definidos pelos estudos das emissões incorporadas pelo consumo de bens finais, expressos pelas métricas de pegada ecológica (EF, sigla em inglês). Estas métricas estabelecem relações entre a disponibilidade de capital natural e as demandas produtivas e naturais existentes, assim como seus efeitos ao longo do tempo e sobre o espaço em cada região (WACKERNAGEL et al., 1999), e que compõe a discussão sobre refúgios de poluição (AICHELE; FERLBERMAYR, 2015; KOLKAVA et al. 2019). O segundo, trata do grupo de decomposição das emissões sobre os fluxos de comércio de bens e serviços, finais e intermediários, definidos como Análise de Decomposição Estrutural

(SDA, sigla em inglês)²⁵ (MENG et al. 2018; DUAN et al. 2021). As métricas de SDA contribuem na demonstração da participação e competitividade setorial dos países nas CGV, e como essa inserção afetam seus padrões emissores (CHEN et al., 2021).

Ambas as perspectivas contribuem em termos de resultado, mas também apresentam limitações. A dificuldade para o truncamento às questões específicas que influem sobre as áreas de comércio internacional e ambiental – como por exemplo, políticas de regulação, comercial ou de financiamento –, assim como do nível de agregação de dados e outras questões metodológicas, são fatores limitantes destas análises. Desta forma, as investigações empíricas e fatos estilizados relacionados às questões ambientais são consideradas complementos importantes para a condução da pesquisa e elaboração de políticas.

Portanto, a partir dessa discussão, assumimos que a complexidade para mensuração do peso de atividades industriais sobre o meio ambiente em relações de CGV desafiam a construção de uma análise de *upgrading* ambiental ampla e completa. Entretanto, considera-se que o ferramental metodológico e disponibilidade de dados oferecidos pelas matrizes MRIO, propiciam a elaboração de análises sobre as emissões de GEE geradas e incorporadas nas relações comerciais entre países, que são relevantes diante do cenário de crise climática. Nesse sentido, este trabalho utiliza dessas ferramentas para construir um estudo de caso sobre emissões de GEE, a fim de verificar como a participação em CGV tem repercutido, em termos de emissões, nos países. Para isso, destacamos a trajetória produtiva, comercial e de desenvolvimento de dois países como objeto desta análise: Brasil e China.

1.4 Uma breve análise do padrão de participação e posicionamento nas cadeias globais de valor e de emissões do Brasil e da China, no período recente

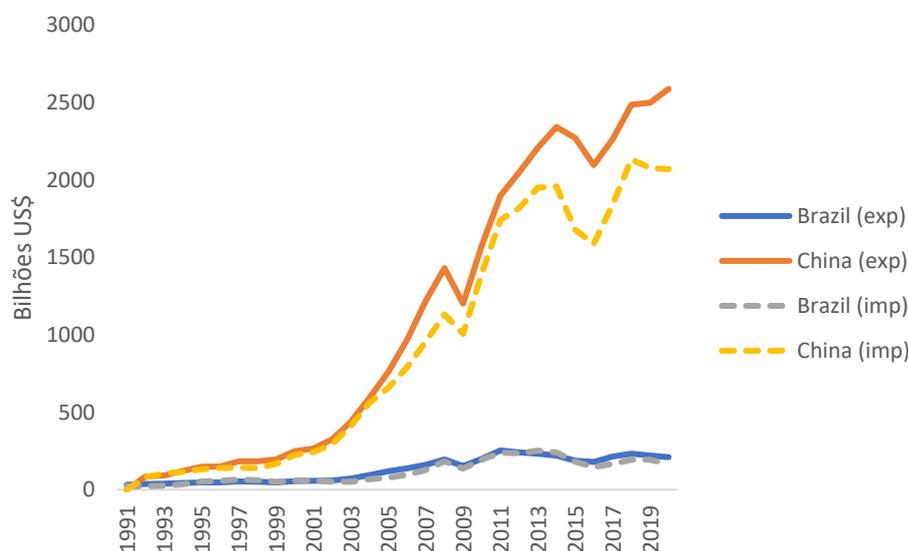
1.4.1 Caracterização do padrão de inserção do Brasil e da China nas cadeias globais de valor

Inicialmente, para observarmos a inserção internacional de Brasil e China, é importante considerarmos os dados brutos de comércio internacional, que informam sobre a participação externa dos países por meio do volume, em US\$, de bens e serviços comercializados. Com base nos dados da *World Integrated Trade Solutions* (WITS), o Gráfico 1 apresenta a evolução

²⁵ A SDA é um método comparativo estático, que decompõe variáveis de interesse de acordo com objetivos específicos. Na literatura de insumo produto, é possível identificar diversas formas de trabalhar com este método (Miller, Blair, 2009),

das exportações e importações brutas dos dois países, no período de 1991 a 2019, considerando as transações totais realizadas com todos os países do mundo.

Gráfico 1– Evolução das exportações e importações brutas de Brasil e China, no período 1991-2019



Fonte: Elaboração própria com dados da WITS.

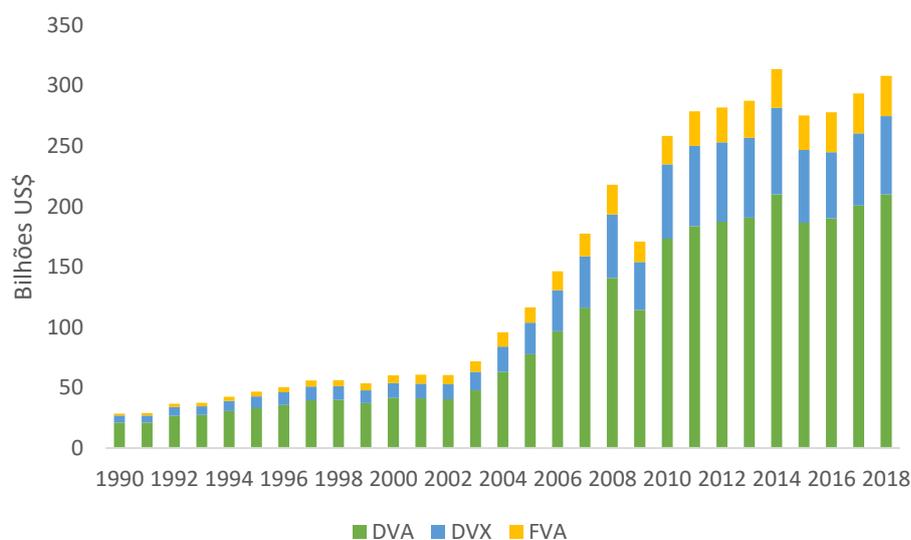
O Gráfico 1 demonstra a trajetória crescente das exportações chinesas ao longo do século XXI, que causou alterações em alguns padrões de comércio internacional. A formação de um complexo industrial manufatureiro forte no continente asiático, que tem a China na dianteira, contribuíram para expansão e internacionalização da produção na região, sendo capaz de expandir seus mercados e parceiros comerciais (OLIVEIRA, 2016). Segundo o *National Bureau of Statistics of China* (NBSC) (2013), no período de 2001 a 2012, mesmo após a crise financeira de 2008, as exportações de bens e serviços chineses aumentaram 670% e as importações 645%, resultando em um saldo comercial positivo de USD 230 bilhões ao final do período. Em relatório mais recente, NBSC (2021), são apresentados a continuidade dessa trajetória ascendente, acumulando US\$ 523,9 bilhões em saldo comercial, no ano de 2020.

Para o caso do Brasil, os dados demonstram que as exportações e importações se mantiveram sobre o mesmo patamar ao longo de todo o período. Atualmente, o país tem seus principais mercados na região da América do Sul e Ásia, com destaque para a China – principal parceiro comercial desde 2009 (OLIVEIRA, 2016) –, que segundo dados da WITS (2022), respondeu por 22.09% das exportações totais brasileiras no ano de 2020. A pauta exportadora brasileira tem nos setores primários – principalmente de alimentos, minérios e combustíveis –

seus grandes representantes e que, segundo estatísticas do Banco Central do Brasil (BCB, 2021), tem possibilitado a geração de superávit comercial ao país, que registrou US\$ 36,3 bilhões de saldo comercial em 2021.

Em seguida, considerando o contexto de CGV, é importante observarmos as métricas que contabilizam e diferenciam o valor adicionado por sua origem, doméstica ou estrangeira, pois assim oferecem uma visão mais precisa sobre a participação internacional e da estrutura produtiva dos países. A partir dos dados da MRIO UNCTAD-EORA, podemos observar principais indicadores para análise dos fluxos comerciais em CGV, que são: (a) Valor adicionado doméstico (DVA, sigla em inglês); (b) Valor adicionado estrangeiro (FVA, sigla em inglês); (c) Valor adicionado doméstico nas exportações de outros países (DVX, sigla em inglês) (LENZEN, 2019). O Gráfico 2, a seguir, demonstra a evolução destes indicadores para o Brasil.

Gráfico 2– Indicadores de CGV para o Brasil, de 1990-2018



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da UNCTAD-EORA.

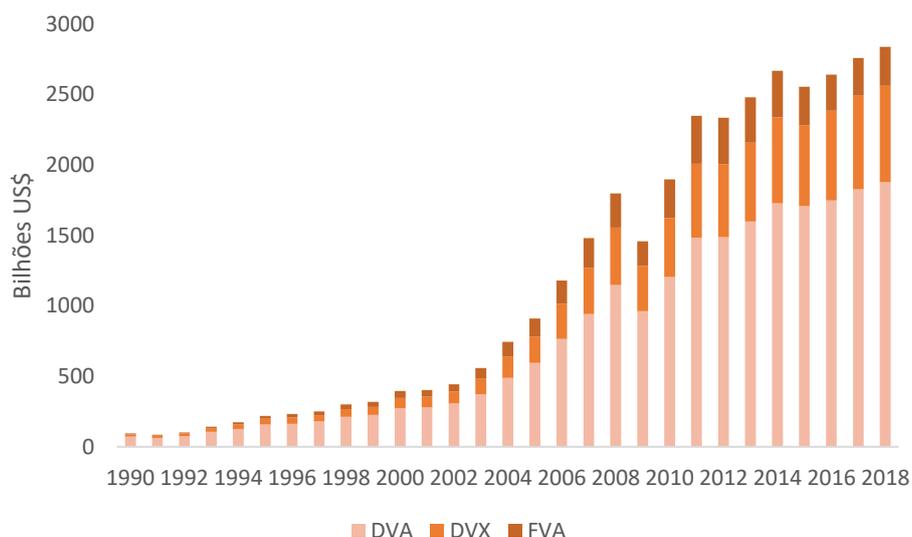
A partir dos dados do Gráfico 2, temos que o valor adicionado doméstico é maior e mais significativo tanto nas exportações brasileiras, como nas exportações dos outros países, em relação a incorporação de valor adicionado estrangeiro. Essa representação permite caracterizar o setor exportador brasileiro em dois aspectos. Primeiro, que o setor é bem consolidado em bases nacionais e que, em geral, depende pouco de insumos importados na produção dos bens exportados. Esta é uma característica típica de países que tem um amplo mercado interno e um parque industrial desenvolvido, que utilizam das importações,

principalmente, para atender a demanda doméstica (CALLEGARI et al., 2018). Segundo, implica sobre a relação entre posicionamento do país nas cadeias e o conteúdo das exportações brasileiras, de forma que a incorporação de valor adicionado doméstico nas exportações de países terceiros representa a comercialização de insumos que são utilizados em etapas iniciais ou intermediárias em CGV, o que corresponde ao perfil exportador de commodities primárias e industriais do país (COSTA et al., 2021; LALANE, 2022).

Desta forma, de acordo com Callegari et al. (2018), a inserção brasileira em CGV é caracterizada como singular, pois temos a presença de um setor industrial desenvolvido, que se insere internacionalmente – por meio da oferta de bens primários e manufaturados básicos, e demanda por importação tecnológica e de investimento direto externo – com a finalidade principal de atender ao mercado doméstico.

Em seguida, o Gráfico 3 ilustra a composição do valor adicionado das exportações totais chinesas. A China tem aumentado progressivamente sua inserção internacional por meio das CGV, que inicialmente foi caracterizada pela construção de grandes centros de processamento, montagem e distribuição. No entanto, no período recente, o país tem direcionando esforços para impulsionar e diversificar a indústria doméstica, buscando aumentar a incorporação de valor agregado doméstico em suas exportações, especialmente desde sua adesão à OMC em 2001 (WANG et al., 2017), e diminuição da incorporação de valor adicionado estrangeiro em seus fluxos comerciais.

Gráfico 3– Indicadores de CGV para a China, de 1990-2018



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da UNCTAD-EORA.

A participação da China nas CGVs fornece um excelente estudo de caso para avaliação do processo de *upgrading* e seus condicionantes. No período de 2000 a 2016, o valor agregado doméstico nas exportações aumentou a uma taxa média anual de 14%, com sua proporção aumentando de 65%, em 2000, para 83%, em 2016 (JOHSON, NOGUERA, 2017). Este aumento coincidiu com a diminuição de insumos intermediários importados para processamento e montagem, que foram gradativamente substituídos pelos produzidos internamente, a fim de abastecer as linhas de processamento de exportação de bens finais (KEE, TANG, 2016; DUAN et al., 2018), ou para serem incorporados nas exportações de países terceiros.

Estes resultados sugerem uma evolução na participação chinesa nas CGV, que tem apresentado um avanço da indústria doméstica nas etapas intermediárias da produção (LALANNE, 2022), aumentando o valor agregado doméstico em suas exportações. Neste processo acelerado de industrialização chinesa, a crise financeira de 2008²⁶ é considerada um momento decisivo desta trajetória, no qual a China observou o choque recessivo como uma oportunidade para expansão produtiva, com foco na difusão tecnológica e ganho de eficiência da indústria (MEDEIROS, 2019). Adicionalmente, a formação de uma integração regional forte tem contribuído para consolidação de um sistema cada vez mais dinâmico comercialmente, que são reproduzidas principalmente nas relações com Taiwan, Hong-Kong, Macau e Singapura (MEDEIROS, 2006).

Marcato, Dweck e Montanha (2021) argumentam que este movimento tem resultado na maior densificação das cadeias produtivas domésticas do país, por meio do desenvolvimento dos sistemas locais de produção e adoção de diferentes estratégias de *upgrading* econômico e social²⁷. Foram implementadas um conjunto de políticas tecnológicas e de investimento em modernização e infraestrutura, com intuito de integrar populações e territórios através da construção de zonas²⁸ de desenvolvimento econômico e tecnológico (MEDEIROS, 2006).

²⁶ A crise financeira de 2008 abalou fortemente a estrutura de cadeias globais, por meio da queda no consumo dos países industrializados diante do cenário de recessão mundial. Este movimento foi responsável pela retração das cadeias e exigiu uma reconfiguração geográfica das etapas produtivas, favorecendo uma dispersão para o nível regional (O'Neill, 2011).

²⁷ Por exemplo, o plano “Made in China 2025” definiu metas setoriais específicas para o desenvolvimento de capacidades direcionadas a inovação, otimização da estrutura industrial, aumento da qualidade dos processos e produtos, treinamento e qualificação profissional, e sustentabilidade da indústria chinesa (Li, 2018).

²⁸ A formação das zonas de desenvolvimento e o esforço tecnológico favoreceu a diversificação e aumento do valor adicionado das exportações chinesas, sobretudo ao setor de tecnologia da informação (TI). Adicionalmente, o aumento das extensões do mercado doméstico aliadas as condições favoráveis de balanço de pagamentos, contribuíram para um deslocamento estratégico dos IDE regionais para o mercado chinês, que foram concentrados nos setores de eletrônica e TI, têxteis e vestuários, petroquímico e de máquinas e equipamentos (Medeiros, 2006).

Nesse sentido, a combinação do investimento estatal e investimentos externo demonstram como o governo nacional chinês e o setor empresarial se articularam para transformar a estrutura produtiva do país, que sai de uma produção especializada de larga escala para um sistema tecnológico competitivo (GEREFFI, 2011; YONG, 2020).

Entretanto, reafirmamos que o processo de *upgrading* econômico em CGV não é automático a conexão às redes de produção. Segundo relatório da UNIDO (2018), a transição estrutural por meio do *upgrading* em CGV é condicionada a formação de um ambiente favorável ao desenvolvimento produtivo e de habilidades, de forma que não seja possível sustentar uma trajetória de *upgrading* independente deste ambiente. Além disso, destacamos a importância de analisar como os resultados satisfatórios de *upgrading* em diferentes cadeias de valor tem repercutido sobre a esfera ambiental, por exemplo, por meio do aumento das emissões de GEE.

1.4.2 Caracterização do padrão de emissões do Brasil e da China

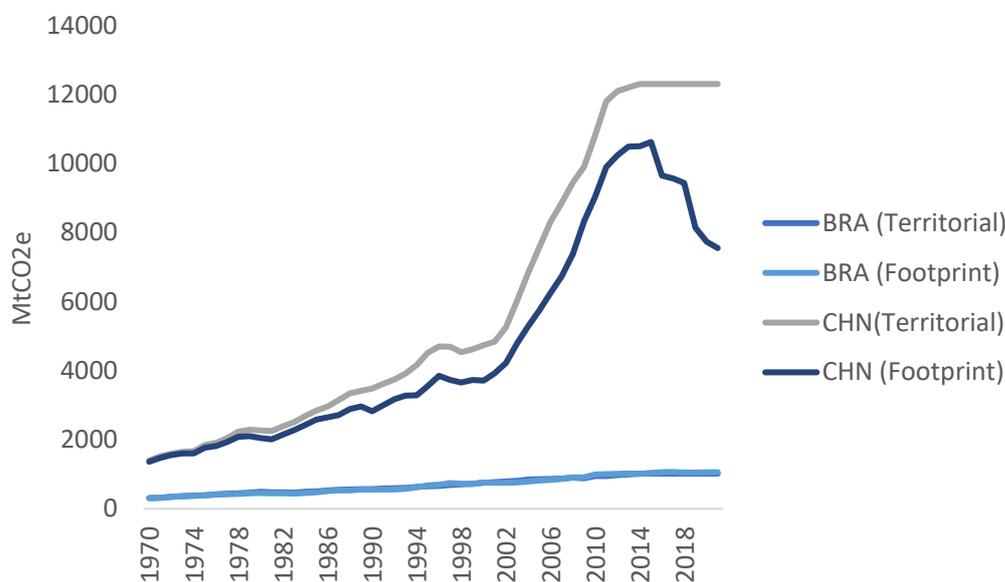
As interações comerciais introduzidas pelo modelo de CGVs, de forma análoga as estatísticas tradicionais de comércio, manifesta a necessidade analítica sobre as emissões de GEE²⁹ pela ótica da origem e destino, que deve rastrear os pontos críticos de emissões ao longo do processo produtivo e a localização do consumo.

Em geral, a geração de emissões para a produção e comércio internacional estão vinculadas, direta e indiretamente, as características das estruturas produtivas dos países e suas respectivas fontes energéticas. O Gráfico 4 demonstra a evolução histórica das emissões de Brasil e China, no período de 1970 a 2021. Os dados apresentam as emissões dos tipos: territoriais, definidas como emissões, em milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂e), oriundas da produção, que são geradas nos limites geográficos de cada

²⁹ Meng et al. (2018) usaram método de contabilidade de valor agregado para rastrear as emissões de carbono geradas por diferentes países ou regiões, estabelecendo um sistema de contabilidade ambiental que pode medir as emissões de carbono incorporado por meio de oito rotas de valor agregado. Liu et al. (2015) calcularam as emissões de carbono incorporado da China em cadeias de valor agregado durante 1997-2007. Ma et al. (2019) analisaram as emissões indiretas de carbono incorporado da China em insumos intermediários, e Wu et al. (2020) estimaram, respectivamente, as emissões de carbono incorporado do comércio intermediário e final na CGV.

país; e as de pegada de carbono³⁰, que contabiliza as emissões por meio do consumo de bens e serviços de outros países.

Gráfico 4– Evolução das emissões de GEE, no período de 1970-2021: Brasil e China



Fonte: Elaboração própria com dados do PRIMAP-dataset.

*O *PRIMAP-hist* combina dados que oferecem cobertura as emissões de GEE (definidas em Kyoto) de cada país, em série histórica de 1750-2021, que é utilizado como padrão para as publicações da UNFCC (Gütschow et al., 2016).

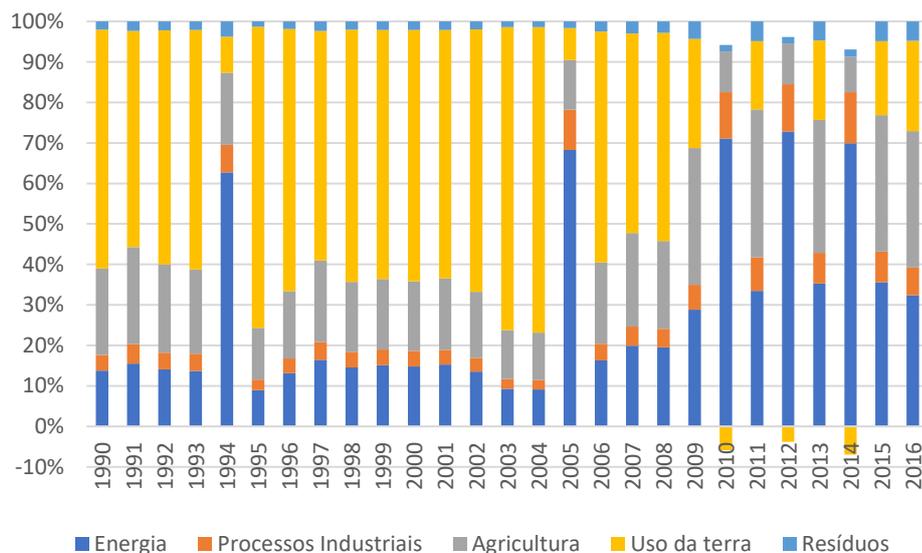
No período analisado, para o caso da China, nota-se que o aumento da participação da indústria chinesa foi acompanhado do aumento progressivo das emissões de GEE, que são dinamizados ao redor do mundo por meio da incorporação de emissões nos fluxos de bens e serviços exportados. O aprofundamento da integração chinesa nas CGVs, com expansão do comércio internacional e da escala de investimentos, reflete em aumento da demanda por recursos e energia e, por conseguinte, das emissões de CO₂, se tornando uma preocupação proeminente (PETERS et al., 2011). Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE, 2019), as emissões de CO₂ da China foram de 9.570,8 Mt em 2018, representando 28,56% das emissões globais.

Analisando historicamente a composição das emissões chinesas, Gütschow et al. (2016) demonstram que a partir do final da década de 1980, a China foi capaz de reduzir as emissões

³⁰ Métrica também definida como *Consumption-based accounting* (CBA) que, neste caso, foi estimada a partir dos dados da MRIO Eora.

por mudança no uso da terra³¹, feito que já tinha sido alcançado pelos países industrializados (Estados Unidos, União Europeia e Japão) e que, a partir de 2009, passa a ter como principal componente das emissões totais a geração de energia. No Gráfico 5, são apresentados a composição das emissões totais chinesas, divididas setorialmente em: energia, processos industriais, agricultura, uso da terra e geração de resíduos.

Gráfico 5– Composição setorial das emissões de CO2e chinesas, no período de 1990-2016



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Climatewatch.

No período de 2009 a 2016, segundo dados da Climatewatch, as principais fontes das emissões chinesas, em MtCO₂e, foram em média: a geração de energia (48%), que agrega as emissões para geração de eletricidade do consumo populacional e atividades produtivas; agricultura (25%), incorporando também as emissões geradas pela pecuária; uso da terra (10%); e processos industriais (8%) (CW, 2023).

A intensidade de emissões chinesas tem relação íntima a composição de sua matriz energética. Bloch et al. (2015) demonstra que o processo de crescimento econômico chinês tem sido conduzido por três fontes principais de energia: carvão mineral, petróleo e energias renováveis, mas com participação mais significativa sobre o crescimento, pelo lado da demanda e da oferta, das fontes não renováveis de energia.

³¹ As principais fontes de emissões por mudança no uso da terra são causadas pelo processo de desmatamento de áreas de floresta, que se tratava dos principais componentes das emissões totais globais nos períodos pré-industriais (Gütschow et al., 2016).

Desta forma, o país enfrenta o desafio de desacoplar o crescimento econômico do aumento de emissões de GEE. No 75º Assembleia Geral das Nações Unidas, em 2020, o país anunciou que atingirá o pico das emissões de carbono em 2030 e sua neutralidade em 2060 (XI, 2020), indicando que tem direcionado esforços para a diversificação da matriz energética³² e buscando migrar para fontes renováveis. As medidas anunciadas demonstram uma postura de comprometimento do governo chinês na promoção de uma estratégia de compensação às externalidades negativas ambientais (ZANDONAI, 2015), e que potencializa a transição para uma economia de baixo carbono.

Nesse sentido, de acordo com os dados do Primap-hist (Gráfico 4), é possível notar que a trajetória de crescimento das emissões chinesas tem desacelerado, o que, por um lado, é observado com certo otimismo diante dos planos anunciados, mas que, por outro lado, exige maior tempo e cuidado para análise, a fim de validar se estes são efeitos temporários ou de longo prazo (KORSBAKKEN et al., 2016). Adicionalmente, é importante considerar que a participação ativa da China nas relações de comércio exterior e em CGV, criam uma dinâmica de incorporação de emissões por meio do consumo de insumos de outros países (DING et al., 2018). Deste modo, como o crescimento comercial chinês depende da participação em CGV, o cumprimento das metas de redução de carbono desenhadas deve, logicamente, empenhar-se sobre a garantia da sustentabilidade e redução de emissões incorporadas nas relações inter-setoriais de CGVs.

Analisando agora o caso do Brasil. O país mantém uma posição relativamente favorável e estável nos indicadores de emissões de GEE, que são explicados por uma conjunção de fatores. Primeiramente, devido a sua abrangência territorial e elevada dotação de recursos naturais³³, o Brasil detém uma matriz energética mais diversificada, que conta com uma forte participação de fontes renováveis³⁴, tornando-o menos dependente dos combustíveis fósseis. Entretanto, é importante mencionar que o país é um dos maiores consumidores de energia do mundo e que também apresenta estruturas urbanas e industriais densas, que contribuem para

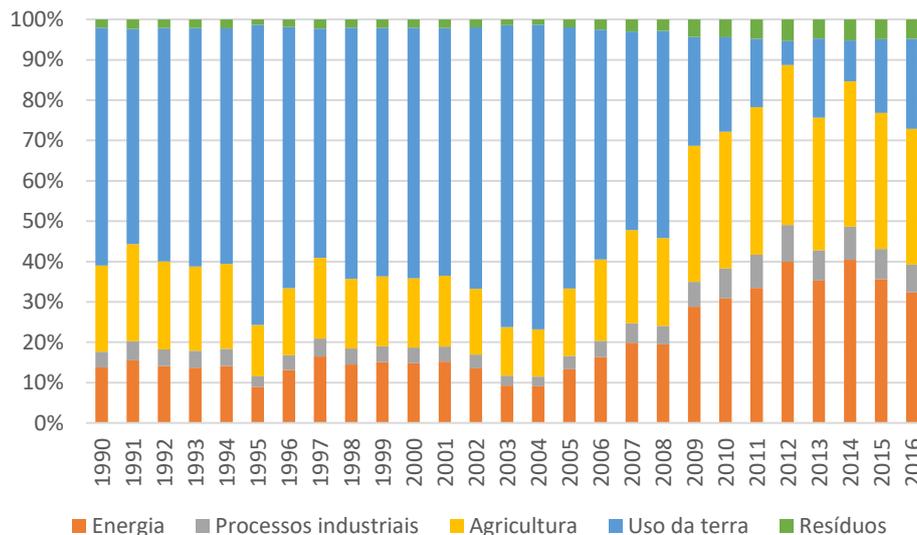
³² Aprovação do Plano Nacional de Mudanças Climáticas da China (Zandonai, 2015) e a introdução de políticas de Energia Renovável e Eficiência Energética (sigla em inglês, REEE) em setores estratégicos (indústria, transportes, construção) (Lo, 2014).

³³ O Brasil é o quinto maior país do mundo, com a maior biodiversidade e que abriga a Amazônia, maior floresta tropical do mundo. Seu território concentra cerca de 12% de toda água doce disponível, assim como grandes reservas minerais e de hidrocarbonetos (OCDE, 2015).

³⁴ Segundo Montoya et al. (2021), do consumo total de energia no Brasil, 47,5% são de fontes renováveis (principalmente, hidráulico, etanol e eólica), enquanto as fontes não renováveis (diesel, gasolina e gás natural) respondem por 52,45%.

o aumento das emissões globais (OLIVEIRA et al., 2020). Entretanto, diante dessas condições, a estrutura produtiva brasileira é considerada uma estrutura de baixo carbono, se comparada as economias de países da OCDE e outros emergentes (OCDE, 2015). O Gráfico 6 demonstra a evolução setorial das emissões brasileiras.

Gráfico 6– Composição setorial das emissões de CO2e brasileiras, no período de 1990-2016



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Climatewatch

A composição setorial das emissões brasileiras é caracterizada por grandes percentuais do setor de agricultura e uso da terra. A formação de uma estrutura produtiva para exportação intensiva no setor de agricultura agregado³⁵, nos auxilia na compreensão desta proporção em nível, a qual representa cerca de 15% das transações totais no mercado global. No entanto, dada a composição da matriz energética brasileira, Montoya et al. (2021) argumentam em defesa do perfil exportador brasileiro “limpo”, demonstrando que 76% da energia incorporada nas exportações do setor de agricultura agregado são de fontes renováveis e que, portanto, no comércio internacional, o Brasil encontra-se em uma posição na qual incorpora mais emissões por meio do consumo do que pela produção.

No entanto, um problema importante e característico da especialização brasileira no setor de agricultura está relacionado as emissões por mudança de uso da terra, que de acordo

³⁵ Usualmente, a classificação agregada do setor de agricultura é definida pelos setores 1. Agricultura, Pecuária e Silvicultura, 5. Abate, carne, laticínios, ..., 6. Tabaco, 7. Têxteis, 8. Vestuário, 9. Calçado, 10. Produtos de madeira, 11. Celulose e papel, e 14. Biocombustíveis (Montoya et al.,2021).

com o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases Efeito Estufa (SEEG) (2021), representaram 46% das emissões totais brutas no ano de 2020. Apesar de uma redução significativa das emissões por essa fonte no período de 2003 a 2012, a expansão do modelo de produção agropecuária sobre o território brasileiro tem sido causa da elevação do custo ambiental, por meio da expansão do desmatamento ilegal em áreas de floresta nativa, que atingem, principalmente, os biomas Amazônia e Cerrado (PEREIRA, 2020; SEEG, 2021). Nesta condição, por um lado, o Brasil tem sido um dos maiores responsáveis pelo aumento das emissões globais – ocupando a quinta posição global entre os países de poluição climática, responsável por 3,2% das emissões totais mundial (SEEG, 2021) –, que estão associados, em grande proporção, ao desmatamento (GUTSCHOW et al., 2016), mas que, por outro lado, estas emissões acabam não sendo computadas nas métricas de produção e consumo tradicionais, e que, portanto, devem ser complementadas com outros indicadores quantitativos e qualitativos³⁶.

O compromisso brasileiro com a questão ambiental é reconhecido internacionalmente e consolidado por meios institucionais. Em 2009, o Brasil implementou a Política Nacional de Mudança Climática (PNMC), pela Lei N° 12.187, (BRASIL, 2009), que estabeleceu dez metas para redução das emissões de GEE, inserindo objetivos para redução do desmatamento, maior distribuição e eficiência energética, e mitigação e adaptação de efeitos climáticos. No relatório SEEG (2021), analisando o período do legado da PNMC entre 2009 e 2020, são revelados que, apesar do cumprimento de algumas metas desenhadas – principalmente a de redução da meta agregada de emissões em 38,6%, em 2020 –, a implementação dos objetivos foi descoordenada e não contribuiu para uma mudança na trajetória das emissões brasileiras. Adicionalmente, nos últimos anos o país enfrentou uma precarização³⁷ da pauta ambiental e climática pelo governo federal, que é refletida através dos indicadores de desmatamento³⁸ (COELHO-JUNIOR et al., 2022) e que, por conta disso, tem priorizado no período recente a reconstrução da agenda de sustentabilidade e recuperação do protagonismo internacional para o enfrentamento das mudanças climáticas.

³⁶ Ver Niu et al. (2020).

³⁷ Encerramento do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento Ilegal da Amazônia (PPCDAm) em 2019; redução significativa dos orçamentos das agências ambientais e alteração de procedimentos institucionais para responsabilização de infratores ambientais (Coelho-Junior et al., 2022).

³⁸ De acordo com dados do INPE (2021), no período de 2012 a 2021 aumentou em 120%, atingindo 12.200 Km² de área desmatada na Amazônia, e para o Cerrado atingiu 8.500 km² no mesmo ano.

Portanto, as trajetórias de Brasil e China assinalam a existência de diferentes mecanismos de transmissão de efeitos ambientais através das relações comerciais e de produção. Nesse sentido, a partir da perspectiva ambiental, propomos a análise de evolução setorial comercial dos países e sua participação em CGV, a fim de localizar quais são os padrões de emissões de GEE e como estes são impactados por meio dos estímulos de demanda de comércio exterior. Apesar de sua importância, este tipo de análise de comércio ainda é emergente, com poucos estudos examinando quantitativamente o impacto da fragmentação da produção sobre as emissões incorporadas nos fluxos comerciais, sendo, portanto, este um espaço para contribuição.

2 METODOLOGIA

Neste capítulo, descrevemos a metodologia para análise das emissões de GEE associadas a participação no comércio internacional e em CGV, no período de 2000 a 2016, de Brasil e China. Para a análise, consideramos como parceiros comerciais as seguintes regiões econômicas:

- a) Mercado Comum do Sul (MERCOSUL): Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai, Venezuela e Uruguai;
- b) *USMCA*: Canadá, México e Estados Unidos;
- c) União Europeia (UE): Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Croácia, Dinamarca, Espanha, Eslováquia, Eslovênia, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Itália, Lituânia, Letônia, Luxemburgo, Malta, Polônia, Portugal, Romênia, Reino Unido, República Checa, Suécia;
- d) Ásia Leste: China, Coréia do Sul, Japão, Mongólia, Taiwan;
- e) Relação bilateral: Brasil e China;
- f) Resto do Mundo (Row, sigla em inglês): todos os outros países do mundo.

A análise das relações comerciais com as principais regiões econômicas, permite uma melhor caracterização dos fluxos por volume e distribuição regional das emissões incorporadas nos bens e serviços. Após a descrição do processo metodológico da modelagem insumo-produto, apresentamos uma breve definição sobre a base de dados utilizada, MRIO UNCTAD-EORA, que tem alta resolução de dados e cobertura temporal, e que é aderente para investigação por meio de indicadores das relações intersetoriais no contexto de CGV.

2.1 Análise de participação em Cadeias Globais de Valor

A análise de indicadores em CGV é conduzida, usualmente, pelo método de decomposição do valor adicionado sobre os fluxos de bens e serviços comercializados entre países, que parte das noções fundamentais do modelo de Leontief (1936) e da metodologia de análise de decomposição estrutural.

Sinteticamente, o modelo insumo-produto de Leontief (1936) demonstra a proporção e as interconexões setoriais necessárias para a produção total da economia. A princípio, como em Miller e Blair (2009), se denotarmos x_i como a produção total do setor i e por y_i a demanda

final pelos produtos do setor i , nós podemos escrever uma equação simples que contabiliza como o setor i distribui seus produtos a outros n setores e a demanda final, como:

$$x_i = z_{i1} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + y_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + y_i$$

Em notação matricial:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Z}\mathbf{i} + \mathbf{y},$$

onde \mathbf{x} é o vetor de produção, \mathbf{Z} é a matriz de fluxos de insumos intermediários entre os setores, \mathbf{y} é o vetor de demanda; e o termo i representa um vetor coluna de 1's (para a dimensão apropriada, neste caso, n), que é um componente algébrico para a multiplicação de matrizes.

Na análise de insumo produto, a relação de consumo intermediário entre dois setores, i e j , é medido pelo cálculo do coeficiente técnico a_{ij} , que é expresso como $a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j}$ ou $a_{ij}x_j = z_{ij}$. Então, aplicando as definições para n setores, temos:

$$x_n = a_{n1}x_1 + \dots + a_{ni}x_i + \dots + a_{nn}x_n + y_n = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + y_i$$

Em termos matriciais:

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{y}, \quad (1)$$

no qual a produção total \mathbf{x} é dado pela soma da matriz de coeficientes de insumo \mathbf{A} e pela demanda final \mathbf{y} . Partindo deste esquema, o sistema de produção clássico de Leontief pode ser definido como:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y} = \mathbf{L}\mathbf{y}, \quad (2)$$

onde $\mathbf{L} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ é denominado a matriz inversa de Leontief ou matriz de requisitos totais, que contabiliza todos os efeitos diretos e indiretos intersetoriais para produção. Desta forma, a ideia fundamental do modelo é de que a produção total \mathbf{x} é determinada pelo consumo intermediário como uma proporção fixa do valor da produção, expresso pelo coeficiente técnico \mathbf{A} , e variações na demanda final \mathbf{y} (MILLER, BLAIR, 2009).

A partir destas relações fundamentais, a análise das relações de comércio entre países é conduzida pela decomposição do valor adicionado sobre os fluxos exportados, que parte dos

princípios do modelo de decomposição das exportações de bens finais de Leontief (1936). Todavia, o contexto de CGV exige uma adaptação a este modelo inicial, que deve ser aderente a configuração multirregional de comércio de bens intermediários.

Nesse sentido, são encontradas na literatura métricas contábeis que foram desenvolvidas para análise das relações em CGV. Como discutidos no Capítulo 1, os modelos de decomposição do valor adicionado (JOHNSON, NOGUERA, 2012; KOOPMAN, WANG, WEI, 2014; WANG, WEI, ZHU, 2018) trouxeram grandes contribuições nessa direção, que decompõe os dados das exportações brutas totais e contabilizam o valor adicionado tanto pela lógica de origem e destino de demanda, quanto pelo local de absorção do valor nas etapas intermediárias.

A condução da análise insumo-produto que incorpora estas questões são aplicadas sobre matrizes insumo-produto MRIO, que apresentam dados sobre os fluxos de bens e serviços transacionados entre setores de diferentes países (JOHNSON, NOGUERA, 2012). As informações são organizadas por uma lógica de destinação (colunas) e origem (linhas), como exemplifica a Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Estrutura MRIO

Destino		Uso intermediário						Demanda Final			Produto total
		País 1			País G						
Fonte		Setor 1		Setor N	Setor 1		Setor N	País 1		País G	
País 1	Setor 1	Z^{ss}	...	Z^{ss}	Z^{st}	...	Z^{st}	F^{ss}	...	F^{st}	X^s
		\vdots	\ddots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	Setor N										
País G	Setor 1	Z^{ts}	...	Z^{ts}	Z^{tt}	...	Z^{tt}	F^{ts}	...	F^{tt}	X^t
		\vdots	\ddots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	Setor N										
V		v^1	...	...	v^t	...	...		
Produto total		$X^{1'}$	...	...	$X^{t'}$	...	...		

Fonte: Elaboração própria baseado em Lalanne (2022).

Como mostra a Tabela 2, considerando um mundo de G países, temos \mathbf{Z}^{st} como uma matriz $n \times n$ de insumos intermediários produzidos no país s e usado no país t ; \mathbf{Y}^{st} é um vetor $n \times 1$ de demanda final produzidos no país s e consumido no país t , \mathbf{X}^s é um vetor $n \times 1$ do produto do país s e \mathbf{V}^s é um vetor $1 \times n$ de valor adicionado pelo país s ; ' é o operador de transposta (LALANNE, 2022).

Nesta configuração, em termos matriciais, considerando que a produção total, \mathbf{X} , pode ser dividida entre bens intermediários e finais, $\mathbf{AX} + \mathbf{Y} = \mathbf{X}$, podemos escrever a equação clássica de Leontief (equação 2), em sua versão MRIO, como:

$$\mathbf{X} = \mathbf{AX} + \mathbf{Y} = \mathbf{A}^D\mathbf{X} + \mathbf{Y}^D + \mathbf{A}^F\mathbf{X} + \mathbf{Y}^F = \mathbf{A}^D\mathbf{X} + \mathbf{Y}^D + \mathbf{E}, \quad (3)$$

onde \mathbf{E} são as relações intermediárias e finais externas, e \mathbf{A}^D é uma matriz $NG \times NG$ bloco diagonal de coeficiente de insumo doméstico, dada por:

$$\mathbf{A}^D = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^{ss} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \mathbf{A}^{ss} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{A}^{gg} \end{bmatrix}$$

Desta forma, podemos definir a matriz bloco de coeficientes de insumo que está fora da diagonal principal como \mathbf{A}^F , sendo, portanto, uma a matriz de bloco de coeficientes de insumos importados $NG \times NG$, expressa como:

$$\mathbf{A}^F = \mathbf{A} - \mathbf{A}^D = \begin{bmatrix} 0 & \mathbf{A}^{su} & \dots & \mathbf{A}^{st} \\ \mathbf{A}^{us} & 0 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{A}^{ts} & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

A separação entre \mathbf{A}^D e \mathbf{A}^F propicia uma decomposição simultânea da produção, entre bens intermediários e finais, e pela localização da produção e consumo. Então, para formulação do modelo de decomposição, como em Chen et al. (2021) e Johnson e Noguera (2012), podemos escrever a versão doméstica e a versão global da matriz inversa de Leontief, como matrizes bloco diagonal $NG \times NG$, da seguinte forma:

$$\text{Versão doméstica: } \mathbf{L} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^D)^{-1} \quad (4)$$

$$\text{Versão global: } \mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}, \quad (5)$$

A partir desta divisão, o método de estimação do valor adicionado desenvolvido por Johnson e Noguera (2012) e Timmer et al. (2013) permite caracterizar o tipo de valor

adicionado – doméstico ou estrangeiro – incorporado na produção dos países, que é expresso da seguinte forma:

$$\widehat{\mathbf{V}}\widehat{\mathbf{Y}} + \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{A}\widehat{\mathbf{Y}} + \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{A}\mathbf{A}\widehat{\mathbf{Y}} + \dots = \widehat{\mathbf{V}}(\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}\mathbf{A} + \dots)\widehat{\mathbf{Y}} = \widehat{\mathbf{V}}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\widehat{\mathbf{Y}} = \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{B}\widehat{\mathbf{Y}} \quad (6)$$

Nesta equação, substituindo $\mathbf{X} = \mathbf{B}\mathbf{Y}$, e considerando o termo $\mathbf{V} = \{v_i^s\} = \left\{ \frac{v_i^s}{x_i^s} \right\}$ remete ao vetor de valor adicionado do setor i do país s , em razão do produto total x do mesmo setor; e $\widehat{\mathbf{V}}$ é uma matriz diagonal de \mathbf{V} . O termo \mathbf{B} é a versão global da inversa de Leontief e $\widehat{\mathbf{Y}}$ é uma matriz diagonal de demanda final. Cada elemento da matriz $\widehat{\mathbf{V}}\mathbf{B}\widehat{\mathbf{Y}}$ representa o valor adicionado (VA) de um setor de seu país de origem, que é usado direta ou indiretamente na produção de bens e serviços finais em um determinado país/setor. O elemento da linha (s, i) e coluna (r, j) na matriz, $v_i^s b_{ij}^{sr} y_j^r$, é o VA total (direto e indireto) do setor i no país s incorporado no produto final produzido pelo setor j do país r . Desta forma, observando a matriz ao longo de uma linha, temos a distribuição do VA criado a partir de um setor-país que é absorvido pela produção de bens finais em todos os setores-países. Observando a matriz ao longo de uma coluna, obtém-se a contribuição do VA de todos os pares de países-setores de origem que são incorporados aos bens e serviços finais produzidos por um determinado país/setor.

Em seguida, é possível obter a decomposição do valor adicionado de Wang et al. (2013) sobre as relações intermediários e finais sobre o produto da matriz $\widehat{\mathbf{V}}\mathbf{B}\widehat{\mathbf{Y}}$, de acordo com a origem da demanda: $\widehat{\mathbf{Y}}^D$, para demanda final doméstica; $\widehat{\mathbf{Y}}^F$, demanda final estrangeira; e $\widehat{\mathbf{Y}}$, demanda final global. Então, para equação de decomposição do valor adicionado temos:

$$\begin{aligned} \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{B}\widehat{\mathbf{Y}} &= \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\widehat{\mathbf{Y}}^D + \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\widehat{\mathbf{Y}}^F + \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\mathbf{A}^F\mathbf{B}\widehat{\mathbf{Y}}\widehat{\mathbf{V}}\mathbf{B}\widehat{\mathbf{Y}} = \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\widehat{\mathbf{Y}}^D + \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\widehat{\mathbf{Y}}^F + \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\mathbf{A}^F(\mathbf{L}\widehat{\mathbf{Y}}^D + \mathbf{L}\widehat{\mathbf{Y}}^F + \mathbf{L}\mathbf{A}^F\mathbf{X}) \\ &= \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\widehat{\mathbf{Y}}^D + \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\widehat{\mathbf{Y}}^F + \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\mathbf{A}^F\mathbf{L}\widehat{\mathbf{Y}}^D + \widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\mathbf{A}^F(\mathbf{B}\widehat{\mathbf{Y}} - \mathbf{L}\widehat{\mathbf{Y}}^D) \quad (7) \end{aligned}$$

Portanto, o valor adicionado incorporado nos fluxos comerciais (equação 7) é decomposto em quatro matrizes $NG \times NG$, que são interpretadas da seguinte forma. O primeiro termo, $\widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\widehat{\mathbf{Y}}^D$, indica o valor adicionado incorporado exclusivamente pela matriz doméstica para consumo local, isto é, um consumo que não ultrapassa fronteiras. O segundo termo, $\widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\widehat{\mathbf{Y}}^F$, indica o valor adicionado doméstico presente nas exportações de bens finais. O terceiro, $\widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\mathbf{A}^F\mathbf{B}\widehat{\mathbf{Y}}$, denota o valor adicionado presente nos insumos intermediários nos fluxos em cadeia global de valor, mas que atravessam as fronteiras apenas uma vez. Por último, o termo $\widehat{\mathbf{V}}\mathbf{L}\mathbf{A}^F(\mathbf{B}\widehat{\mathbf{Y}} - \mathbf{L}\widehat{\mathbf{Y}}^D)$,

refere-se à participação do valor adicionado nos bens intermediários através da participação em cadeias, atravessando a fronteira múltiplas vezes (CHEN et al., 2021). Em síntese, a decomposição demonstra a incorporação do valor adicionado sobre os fluxos de bens intermediários e finais, de acordo com os efeitos da demanda global e doméstica.

A partir deste modelo de decomposição, como em Chen et al. (2021), podemos adaptar a equação 7, a fim de obter os efeitos dos encadeamentos em termos de emissões de GEE. O objetivo desta adaptação é observar como a participação das CGV e os estímulos de demanda global e doméstica, influem sobre o padrão de emissões dos países, levando em consideração a sua localização (produção e consumo). Para isso, consideramos o seguinte coeficiente de emissões:

$$C = \{c_i^s\} = \left\{ \frac{c_i^s}{x_i^s} \right\} \quad (8)$$

Em termos matriciais, temos o coeficiente de emissões C , do setor i e país s , em razão da produção total \mathbf{x} , do setor i e país s . Deste modo, se substituirmos a matriz diagonal \widehat{V} pela matriz diagonal do coeficiente de emissões \widehat{C} , podemos aplicar o método de decomposição para as emissões de GEE, obtendo:

$$\widehat{C}\widehat{B}\widehat{Y} = \widehat{C}\widehat{L}\widehat{Y}^D + \widehat{C}\widehat{L}\widehat{Y}^F + \widehat{C}\widehat{L}A^F\widehat{B}\widehat{Y} + \widehat{C}\widehat{L}A^F(\widehat{B}\widehat{Y} - \widehat{L}\widehat{Y}^D) \quad (9)$$

Desta forma e análogo à equação 7, a interpretação dos quatro termos da decomposição de $\widehat{C}\widehat{B}\widehat{Y}$ são dadas, respectivamente: (1) emissões incorporadas nos bens produzidos e consumidos domesticamente; (2) emissões incorporadas em bens finais exportados; (3) emissões geradas pela produção de bens intermediários que atravessam a fronteira uma única vez; e (4) emissões incorporadas nos bens intermediárias que atravessam múltiplas fronteiras.

Em seguida, como em Chen et al. (2021), a seleção e adição de componentes obtidos na decomposição nos permite analisar os resultados meio de três métricas contábeis (ver Apêndice B):

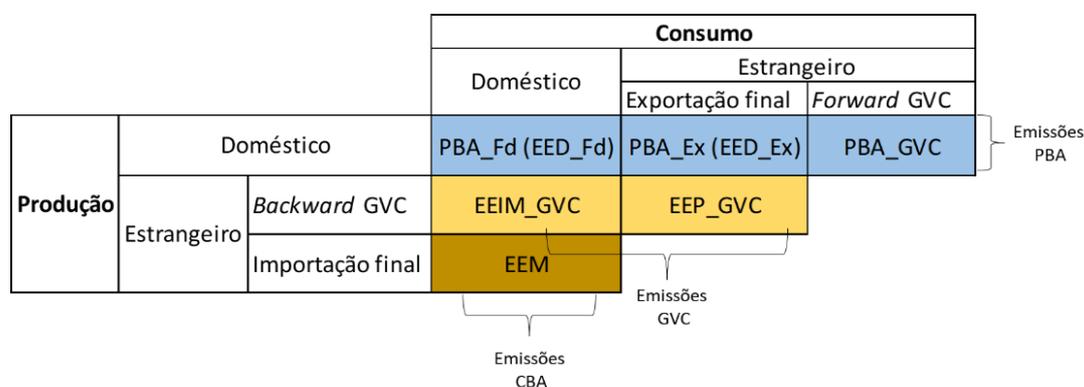
- a) Emissões Contabilizadas pela Produção (PBA, sigla em inglês): demonstra as emissões que são distribuídas por meio da venda de bens e serviços – isto é, das ligações de encadeamentos para frente – considerando a trajetória das emissões geradas pelo setor i ao setor j , do país s ao país t . Elas são classificadas como a produção destinada ao consumo doméstico (PBA_FD), para bens intermediários que são exportados mas que

retornam para o mercado doméstico (PBA_Fdr), às exportações de bens finais (PBA_EX) e às exportações de bens intermediários para CGV (PBA_GVC).

- b) Emissões Contabilizadas pelo Consumo (CBA, sigla em inglês): contabiliza as emissões incorporadas no consumo de bens e serviços, que remete as relações de encadeamento para trás. O CBA pode ser dividido entre emissões incorporadas nas compras intersetoriais da produção doméstica para o consumo doméstico (EED_FD), na compra de bens intermediários importadas (EEIM_GVC), e de bens finais importados (EEM).
- c) Emissões Contabilizadas em CGV (GVC, sigla em inglês): contabiliza as emissões domésticas incorporadas na produção dos países parceiros, ou seja, na produção de todos os bens que são exportados. A métrica também quantifica as emissões associadas as ligações para trás, mas diferente de CBA, exclui as emissões de bens finais importados e insere as emissões incorporadas nos bens exportados (EEF_EX) e nos bens que são re-exportados e re-importados (EEP_GVC).

Dadas as definições, a Figura 2 exemplifica a organização da decomposição, que segue a lógica de encadeamentos para frente (produção) e para trás (consumo).

Figura 2 – Decomposição das emissões em três métricas contábeis



Fonte: Chen et al. (2021). Tradução própria.

Por último, considerando as interações obtidas a partir destas relações algébricas, propomos a construção de um indicador sintético de *emissões setoriais em CGV*, que demonstra a proporção das emissões setoriais associadas as demandas de CGV e doméstica. Para isso, com referencial em Hermida (2016), calculamos o indicador como a razão entre a diferença das emissões incorporadas nos fluxos para CGV e as emissões incorporadas nos fluxos de bens

para consumo doméstico, em relação as emissões totais. Dessa forma, para as transações do setor i do país s , podemos escrever o indicador de *emissões setoriais em CGV*, SE_{CGV} , como:

$$SE_{CGV} = \frac{EE_{CGV_i^s}/Y_j^{f^s} - EE_{FD_i^s}/Y_i^{d^s}}{EE_{t_i^s}/Y_i^s}$$

onde temos,

- *Forward CGV*: emissões territoriais que foram geradas para oferta de bens e serviços ao comércio internacional: $EE_{CGV_i^s} = PBA_GVC_i^s$;
- *Backward CGV*: emissões que foram incorporadas pela compra de bens e serviços do comércio internacional: $EE_{CGV_i^s} = EEIM_GVC_i^s + EEP_GVC_i^s$
- *Forward Doméstico*: emissões territoriais que foram geradas para oferta de bens e serviços ao mercado doméstico: $EE_{FD_j^s} = PBA_Fd_j^s$;
- *Backward Doméstico*: emissões incorporadas pela compra de bens e serviços do comércio internacional para abastecimento doméstico $EE_{FD_j^s} = EED_Fd_j^s$
- Emissões totais missões incorporadas nos fluxos domésticos e de CGV (*Forward e Backard*): $EE_{t_j^s} = EE_{CGV_{ij}^s} + EE_{FD_{ij}^s}$

Os termos são ponderados pela demanda final doméstica ($Y_i^{d^s}$), de CGV ($Y_j^{f^s}$) e total (Y_i^s). Então, como $-1 \leq SE_{CGV} \leq 1$, se mais próximo à 1, tem-se que o volume de emissões associadas a CGV é maior, enquanto se mais próxima à -1, para os fluxos ao mercado doméstico. Desta forma, baseado em Zhu et al. (2018), propomos a utilização deste indicador como peça que auxilie a condução prática dos conceitos de responsabilidades pelas emissões em fluxos comerciais, a fim de garantir maior equidade para elaboração de políticas efetivas de mitigação e justiça climática.

2.2 Base de dados: UNCTAD-EORA

A análise matricial é desenvolvida sobre a base de dados UNCTAD-EORA *Global Supply Chain*. A UNCTAD-EORA é uma base MRIO, que teve sua construção motivada pelo estudo da relação entre fragmentação da produção e desenvolvimento econômico (UNCTAD, 2013), somadas às preocupações sobre as questões de mudanças climáticas, identificando a necessidade de inserir a contabilização das emissões de poluentes nas estatísticas de comércio

internacional. Neste sentido, a motivação para construção da UNCTAD-EORA teve como princípio oferecer uma compilação de dados que sejam: a) detalhados; b) dinâmicos; c) flexíveis; d) transparentes; e) comparativos; f) confiáveis; g) atualizados; h) de orçamento baixo; e i) de livre acesso (LENZEN et al., 2013).

A UNCTAD-EORA oferece um conjunto de indicadores de valor adicionado para análise em CGV, principalmente: *Foreign Value Added (FVA)*, *Domestic Value Added (DVA)* e *Domestic Value Added in country's exports (DVA_ex)*, que oferecem insumos para construção de outras métricas (CASELLA et al., 2019). Uma característica particular desta base, que a diferencia das demais, é que são evitadas alterações nas estruturas dos dados brutos dos países³⁹ com objetivo de garantir a transparência. Dessa forma, a base insere as tabelas originais de recursos e usos para um país (SUT, sigla em inglês), ao lado de uma tabela insumo-produto (IOT) indústria por indústria de outro país, seguido de uma IOT produto por produto para um terceiro país. Esta organização contribui para padronização de alto nível dos dados, favorecendo seu procedimento de atualização (TUKKER, 2013).

Nesse sentido, a UNCTAD-EORA MRIO oferece uma alta resolução de dados, com uma classificação de 26 a 500 indústrias (versão completa, a depender do país), de 189 países e uma região agregada como “resto do mundo” (ROW, sigla em inglês), com cobertura temporal de 1990 a 2018 (CASELLA et al., 2019). Para esta análise, com fins práticos, aplicaremos sobre a classificação setorial tradicional de 26 setores da UNCTAD-EORA, o modelo de classificação da Base do Grupo de Indústria e Competitividade (GIC) do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE/UFRJ), que classifica as indústrias pelo seu desempenho competitivo, de acordo com as definições de padrões de concorrência, considerando fatores do lado da oferta e da demanda (TOREZZANI, 2020; FERRAZ; KUPFER; HAGUENAUER, 1996; KUPFER, 1998). Deste modo, as 26 indústrias da base UNCTAD-EORA são agrupadas em cinco setores (Apêndice A): (1) Commodities Agrícolas Processadas (CAP); (2) Commodities Industriais (CI); (3) Indústria Tradicional (IT); (4) Indústria Inovativa (II) e (5) Outro.

A base UNCTAD-EORA conta ainda com um quadrante denominado “*Satellite Accounts*” (Contas Satélites), que incorpora um conjunto de *inputs* não-monetários nas relações

³⁹ As fontes dos dados utilizados são: (1) National Input-Output tables; (2) I-O compendia from Eurostat (2011), IDE-JETRO (2006), OECD (2009); (3) UN National Accounts Main Aggregates Database (UNSD, 2011a); (4) UN National Accounts Official Data (UNSD, 2011b); (5) UN Comtrade international trade database (UN, 2011); (6) UN Servicetrade international trade database (UN, 2009) (Lenzen et al., 2013).

de produção de cada setor, caracterizando como uma MRIO com extensão social e ambiental. A lógica desse procedimento é a seguinte, se um setor adquire um produto A, B ou C de outros setores, a base contabiliza que essa transação teve um consumo de energia W e X, que teve um impacto social Y e gerou uma poluição Z.

A composição dos dados apresentados nas Contas Satélites permite a estimação de emissões de GEE associados aos fluxos de comércio intersetoriais-interpaíses, que justificam a seleção da UNCTAD-EORA para esta análise. A conta registra os dados para as principais fontes de GEE – dióxido de carbono (CO₂), gás metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) –, assumindo como unidade padrão as emissões o Gg (1 Gg = 1 kilotonelada CO₂equivalente). Os dados de emissões podem ser obtidos de fontes diversas: I-PRIMAP; CDIACGgCO₂FFuelCement; CDIACGgCO₂Bunkers; I-IEArev2-TOTAL; I-EDGARrev2-CO₂-TOTAL; mas que, usualmente, são trabalhados com os dados da PRIMAP-hist, que estão categorizados de acordo com as classificações do IPCC (KRUEGER et al., 2016).

Diversas iniciativas e bases MRIO obtiveram sucesso na investigação de emissões incorporadas aos fluxos de comércio internacional (IDE-JETRO, 2006; EXIOBASE, 2012; GRAM, 2012; GLIO, 2012; GTAP, 2012; OECD, 2012; WIOD, 2012) que contribuem em termos de resultado e auxiliam no processo de tomada de decisão. Porém, como cada iniciativa detém propósitos específicos, a seleção da base deve ser aderente ao tipo de análise a ser desenvolvida (LENZEN et al., 2013).

É importante considerar também algumas limitações comuns às bases MRIO. Na literatura (WIEDMAN et al., 2011, TUKKER, DIETZENBACHER, 2013; DIETZENBACHER, 2013, TUKKER et al., 2018) é possível obter uma descrição detalhada destas limitações, mas que, em geral, estão presentes na: disponibilidade de dados oficiais e hipóteses empregadas em cada modelo para o preenchimento de dados; múltiplas fontes de dados, que dificultam a comparação de uma base para outra; e nível de agregação setorial. Para o caso da UNCTAD-EORA, Casella et al. (2019) identificam três áreas principais para aprimoramento da base: (1) melhorar a compatibilização dos resultados com outras bases MRIO; (2) atribuir maior detalhamento setorial; (3) oferecer um tratamento mais consistente aos dados do setor “Re-importação e Re-exportação” e “Processamento do comércio”.

Por fim, apesar das limitações, a construção e utilização de MRIO são observadas como ferramentas importantes para o estudo das relações de produção e comércio entre países, assim

como de suas implicações sobre as questões sociais e ambientais, para as discussões de desenvolvimento econômico.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta uma análise descritiva dos resultados obtidos na decomposição estrutural das emissões de GEE nos fluxos comerciais, de exportações e importações, de Brasil e China com as principais regiões econômicas do mundo (Mercosul, USMCA, União Europeia, Ásia Leste e Resto do Mundo). No primeiro tópico, são apresentados os resultados das emissões totais distribuídas por região, a fim de demonstrar a composição regional das emissões para cada ano de análise. No segundo tópico, primeiro, temos a representação das emissões setoriais contabilizadas pelas métricas de produção, consumo e CGV. Em seguida, são apresentadas a variação das emissões ao longo do período analisado, que estão divididos em três sub-períodos: pré-crise de 2008 (2000-2006), pré e pós-crise de 2008 (2006-2010) e pós-crise de 2008 (2010-2016). Por último, temos os dados para o indicador de *emissões setoriais para CGV*.

Em geral, os dados revelam que a dinâmica regional incide diretamente sobre o padrão emissor dos dois países. Em específico, as emissões chinesas incorporadas pela produção e consumo estão vinculadas a setores e indústrias de alta intensidade energética, enquanto para o Brasil, a maior distribuição de emissões pela venda de bens e serviços é proveniente dos setores da indústria tradicional. Por fim, em ambos os casos, são observados que as emissões associadas ao abastecimento do mercado doméstico são superiores, proporcionalmente, às emissões para CGV.

3.1 Padrão de emissões e participação em cadeias globais de valor

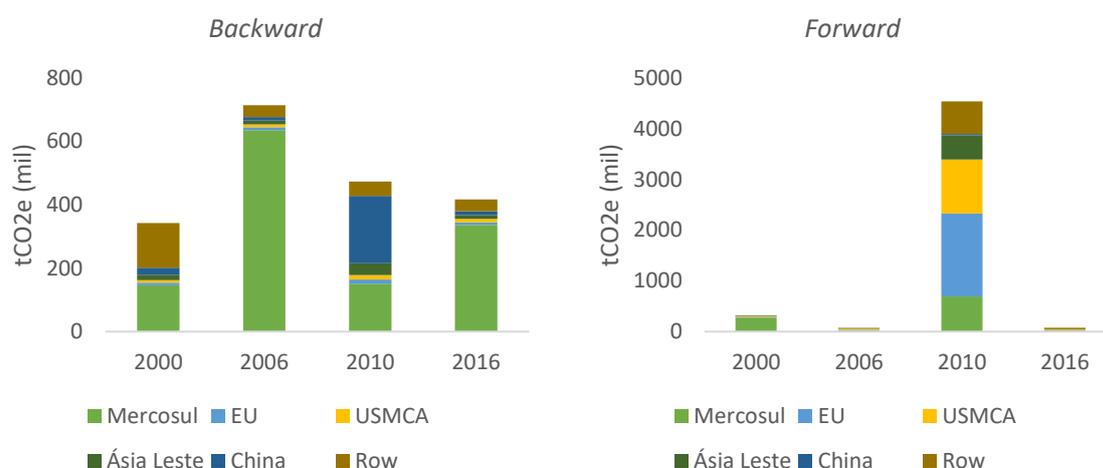
3.1.1 Origem e destino das emissões de gases efeito estufa

Conforme apresentado no capítulo anterior, os termos obtidos pela matriz $\widehat{CB\hat{Y}}$ (equação 9) demonstram a incorporação das emissões nos fluxos comerciais dos países com os blocos parceiros, de acordo com variações na demanda (doméstica e global). A soma das linhas contabiliza as emissões totais incorporadas por meio do consumo de bens e serviços dos respectivos parceiros, o que remete a posição dos países como demandante (*backward*) no comércio internacional. Por sua vez, a soma das colunas contabiliza a distribuição total das emissões por meio das exportações, observando, portanto, o papel dos países como ofertantes (*forward*) de bens e serviços ao comércio exterior. Desta forma, os primeiros resultados

observados apresentam a origem e destino das emissões, que são incorporadas na produção e consumo dos bens.

O Gráfico 7, abaixo, apresenta as estimativas das emissões totais de GEE, em tCO₂e (toneladas de carbono equivalente), do tipo *backward* e *forward* do Brasil com os blocos econômicos, resto do mundo e a China, devido a sua representatividade comercial para o Brasil.

Gráfico 7– Emissões totais brasileiras, incorporadas pelos encadeamentos backward e forward



Fonte: Elaboração própria.

Analisando as emissões incorporadas por meio do consumo de bens e serviços (*backward*). Primeiramente, é importante ressaltar que os dados para cada ano remetem as transações de bens intermediários e finais em valores correntes de cada ano, de forma que as diferenças em níveis estão associadas às variações nas transações e conjuntura de cada período. Para o ano 2000, temos o Mercosul e o componente Resto do mundo (Row) como principais origens das emissões por consumo. Neste momento histórico, estava em curso a construção de um sistema multilateral de comércio entre os diferentes grupos econômicos (ABREU, 1998), nos quais seus efeitos são observados por meio do incremento da participação dos blocos em outros anos. A Tabela 3 apresenta a evolução da quota das exportações e importações brasileiras com países dos blocos econômicos, em termos de volume de transações brutas.

Tabela 3 – Exportações e importações brutas brasileiras por região (em %)

	2000		2006		2008		2010		2016	
	Exp	Imp	Exp	Imp	Exp	Imp	Exp	Imp	Exp	Imp
Mercosul	14.1	15.6	10.2	11.1	11.1	9.5	11.3	9.9	10.2	9.6
América do Norte	30.7	25.9	26.8	18.4	27.8	18.3	25.0	18.3	19.8	21.0
Europa	28.1	28.7	22.7	25.2	16.7	25.6	12.6	25.4	16.3	26.2
Leste Asiático	8.2	11.3	10.9	18.0	13.9	20.5	21.6	24.1	24.5	24.4
China	2.0	2.1	6.1	8.6	8.4	11.5	15.3	14.0	19.6	16.8
Total(US\$ Bilhões)	44.5	46.4	97.1	67.3	136.2	129.0	141.4	142.4	127.4	113.0

Fonte: Elaboração própria com dados da Secex.

Os dados da Tabela 3 demonstram que no intervalo entre 2000 e 2006, houve uma redução nas importações do Mercosul em 4,5%, acumulando queda de 6% até o ano de 2016. No entanto, do ponto de vista das emissões, o Gráfico 7 demonstra que a incorporação de emissões de bens e serviços pelo consumo é mais significativa nas transações com o bloco. O conteúdo das importações brasileiras com destino ao Mercosul, para o ano de 2006, são, em maior parte, aos bens de consumo e bens intermediários, assim como as commodities de minério e de combustíveis (WITS, 2022).

Para além do conteúdo, um fator comum das transações entre países do Mercosul, é que estas são relações exclusivas de países em desenvolvimento. Jimenez e Mercado (2014), ao analisar aspectos da interação entre nível de renda e intensidade energética nos últimos 40 anos, concluíram que os países com nível mais elevado de renda (em geral, os que compõe a OCDE) foram responsáveis pela redução em 10% da intensidade energética mundial, enquanto os países com níveis de renda mais baixa foram responsáveis pelo aumento em 8%. Desta forma, como o nível de intensidade energética para a produção tem efeito sobre o nível de emissões de GEE, as transações entre Brasil e Mercosul, assim como entre outras economias emergentes, devem ser marcadas por maiores níveis de emissões.

Estas relações destacam aspectos apontados pela hipótese de refúgios de poluição. No período de 2000-2006, os Estados Unidos e Europa respondiam por cerca de 49,4% das importações brasileiras, sendo os principais parceiros comerciais do país até então (OLIVEIRA, 2016). Entretanto, apesar do volume de transações, as estimativas para incorporação das emissões, via *backward*, não são expressivas quando comparadas, por exemplo, ao Mercosul, refletindo, em algum grau, a tendência de concentração de processos

poluentes e intensivos em emissões das relações entre países em desenvolvimento, em detrimento de sua redução na relação com os países desenvolvidos.

Para o ano de 2010, os resultados demonstram uma mudança no padrão de comércio exterior brasileiro, que tem como fator determinante a crise financeira de 2008. A queda no consumo dos países desenvolvidos durante o período de recessão mundial, causou uma reconfiguração da estrutura produtiva global, abrindo espaço para o crescimento e fortalecimento da indústria dos países do Leste Asiático (O'NEILL, 2011). Em 2008, a Ásia (continente em geral) superou as demais regiões, respondendo por 27% das importações brasileiras, assim como nas exportações, representando 26,3% das exportações totais (OLIVEIRA, 2016). O papel da China na modificação deste padrão é central, como mostra a Tabela 3, no período de 2000 a 2016 sua participação relativa nas exportações brasileira passa de 2% para 19,6% ao mesmo tempo que aumenta sua participação como ofertante de bens manufaturados industriais ao Brasil. Todavia, esta elevação é traduzida em aumento nas emissões incorporadas por importações, registrando aproximadas 200 MtCO₂e para o ano de 2010, o que remete a intensidade energética e de emissões das exportações chinesas (CUI et al., 2015).

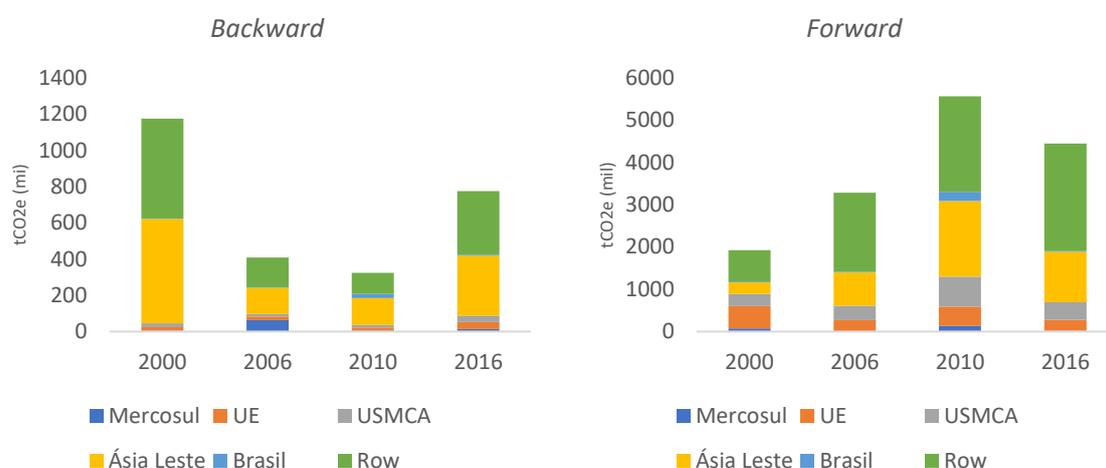
Entretanto, para o ano de 2016, os dados demonstram a maior participação relativa das emissões por consumo vinculadas, novamente, ao Mercosul, e que podem ser interpretados a partir de três observações. Primeiro, como destacado anteriormente, apesar do maior volume de transações com os países asiáticos, a armadilha da especialização produtiva (SAVONA, CIARLI, 2019) e composição das importações, incide diretamente sobre as questões de eficiência energética e emissões nas relações comerciais entre Brasil e Mercosul. Segundo, o modelo de desenvolvimento industrial asiático, liderados pela expansão da indústria chinesa, tem sido caracterizado pela maior participação em etapas intermediárias de grandes e complexas cadeias globais de valor (LALANE, 2022), e que, portanto, tem registrado resultados inferiores para as emissões do tipo territoriais nessa região (LI et al., 2022). E, por último, a redução das emissões chinesas pela produção como efeito inicial de políticas industriais e de combate as mudanças climáticas que foram introduzidas ao longo do período (LO, 2014). Quaisquer que sejam os condicionantes destes resultados, a análise posterior das emissões por tipo de transação, de bens intermediários ou finais, oferecerá outras informações complementares.

Analisando agora os resultados das emissões brasileiras incorporadas em bens e serviços que são vendidos no comércio exterior (*forward*). Como mostra o Gráfico 7, 2010 registra o maior nível de emissões nas exportações brasileiras, que também foi o ano com maior volume de exportações ao longo do período analisado. As emissões brasileiras tiveram como destino principal, respectivamente, Europa (36%), América do Norte (23,3%), Mercosul (15,3%), Resto do mundo (14,2%) e Leste Asiático (10,5%).

A participação relativa inferior dos países asiáticos nas emissões brasileiras nos bens e serviços exportados, apontam que a composição setorial das exportações é relevante para análise das emissões. Segundo dados da WITS (2022), as exportações brasileiras para os países do Leste Asiático estão concentradas nos bens primários, principalmente agricultura e de mineração, que representou 70,2% da pauta em 2010. Em contrapartida, para as outras regiões, o Brasil tem uma composição mais balanceada, com maior incremento de bens intermediários e de consumo. Estas observações informam, como discutido em Montoya et al. (2021), que a incorporação das emissões em bens e serviços da agricultura brasileira são baixas, devido a maior utilização de fontes renováveis de energia. Adicionalmente, Zhang et al. (2017), ao verificar a composição das emissões brasileiras em fluxos comerciais, observa que os setores de bens intermediários são mais intensivos em emissões que os bens primários. Entretanto, relembremos sobre as emissões por desmatamento e uso da terra, que não são captadas nessas estatísticas, mas compõe a maior parte das emissões brasileiras no período recente (SEEG, 2021).

Em seguida, para analisarmos as emissões incorporadas nos fluxos comerciais da China com as regiões econômicas, o Gráfico 8 apresenta os resultados *backward* e *forward* obtidos.

Gráfico 8 – Emissões totais chinesas, incorporadas pelos encadeamentos backward e forward



Fonte: Elaboração própria.

Como ponto de partida, o Gráfico 8 explicita como a dinâmica regional é relevante para as relações comerciais chinesas externas, que apresentou resultados mais expressivos que as demais regiões econômicas, para *backward* e *forward*. A Tabela 4 atesta essa representatividade, em termos de volume de transações brutas.

Tabela 4– Exportações e importações brutas chinesas por região (em %)

	2000		2006		2008		2010		2016	
	Exp	Imp	Exp	Imp	Exp	Imp	Exp	Imp	Exp	Imp
Leste Asiático	48.2	48.7	39.5	50.8	36.8	46.6	37.1	47.2	39.1	46.1
Europa e Ásia Central	18.7	18.2	23.8	15.1	26.3	15.7	24.3	16.8	20.2	19.1
América do Norte	22.2	11.6	22.7	8.5	19.2	8.3	19.4	8.4	19.7	9.7
América Latina e Caribe	2.9	2.4	3.7	4.3	5.0	6.3	5.8	6.5	5.4	6.5
Brasil	0.5	0.7	0.8	1.6	1.3	2.6	1.6	2.7	1.1	2.9
Total (Bilhões US\$)	230.3	183.8	875.3	635.8	1268.0	901.3	1390.3	1139.7	1792.6	1336.8

Fonte: Elaboração própria com dados da WITS.

A integração regional dos países do Leste Asiático é um dos pilares de sustentação do crescimento econômico chinês contemporâneo. Segundo relatório da UNIDO (2018), a Ásia é a região que apresenta maior grau de integração em cadeias de produção, sendo o *locus* da indústria manufatureira global, no qual as maiores economias da região têm avançado posições nas cadeias produtivas e aumentando o valor agregado doméstico nas exportações.

Como mostra o Gráfico 8, os efeitos dessa intensa regionalização e sustentação do processo de crescimento econômico doméstico, se traduzem em maiores níveis de emissões incorporadas pelo consumo, e que tem o componente Resto do Mundo como segundo maior representante. Cui et al. (2015) em estudo sobre a incorporação de energia nos fluxos comerciais chineses, observa que, para as importações, no período de 2000 a 2007, estiveram associadas indústrias intensivas em energia e que tiveram como origem principal os países do Oriente Médio e África, que, nesta análise, estão inseridas no componente Resto do Mundo. Após a crise de 2009, Li et al. (2022) argumentam sobre uma redução nas emissões chinesas incorporadas pelas relações de comércio internacional, como mostra o Gráfico 8. No entanto, destacam que entre 2009 e 2011 o país recuperou sua posição, e observam uma retomada na trajetória crescente de emissões, mesmo com a transição do país aos estágios mais intermediários de CGV complexas, como observado nos resultados para de 2010 a 2016. Então, estas observações sugerem que, mesmo com a transição chinesa dos fluxos de comércio tradicional para as atividades de CGV, as emissões incorporadas pelo consumo ainda são expressivas e com tendência crescente.

Para as emissões incorporadas via *forward*, a Europa e América do Norte tem uma participação mais expressiva como destino das emissões chinesas, que agregados representaram cerca de 40% das exportações brutas do país no ano de 2016. Como discutido em Cui et al. (2015), assim como para as importações, as emissões incorporadas nas exportações estão associadas diretamente aos setores que fazem uso intensivo de energia, mas que, desta vez, são geradas e distribuídas pela estrutura produtiva chinesa. Deste modo, a redução da distribuição das emissões chinesas, via *forward*, depende da redução da intensidade energética do setor industrial, assim como da migração para fontes renováveis de energia. Além disso, esta questão chama atenção também para como os países desenvolvidos são os grandes representantes do grupo de emissões incorporadas pelo consumo, ressaltando o aspecto alocativo de transferência das externalidades ambientais negativas pelas relações de comércio internacional (ARCE et al., 2012).

3.2 Decomposição das emissões

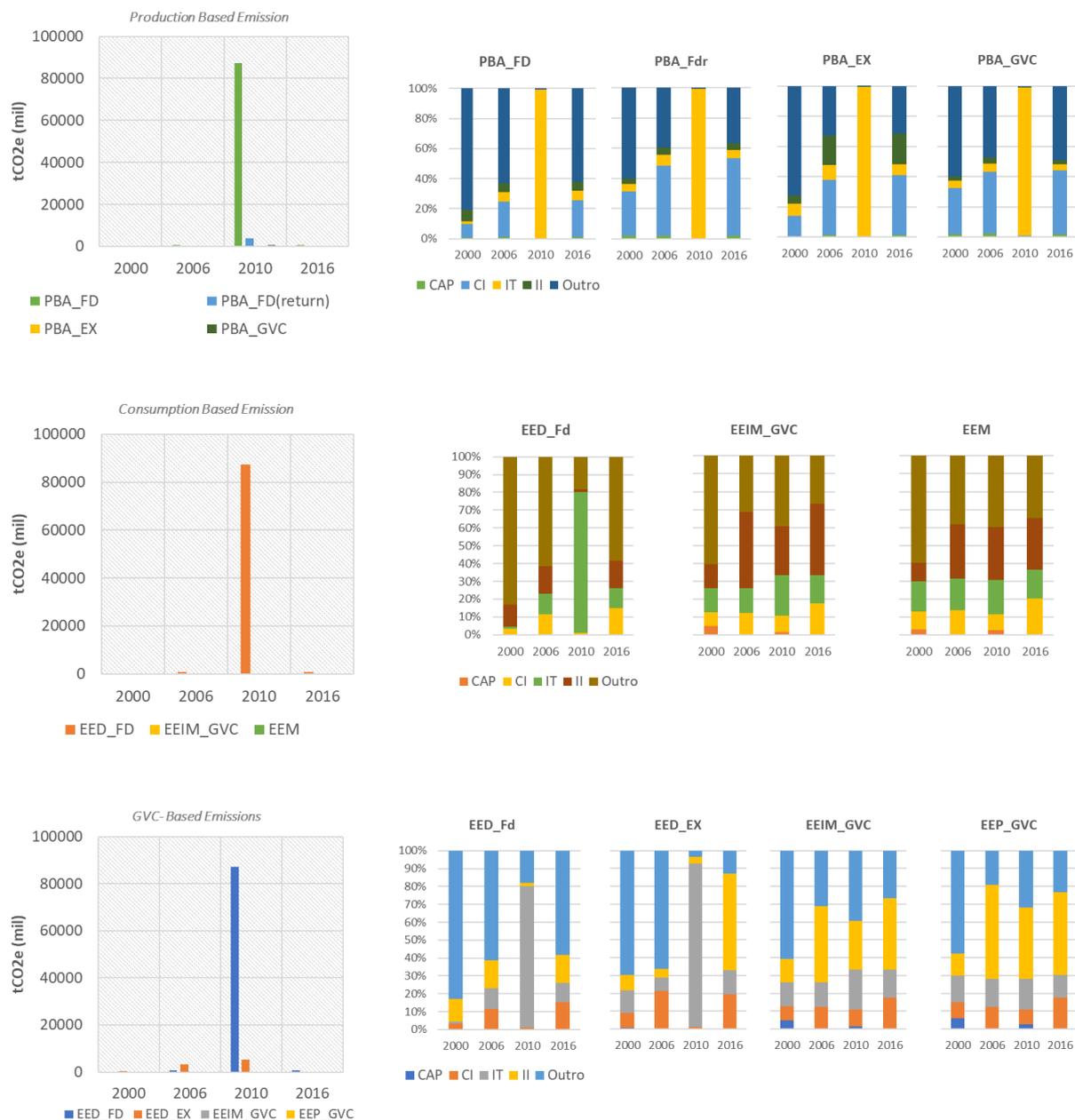
A partir da modelagem desenvolvida, as emissões de GEE incorporadas nos fluxos comerciais foram decompostas, tanto pela localização da produção e consumo, como entre fluxos de bens intermediários e finais, o que nos permite discriminar as transações como

domésticas, de comércio internacional tradicional e de CGV. Os gráficos a seguir apresentam os resultados para o conjunto de indicadores de emissões por ano e divididos setorialmente em: Commodities Agrícolas Processadas (CAP), Commodities Industriais (CI), Indústria de Transformação (IT), Indústria Inovativa (II) e Outro.

Retomando algumas definições gerais, os indicadores de emissões baseadas na produção (PBA) são divididos em: emissões territoriais para bens finais de consumo doméstico (PBA_Fd), para bens intermediários que são exportados mas que retornam para o mercado doméstico (PBA_Fdr), bens finais exportados (PBA_Ex), e bens intermediários ou de produção final no exterior (PBA_GVC). Seguindo a mesma lógica, os indicadores de emissões incorporadas pelo consumo (CBA), são divididos em emissões para consumo doméstico (EED_Fd), emissões incorporadas pelo consumo de bens intermediários para produção final local e consumidos domesticamente (EEIM_GVC), e emissões incorporadas pelo consumo de bens finais no mercado doméstico (EEM). Por fim, os indicadores de GVC introduzem todas as emissões incorporadas pela produção final de bens para exportação (EED_EX) e as emissões na produção de bens intermediários que são re-exportados (EEP_GVC).

Observando os dados para o Brasil, no Gráfico 9, como o ano de 2010 é caracterizado pela maior intensidade comercial, em termos de volume, todos os indicadores apresentaram valores muito mais expressivos para este ano, em relação aos outros anos.

Gráfico 9– Indicadores PBA, CBA e CGV: Brasil



Fonte: Elaboração própria.

Para as emissões territoriais (PBA), observamos que, com exceção de 2010, a composição das emissões esteve associada, em maior percentual, aos setores de CI e Outro, e que são originadas para o consumo no mercado doméstico (PBA_Fd). Esta representação é fiel ao retrato da estrutura produtiva brasileira, que indica um nível de emissões mais elevado para os principais setores produtivos e exportadores do país – incluindo as atividades de agricultura,

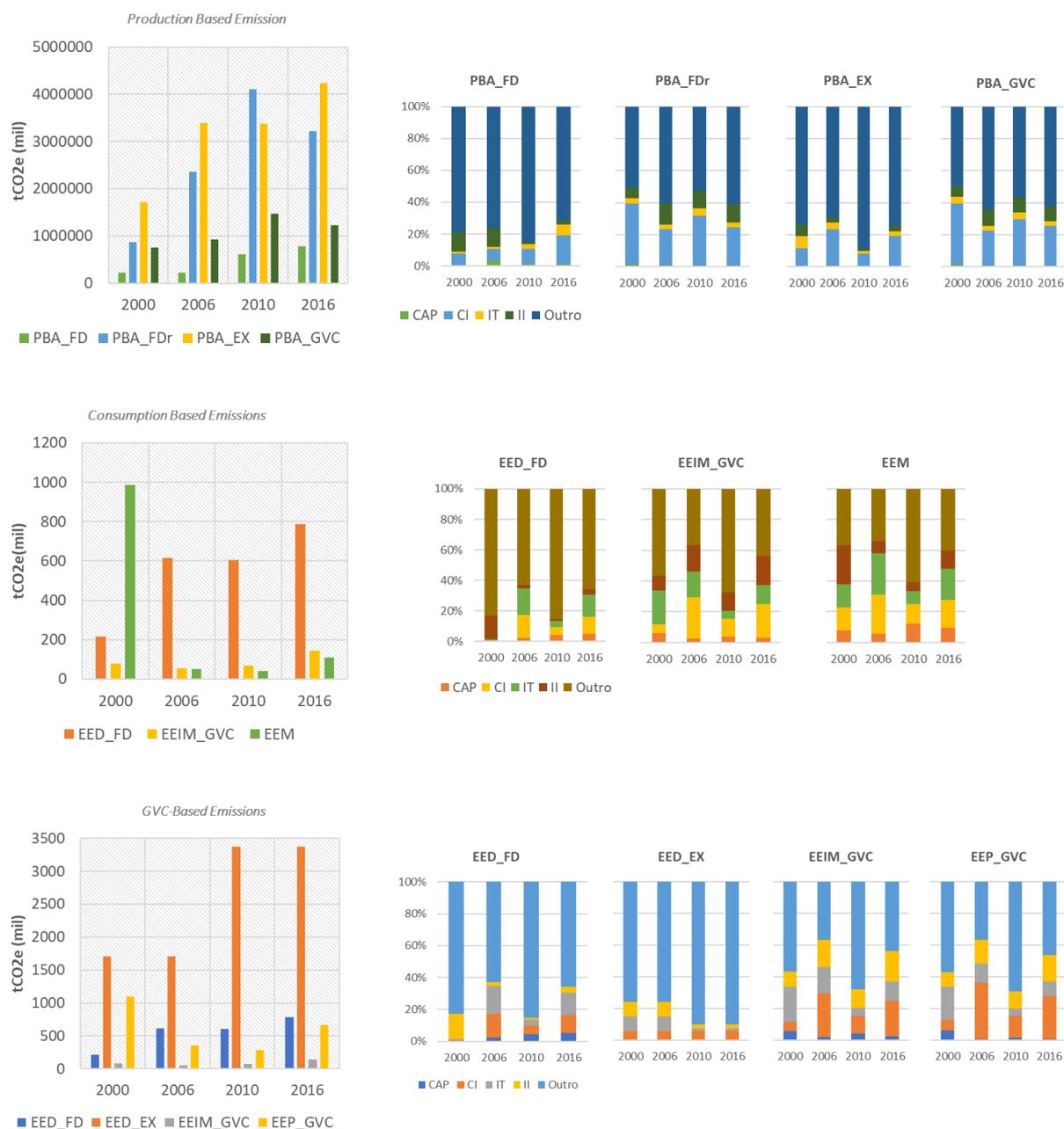
mineração, combustíveis, metalurgia e o setor de serviços em geral –, e que tem como principal atuação o mercado doméstico (CALLEGARI et al., 2018).

Com relação ao ano de 2010, nota-se o predomínio da Indústria Tradicional, que registrou os maiores percentuais para as emissões domésticas, de exportação e CGV. Estes resultados, que remetem propriamente ao setor de alimentos processados e têxtil, revelam que o aumento do volume comercial sobre estas atividades produziu uma elevação expressiva para as emissões territoriais, registrando 87 MtCO_{2e}, para suprir tanto a demanda doméstica quanto estrangeira. Rustemoglu e Andrés (2016) demonstram que entre 1992 e 2011, o crescimento da indústria brasileira foi acompanhado do aumento da intensidade energética, e que representou, ao final de 2015, cerca de 45,9% das emissões de CO₂.

No entanto, para 2016, temos novamente a redução na participação do setor IT e recomposição dos setores de CI e Outro. Marcato e Ultramare (2018) e Passoni (2019) argumentam sobre a trajetória de desindustrialização brasileira ao longo deste período, que levam ao vazamento de demanda setorial doméstica ao mercado externo. Esta relação ajuda a explicar a composição das emissões brasileiras incorporadas pela produção, assim como das que são incorporadas pelo consumo. Analisando os indicadores, nota-se que para o consumo doméstico (EED_Fd), o país tem uma incorporação mais significativa para o conjunto Outro, enquanto para o consumo de bens externos (EEM, EEIM_GVC, EED_EX e EEP_GVC) apresenta maiores percentuais para a Indústria Inovativa. Portanto, temos que a redução na participação da indústria brasileira, principalmente dos setores intensivos em tecnologia, configuram em maior aquisição de bens e serviços destes setores no mercado externo, e que elevam a nossa incorporação de emissões por meio do consumo.

Analisando agora o caso da China, o Gráfico 10 demonstra os resultados dos indicadores por setor e ano. Como mencionado anteriormente, a questão energética chinesa é considerada o principal determinante do nível elevado de emissões de GEE (BLOCH et al. 2015). Diante disso, de acordo com a classificação setorial definida, como o setor de eletricidade foi agregado ao conjunto Outro, a China apresentou os maiores percentuais de incorporação de emissões pela produção e consumo neste conjunto.

Gráfico 10– Indicadores PBA, CBA e CGV: China



Fonte: Elaboração própria.

Para os indicadores de PBA, é possível observar uma trajetória progressiva das emissões que, em média, são mais substanciais para PBA_FDr, 263 MtCO₂e, e PBA_Ex, 317 MtCO₂e, ao longo do período. A expressão destes índices demonstra que as emissões territoriais chinesas estão associadas a produção de bens finais e intermediários, que servem para abastecimento da demanda doméstica e estrangeira. Meng et al. (2018) mostra que cerca de 60% das emissões territoriais chinesas são induzidas pela demanda estrangeira de bens

intermediários, e os outros 40% pela demanda de bens finais. Esta questão assinala sobre a dificuldade de atribuição de responsabilidades por emissões produzidas localmente, que são induzidas por múltiplos parceiros comerciais (ZHANG, WEI, 2018). Adicionalmente, podemos destacar que o segundo setor mais representativo nas estimativas, em todos os períodos, foi o setor de Commodities Industriais, que agregam atividades ligadas a setores industriais intensivos em energia, e que estão mais presentes nas emissões incorporadas em bens intermediários (PBA_Fdr e PBA_GVC).

Observando os resultados de CBA. Em 2000, temos uma parcela muito significativa de emissões incorporadas pela importação de bens finais que são consumidos no mercado doméstico (EEM), mas que declina severamente nos outros anos. Esta diminuição é compensada pelo aumento das emissões que são produzidas e consumidas no mercado doméstico (EED_FD), revelando o aumento da capacidade produtiva chinesa, assim como da mudança na demanda por importações, o que é observado como efeito de políticas industriais e comerciais que foram introduzidas ao longo do período de análise (YONG, 2020).

Para os indicadores de CGV, as emissões produzidas localmente e distribuídas pelas exportações (EED_EX) registraram os maiores índices. No entanto, tem sido observada a transição do país para o modelo de comércio de bens intermediários, integrando-se a redes de produção complexas. Do ponto de vista econômico, esta mudança demonstra os efeitos positivos do *upgrading* industrial chinês, que tem avançado para as etapas produtivas de maior valor agregado (MARCATO et al., 2022). Por outro lado, do ponto de vista ambiental, é possível observar que este movimento é acompanhado de uma trajetória crescente de emissões de CO₂. De acordo com Li et al. (2022), esta contraposição de resultados econômicos e ambientais tem gerado pressões que distanciam o país de suas metas de desenvolvimento sustentável de baixo carbono. Diante disso, a melhor estratégia assinalada para reverter esta situação é a conciliação entre redução da intensidade energética de sua estrutura produtiva, para diminuição das emissões incorporadas nas exportações, e avanço para outras etapas das cadeias de produção.

A seguir, apresentamos os resultados da decomposição estrutural dos termos: (i) *Forward* tradicional (PBA_Fd + PBA_Fdr + PBA_Fe); (ii) *Forward* GVC (PBA_GVC); (iii) *Backward* tradicional (EED_Fd + EED_Fe); e (iv) *Backward* GVC (EEIM_GVC + EEP_GVC), a fim de observar as variações das emissões de GEE por período e setor. O período

está dividido em três subperíodos: 2000-2006, que estima os efeitos do período pré-crise de 2008; 2006-2010, para os efeitos pré e pós-crise; e 2010-2016, dos efeitos pós-crise.

Tabela 5 – Variação das emissões setoriais domésticas e de participação em CGV: Brasil (em MtCO₂e)

	2000-2006		2006-2010		2010-2016	
	Forward (PBA_Fd + PBA_Fdr + PBA_Fe)	Forward GVC (PBA_GVC)	Forward (PBA_Fd + PBA_Fdr + PBA_Fe)	Forward GVC (PBA_GVC)	Forward (PBA_Fd + PBA_Fdr + PBA_Fe)	Forward GVC (PBA_GVC)
CAP	0.00397	-0.00324	0.00007	-0.00002	-0.00006	0.00006
CI	0.11231	-0.05651	0.03595	0.00129	-0.00053	0.00075
IT	0.01642	-0.00866	95.24241	0.68261	-95.24073	-0.68264
II	0.02002	-0.00537	0.09857	0.00163	-0.09251	-0.00162
Outros	0.05168	-0.11421	0.05365	-0.00370	-0.00607	0.00613
	Backward (EED_Fd + EED_Ex)	Backward GVC (EEIM_GVC + EEP_GVC)	Backward (EED_EX + EED_FD)	Backward GVC (EEIM_GVC + EEP_GVC)	Backward (EED_EX + EED_FD)	Backward GVC (EEIM_GVC + EEP_GVC)
CAP	0.010	-0.018	0.096	0.003	-0.107	-0.003
CI	0.761	-0.022	0.177	0.003	-0.845	-0.005
IT	0.288	-0.039	73.280	0.013	-73.520	-0.018
II	0.218	-0.010	1.432	0.015	-1.548	-0.033
Outros	2.339	-0.173	13.310	0.029	-15.531	-0.033

Fonte: Elaboração própria.

Com base nos dados da Tabela 5, para os indicadores *Forward* tradicional, nos primeiros dois subperíodos, os setores brasileiros apresentaram uma variação positiva nas emissões territoriais associadas a produção de bens finais e que são destinadas, principalmente, ao mercado doméstico. No subperíodo que retrata a ocorrência da crise (2006-2010), podemos observar novamente o aumento expressivo das emissões produzidas pelas atividades da IT, assim como da II e Outro, mas com redução relativa para as atividades CAP e CI. Para o pós-crise, temos a variação negativa para o *forward* de comércio tradicional em todas as atividades, o que indica uma redução do impacto da produção brasileira em emissões de GEE, mas que deve estar vinculado a diminuição do volume de transações comerciais, devido aos desdobramentos da crise e cenário de recessão mundial (MARCATO, BALTAR, 2018).

Para as emissões produzidas pela venda de bens intermediários para produção final externa (*Forward GVC*), em geral, a variação dos indicadores é pouco expressiva ao longo do período analisado, mas nota-se que as atividades do setor de commodities (CAP e CI) e Outro, são as que mantêm uma variação positiva no segundo e terceiro subperíodo, que remete a

inserção brasileira nas cadeias de valor em posições *upstream*, como ofertante de matéria prima e intermediários básicos (LALANE, 2022; COSTA et al., 2021), configurando um variação positiva das emissões de GEE na produção de bens e serviços destas atividades.

Para as emissões incorporadas via *Backward*, a variação setorial da compra de bens e serviços segue o mesmo padrão do *Forward*, com aumento das emissões no primeiro e segundo subperíodo – destacando o aumento das emissões importadas das atividades da Indústria Inovativa e Indústria Tradicional, no segundo subperíodo – mas com variação negativa no subperíodo pós-crise, tanto para o comércio de bens finais como de bens intermediários, em todas as atividades.

Em seguida, a Tabela 6 apresenta os dados de variações de emissões de GEE setoriais da China. Para as emissões *Forward* tradicional de bens finais e intermediários, os dados mostram que os setores com maior variação, nos três subperíodos, foram as atividades Outro e de Commodities Industriais, ambos associados a setores com maior intensidade energética. Para os indicadores *Forward* CGV, do primeiro ao segundo subperíodo, a variação se torna positiva, o que corresponde ao crescimento da participação chinesa em cadeias de valor simples e complexas, acompanhados do aumento das emissões de GEE (LI et al., 2022). Para o último período, temos uma redução nas emissões incorporadas nos bens intermediários para CGV, que apesar de serem pouco expressivas, podem estar relacionados a redução na demanda global no período pós-crise (CHEN et al., 2021), assim como da maior estabilidade e redução relativa das emissões territoriais chinesas ao final deste período (KORSBAKKEN et al., 2016).

Tabela 6– Variação das emissões setoriais domésticas e de participação em CGV: China (em MtCO₂e)

	2000-2006		2006-2010		2010-2016	
	Forward (PBA_Fd + PBA_Fdr + PBA_Fe)	Forward GVC (PBA_GVC)	Forward (PBA_Fd + PBA_Fdr + PBA_Fe)	Forward GVC (PBA_GVC)	Forward (PBA_Fd + PBA_Fdr + PBA_Fe)	Forward GVC (PBA_GVC)
CAP	0.03904	-0.00989	0.00358	0.00261	0.00133	-0.00190
CI	0.77148	-0.36258	0.26806	0.22302	0.10487	-0.12020
IT	0.05699	-0.03656	0.05379	0.03465	0.02369	-0.02520
II	0.23860	-0.00792	0.05861	0.03930	0.01061	-0.01917
Outro	2.07475	-0.13240	1.72567	0.23165	0.01607	-0.07166
	Backward (EED_Fd + EED_Ex)	Backward GVC (EEIM_GVC + EEP_GVC)	Backward (EED_EX + EED_FD)	Backward GVC (EEIM_GVC + EEP_GVC)	Backward (EED_EX + EED_FD)	Backward GVC (EEIM_GVC + EEP_GVC)
CAP	0.015	-0.069	0.018	0.003	0.012	0.002
CI	0.091	0.062	0.034	-0.093	0.055	0.167

IT	0.104	-0.196	-0.175	-0.036	0.090	0.062
II	-0.019	-0.047	-0.088	-0.024	0.021	0.100
Outro	0.206	-0.521	1.868	0.093	0.003	0.129

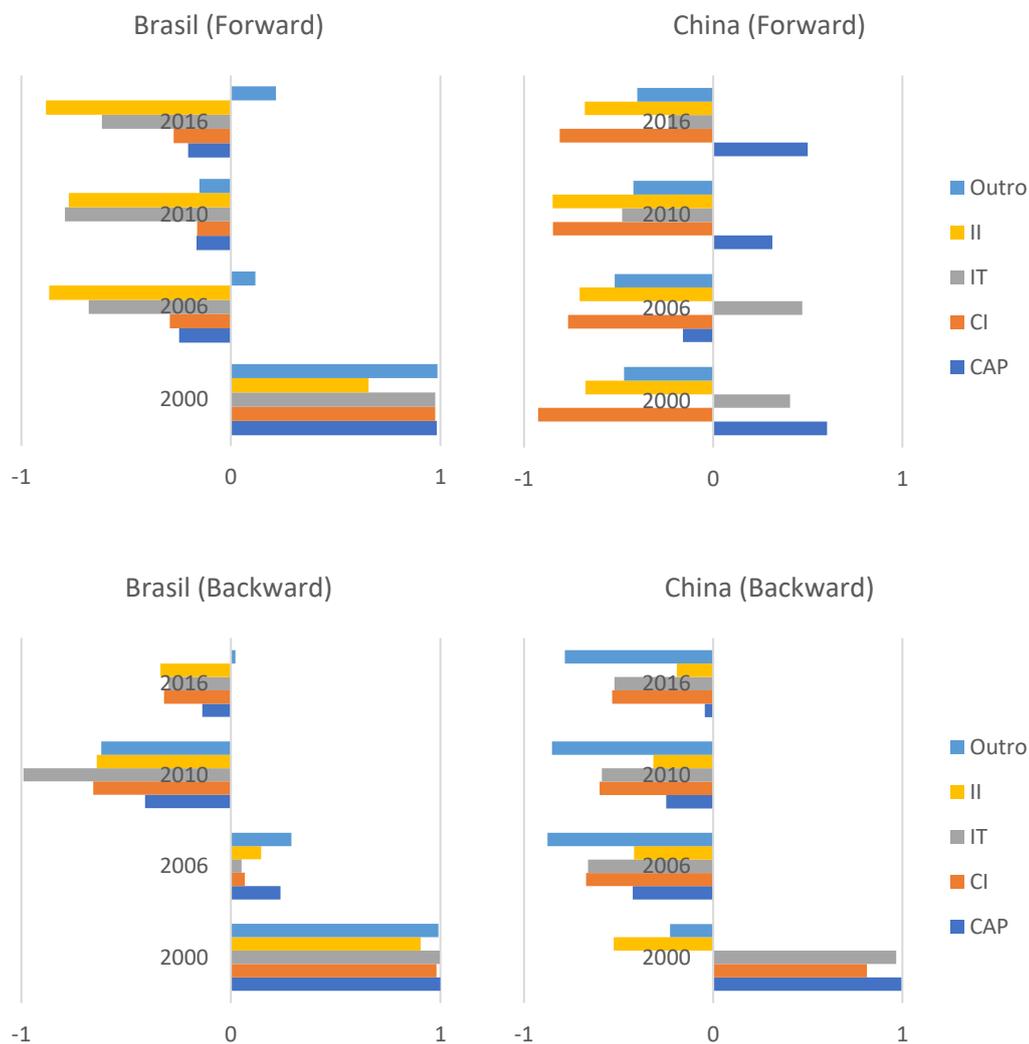
Fonte: Elaboração própria.

Observando agora os indicadores *Backward*. Para o comércio tradicional, nota-se que nos dois primeiros subperíodos, a China teve uma redução nas emissões incorporadas pelo consumo da Indústria Inovativa, indicando que, entre 2000-2010, houve uma diminuição na demanda por importações para estas atividades. Neste período, Tang e Husler (2011) argumentam sobre o aumento eficiência de indicadores de sistemas de inovação chinês e, como consequência, da diversificação e sofisticação de sua pauta produtiva, que garantiram posições de maior competitividade no comércio internacional (MASIERO, COELHO, 2019). No último subperíodo, apesar da variação positiva relativa para todos indicadores e atividades *backward*, observamos que este incremento está relacionado ao contexto de retomada do comércio no período pós-crise, mas que passa a ser mais significativo para as relações em CGV (LI et al., 2022). No entanto, a maior incorporação de emissões pelo consumo nas CGV evidencia que a fragmentação de etapas intermediárias não tem um efeito de redução das emissões acumuladas (ZHANG et al., 2017), e destacam a importância do processo de descarbonização produtiva coordenada entre etapas e integrantes de cadeias, a fim de garantir uma redução efetiva das emissões.

Portanto, por meio dos resultados obtidos pela decomposição estrutural, observamos como os estímulos de demanda, global e doméstica, para produção de bens e serviços incidem sobre o nível de emissões de GEE nos países. A discriminação das emissões incorporadas em fluxos de bens finais e intermediários contribui para o entendimento dos impactos ambientais externalizados pela fragmentação global da produção. Observar os efeitos das CGV, além da esfera econômica, é uma forma essencial de garantir a sustentabilidade dos negócios e processos ao longo das cadeias, assim como para atribuir responsabilidades aos países pela degradação ambiental e reduzir as desigualdades que são propagadas por meio das relações de comércio internacional.

Em seguida, a fim de verificar o impacto direto da inserção setorial em CGV sobre as emissões dos países, calculamos o indicador de *emissões setoriais em CGV*, que é uma medida que informa se as emissões setoriais totais dos países estão, proporcionalmente, mais associadas a participação em CGV ou ao mercado doméstico. O Gráfico 11 abaixo mostra os resultados.

Gráfico 11– Indicador de emissões setoriais em CGV: Brasil e China



Fonte: Elaboração própria.

A interpretação do Gráfico 11 é a seguinte. Para os valores próximos à 1, tem-se que emissões setoriais estão mais associadas as demandas de CGV, e se mais próxima à -1, as emissões estão associadas as demandas domésticas; emissões do tipo *forward*, compreende as emissões geradas pela produção, enquanto emissões *backward*, são as emissões incorporadas pelo consumo.

Analisando o caso do Brasil, em 2000, temos que as emissões brasileiras *backward* e *forward* foram induzidas substancialmente pela demanda externa, para todos os setores. Young (2000) discute sobre como ao longo da década de 1990, a orientação da política comercial brasileira foi liderada por setores industriais intensivos em poluição, justificados pelos

diferentes custos, estruturais e econômicos, para implementação de padrões e certificações ambientais, e nos ajudam a explicar a proporção das emissões brasileiras neste primeiro ano.

Aos demais anos, a composição se altera, com maiores proporções para o mercado doméstico, com exceção do conjunto de atividades agregado como Outro, nos anos de 2006 e 2016. Ao longo desta análise, observamos que o ano de 2010 registrou um número mais elevado de transações comerciais internacionais, em termos de volume. No entanto, de acordo com o Gráfico 11, considerando apenas os fluxos de bens intermediários de CGV, temos que tanto para as emissões *forward* quanto *backward*, a incorporação nos fluxos destinados ao mercado doméstico foi superior as demandas externas. Esta é uma característica comum as grandes economias e com alta densidade populacional, mas que representa também o tipo de inserção internacional brasileira. Ao longo do período analisado, o Brasil sofreu uma redução na participação do setor industrial na economia, tendo sua pauta redirecionada a produção de bens primários e com baixo nível de processamento, devido ao aumento da demanda global, principalmente da China (STURGEON et al., 2013) e, portanto, detém uma participação restrita as etapas iniciais em CGV (COSTA et al., 2021), concentrando, portanto, sua maior atuação no mercado doméstico.

Para o caso da China, os dados revelam que o setor de Commodities Industriais é o que apresenta a maior proporção de emissões distribuídas pelas demandas de CGV, em todos os anos, enquanto as atividades agregadas como Indústria Tradicional aparece nos anos de 2000 e 2006. Esta representação demonstra que os efeitos das demandas de CGV sobre as emissões territoriais chinesas estão associados às atividades industriais de alta intensidade energética. Com relação as emissões *backward* chinesas, com exceção de 2000, os dados demonstram a posição da China como grande demandante de bens e serviços dos demais países para abastecimento do mercado doméstico. Em todos os anos, é possível observar que o setor Outro tem a maior proporção, indicando que as emissões das importações estejam vinculadas ao setor de geração de energia elétrica. A China é considerada o maior produtor e consumidor de energia do mundo, que são os principais responsáveis pelo nível de emissões de GEE do país (BLOCH et al., 2015). Apesar disso, Araújo e Diegues (2022) demonstram que no período de 2005 a 2015, tem sido observado uma atuação virtuosa do país em CGV, com participação crescente em setores de médio e alta intensidade tecnológica, e que deve ser refletido sobre os níveis de emissões setoriais do país no longo prazo.

Por fim, destacamos que a análise por meio deste indicador oferece uma visão panorâmica sobre a evolução da composição das emissões dos países, discriminando as emissões totais de acordo com a origem da demanda e suas variações. Por um lado, esta representação nos ajuda a compreender melhor sobre o padrão de inserção internacional dos países nas cadeias e seus respectivos padrões emissores, contribuindo para a discussão sobre atribuição de responsabilidades pela crise climática. Por outro lado, como estes resultados remetem a estimativas sobre componentes agregados, assinalamos a importância da complementariedade de outros indicadores, estudos empíricos e fatos estilizados para construção de ideias formadoras de políticas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal discutir a relação entre a inserção comercial internacional de Brasil e Chinas, e seus respectivos padrões de emissões de gases efeito estufa, demonstrando como variações na demanda externa interferem sobre as emissões domésticas. Este tipo de análise é importante, pois permite-nos ter uma visão ampliada dos múltiplos agentes que influem sobre a estrutura produtiva dos países, e seus respectivos papéis para redução de impactos ambientais propagados por meio das relações de comércio internacional.

No Capítulo 1, a revisão histórica sobre a questão ambiental e de mudanças climáticas atestam a relevância desta discussão, de forma que a garantia de sobrevivência de espécies e bem-estar depende da redução do aquecimento global e, portanto, da diminuição das emissões de GEE. Entretanto, apesar deste ser um problema global, os efeitos da crise climática não são distribuídos com equidade, o que ressalta a necessidade de ações de mitigação e proteção às regiões mais vulneráveis. Adicionalmente, o olhar histórico dos acontecimentos evidencia a importância da discussão sobre responsabilidade climática, devido as distorções de um sistema econômico que cria tendências de concentração da poluição industrial em regiões menos favorecidas, em termos econômicos e institucionais, formando os chamados “refúgios de poluição”.

Em seguida, ao discutirmos sobre a transição da visão tradicional de comércio internacional ao modelo de produção em cadeias globais de valor, argumentamos sobre os riscos e oportunidades associados a participação nestas estruturas. Por um lado, consideramos que a inserção internacional viabiliza a expansão produtiva, que pode levar ao aumento da competitividade e que permite avançar progressivamente às etapas de maior valor agregado, por meio do *upgrading*. Por outro lado, estes efeitos positivos e oportunidades não são automáticos à participação, e que podem gerar ganhos não-mútuos entre as dimensões econômica, social e ambiental. Diante desta condição, discutimos sobre como a reconfiguração geográfica da produção pode fortalecer a dinâmica de alocação da poluição em economias emergentes, e da importância de inserir a dimensão ambiental e da sustentabilidade nas relações em cadeia.

Por fim, discutimos também sobre as limitações das estatísticas tradicionais de comércio internacional no contexto de produção em CGV, assim como dos desafios metodológicos para medir efeitos econômicos e ambientais nestas estruturas. Entretanto, a construção de matrizes

insumo-produto multi-regionais (MRIO), tem sido uma ferramenta de superação destes desafios e de favorecimento ao desenvolvimento de métodos e análises compatíveis ao novo contexto.

A partir desta contextualização, descrevemos o perfil produtivo e de emissões de GEE dos países objetos desta análise, Brasil e China, como uma caracterização preliminar de suas respectivas estruturas produtivas e de comércio. Ao longo do período analisado, de 2000 a 2016, observamos que o Brasil manteve uma participação internacional modesta em relação a China, e mais concentrada nos setores de bens primários e intermediários básicos, e que, portanto, configuram uma atuação nas etapas iniciais de CGV. Para a China, observamos que a inserção internacional é intensiva nos setores de bens de capital e da indústria manufatureira, que apresentou crescimento progressivo ao longo do período, e que apesar da maior participação nas etapas de processamento e montagem, tem avançado para cadeias globais complexas e etapas de maior valor agregado.

No entanto, os dados revelam uma trajetória também divergente dos países para as emissões de GEE, no qual o crescimento econômico chinês, impulsionados pela indústria, são acompanhados de um aumento nas taxas de emissões de GEE, que remetem a intensidade energética do setor produtivo e forte dependência de fontes não-renováveis de energia. Em contrapartida, o Brasil apresenta níveis de emissões relativamente mais baixos, que estão associados a fatores ligados a dotação de recursos naturais, matriz energética e estrutura produtiva.

Posteriormente, após a apresentação e discussão metodológica, com base nos dados MRIO UNCTAD-EORA, analisamos os resultados obtidos pela decomposição estrutural das emissões de GEE em fluxos comerciais de bens finais e intermediários, dos países com as principais regiões econômicas do mundo. Em primeiro lugar, para os dois países, os dados demonstraram que os fluxos comercializados (*backward* e *forward*) regionalmente tem uma incorporação de emissões de GEE superior em relação as outras regiões econômicas. Segundo, observamos que, para o Brasil, as emissões incorporadas pela produção são, principalmente, para o abastecimento doméstico e associadas aos setores de Commodities Industriais e Outro, enquanto as que são incorporadas pelo consumo tem maior participação da Indústria Inovativa, com destaque para as transações em 2010. Para a China, as emissões pela produção estão associadas ao abastecimento doméstico e estrangeiro, e com maior participação das atividades de Commodities Industriais; para as emissões de consumo e CGV, observamos que há uma

redução nas emissões incorporadas pela compra de bens finais, que remete a menor dependência de importações, acompanhada da maior participação da incorporação nos fluxos intermediários. Em terceiro lugar, analisando a variação das emissões por sub-períodos, destacamos que, no período pós-crise de 2008 (2010-2016), tivemos, em média, variações negativas nas emissões *backward* e *forward* dos países, mas que, evidentemente, são explicadas, em parte, pela queda do volume comercial global. Por fim, os resultados obtidos pelo indicador de *emissões setoriais para CGV*, indicaram que as emissões setoriais *backward* e *forward* brasileira são incorporadas, em maior parte, para abastecimento doméstico. Com relação a China, também tivemos uma maior concentração das emissões para as demandas domésticas, mas que ao longo do período, as atividades de Commodities Processadas e Indústria Tradicional aparecem como maiores exportadores de emissões para CGV.

Portanto, a partir desse trabalho, caracterizamos o perfil setorial das emissões de GEE de Brasil e China, e sua relação com os modelos de comércio internacional e CGV, buscando responder as indagações sobre o padrão estrutural de emissões destes países, a influência dos estímulos internacionais sobre este padrão e destacando as atividades que o configuram. Através de uma perspectiva estrutural, a análise buscou enfatizar como a estrutura produtiva e dinâmica de comércio internacional repercutem sobre a dimensão ambiental, a fim de promover argumentos que orientem a execução de uma estratégia de desenvolvimento produtivo e comercial mais sustentável. Além disso, a observação dos efeitos vinculados ao padrão de comércio de CGV e suas complexidade, o trabalho buscou oferecer insumos para avançar nas discussões sobre atribuição de responsabilidade climática, a fim de promover a elaboração de políticas internacionais reparadoras e mais justas.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. **Brazil, the GATT, and the WTO: history and prospects**. Department of Economics PUC-Rio (Brazil), 1998.

ALLEN, M.R., et al., Framing and Context. In: **Global Warming of 1.5°C**, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 49-92, 2018.

ALBERTI, S. et al., Heading for the hills: climate-driven community relocations in the Solomon Islands and Alaska provide insight for a 1.5°C future. **Regional Environmental Change**, 1–12, 2017.

AKYUZ, Y. Trade, Growth and Industrialization: Issues, Experience and Policy Challenges. **Discussion Paper**, 2005.

ANDREW, R; FORGIE, V. A three-perspective view of greenhouse gas emission responsibilities in New Zealand. **Ecological Economics**, v. 68, n. 1-2, p. 194-204, 2008.

ARCE, G G. et al. Indirect pollution haven hypothesis in a context of global value chain. In: Final WIOD Conference: Causes and Consequences of Globalization, Groningen, **The Netherlands**. 2012.

ARTO, I; DIETZENBACHER, E; RUEDA-CANTUCHE, J.M. Measuring bilateral trade in terms of value added. **Publications Office of the European Union**, 2019.

AZAPAGIC, A.; PERDAN, S. Indicators of sustainable development for industry: a general framework. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 78, n. 4, p. 243-261, 2000.

BCB, Estatísticas do setor externo **Banco Central do Brasil**, 2021. Disponível em: bcb.gov.br. Acesso em: 7 de jan. 2023.

BAIOCCHI, G.; MINX, J.; HUBACEK, K. The impact of social factors and consumer behavior on carbon dioxide emissions in the United Kingdom: A regression based on input–output and geodemographic consumer segmentation data. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 1, p. 50-72, 2010.

BATAILLE, C.; WAISMAN, H.; COLOMBIER, M.; SEGAFREDO, L., WILLIAMS, J.; JOTZO, F. The need for national deep decarbonization pathways for effective climate policy. **Climate Policy**, 16(sup1), S7–S26, 2016.

BATAILLE, C. et al. Net-zero deep decarbonization pathways in Latin America: Challenges and opportunities. **Energy Strategy Reviews**, v. 30, p. 100510, 2020.

BALDWIN, R. Global supply chains: why they emerged, why they matter, and where they are going. In: ELMS, Deborah K.; LOW, Patrick (Orgs.). Global value chains in a changing world. Geneva: **WTO Publications**, p.13 – 60, 2012.

BEREITER, B. et al. Revision of the EPICA Dome C CO₂ record from 800 to 600 kyr before present. **Geophysical Research Letters**, v. 42, n. 2, p. 542-549, 2015.

BÉRTOLA, L.; OCAMPO, J. A. The return to the market. In: **The economic development of Latin America since independence**. OUP Oxford, p.198-256, 2012.

BERNHARDT, T.; POLLAK, R. Economic and social upgrading dynamics in global manufacturing value chains: a comparative analysis. Vienna, FIW - Research Centre **International Economics**, 2015.

BLOCH, H.; RAFIQ, S.; SALIM, R. Economic growth with coal, oil and renewable energy consumption in China: Prospects for fuel substitution. **Economic Modelling**, v. 44, p. 104-115, 2015.

BÖHRINGER, C. The Kyoto protocol: a review and perspectives. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 19, n. 3, p. 451-466, 2003.

BORIN, A.; MANCINI, M. Follow the value added: Tracking bilateral relations in global value chains. 2017.

BRASIL. Resolução Plano Nacional de Mudança Climática pela LEI Nº 12.187, de 29 de Dezembro de 2009. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf. Acesso em: 23 de nov. 2022.

CALLEGARI, J.; MELO, T. M.; CARVALHO, C. E. The peculiar insertion of Brazil into global value chains. **Review of Development Economics**, v. 22, n. 3, p. 1321-1342, 2018.

CASELLA, B.; BOLWIJN, R.; MORAN, D.; KANEMOTO, K. Improving the analysis of global value chains: the UNCTAD-Eora Database, **Transnational Corporations** 26(3). New York and Geneva: United Nations, 2019.

CHEN, S. et al. The sustainability of regional decarbonization through the global value chain analytical framework: A case study of Germany. **Journal of Cleaner Production**, v. 317, p. 128335, 2021.

COELHO-JUNIOR et al, Unmasking the impunity of illegal deforestation in the Brazilian Amazon: a call for enforcement and accountability, **Environ. Res.**, Lett. 17, 4, 2022.

COLE, M.A., ELLIOT, R.J., Determining the tradeenvironment composition effect: the role of capital, labor and environmental regulations. **J. Environ. Econ. Manag.** 46 (3), 363e383, 2003.

COPELAND, B. R.; TAYLOR, M. S. North-South trade and the environment. **The quarterly journal of Economics**, v. 109, n. 3, p. 755-787, 1994.

COPELAND, B. R.; TAYLOR, M. S. Trade and the environment: a partial synthesis. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 77, n. 3, p. 765-771, 1995.

COPELAND, B. R.; TAYLOR, M. S. Trade, growth, and the environment. **Journal of Economic literature**, v. 42, n. 1, p. 7-71, 2004.

COPELAND, B. R.; TAYLOR, M. S. Free trade and global warming: a trade theory view of the Kyoto protocol. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 49, n. 2, p. 205-234, 2005.

COSTA, K. V., Cadeias globais de valor, upgrading ambiental e os objetivos de desenvolvimento sustentável: estabelecendo diálogos entre as diferentes abordagens, IE-UFRJ **DISCUSSION PAPER** TD 006, 2021.

COSTA, K. G. V.; CASTILHO, M. R.; PUCHET ANYUL, M.. Fragmentación productiva, comercio exterior y complejidad estructural: análisis comparativo del Brasil y México. **Revista CEPAL**, 2021.

CUI, L_B; PENG, P.; ZHU, L. Embodied energy, export policy adjustment and China's sustainable development: a multi-regional input-output analysis. **Energy**, v. 82, p. 457-467, 2015.

CW, Climatewatch, 2023. Disponível em: climatewatchdata.org. Acesso em: 7 de jan. 2023.

DAVIS, S. J.; CALDEIRA, K. Consumption-based accounting of CO2 emissions. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 107, n. 12, p. 5687-5692, 2010.

DEARDORFF, A. V.; STERN, R. M. What you should know about globalization and the World Trade Organization. **Review of International Economics**, v. 10, n. 3, p. 404-423, 2002.

DE MACADAR, B. M. Política comercial brasileira: os dilemas da inserção internacional. **Ensaio FEE**, v. 17, n. 1, p. 234-252, 1996.

DE MARCHI, V.; Di MARIA, E.; MICELLI, S. Environmental strategies, upgrading and competitive advantage in global value chains. **Business strategy and the environment**, v. 22, n. 1, p. 62-72, 2013.

DE MARCHI, V. et al. Environmental upgrading in global value chains. **Handbook on global value chains**, 2019.

DIMITROV, R. S. The Paris agreement on climate change: Behind closed doors. **Global Environmental Politics**, 2016.

DING, T; NING, Y.; ZHANG, Y. The contribution of China's bilateral trade to global carbon emissions in the context of globalization. *Structural Change and Economic Dynamics*, v. 46, p. 78-88, 2018.

DUAN, Y.; JI, T.; YU, T. Reassessing pollution haven effect in global value chains. **Journal of Cleaner Production**, v. 284, p. 124705, 2021.

EXIOBASE, Delft, Netherlands, Exiobase Consortium, 2012. Disponível em: <http://www.exiobase.eu>. Acesso em: 23 de nov. 2022.

FERRAZ, J.C.; KUPFER, D.; HAGUENAUER, L. Made in Brazil: desafios competitivos para a indústria brasileira. Rio de Janeiro: Campus, 1996.

FRANKEL, J. Global environment and trade policy. **Post-Kyoto international climate policy: Implementing architectures for agreement**, v. 150, 2009.

GEREFFI, G., Global value chains and international competition, **THE ANTITRUST BULLETIN**: Vol. 56, No. 1/Spring 2011.

GEREFFI, G.; FERNANDEZ-STARK, K. Global value chain analysis: A primer, 2nd Edition. **Center on globalization, governance and competitiveness**, Duke University, 2016.

GEREFFI, G.; FERNANDEZ-STARK, K. Global Value Chain Analysis: A Primer. Durham, NC: **Center on globalization, Governance & Competitiveness**, Duke University, 2011.

GEREFFI, G.; LUO, X. Risks and Opportunities of Participation in Global Value Chains. **Journal of Banking and Financial Economics**, v. 2, n. 4, p. 51- 63, 2015.

GLIO, Global Link Input–Output model, Japan, **National Institute for Environmental Studies (NIES)**, 2012.

GÓMEZ, J. M., CHAMON, P. H., LIMA, S. B. Por uma nova ordem energética global? Potencialidades e perspectivas da questão energética entre os países BRICS. **Contexto Internacional**, v. 34, n. 2, p. 531-396, 2012.

GRAM. Ein globales Modell zur Berechnung der ökologischen Rucksäcke des internationalen Handels, Wien, Austria, Sustainable Europe Research Institute (SERI), 2012. Disponível em: <http://seri.at/de/projects/completed-projects/gram/>. Acesso em: 23 de nov. 2022.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. The Mexico-U.S. Free Trade Agreement, Chapter Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. **M.I.T. Press**, 1993.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Economic growth and the environment. **Quarterly Journal of Economics** 110(2), 353{377), 1995.

GTAP, GTAP 8 Data Base, West Lafayette, IN, Department of Agricultural Economics, Purdue University, 2012. Disponível em: <http://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v8/default.asp>. Acesso em: 23 de nov. 2022.

GUTSCHOW, J.; JEFFERY, L.; GIESEKE, R.; GEBEL, R.; STEVENS, D.; KRAPP, M.; ROCHA, M. The PRIMAP-hist national historical emissions time series, **Earth Syst. Sci. Data**, 8, 571-603, 2016.

GUTSCHOW, J.; GUNTHER, A.; PFLUGER, M. The PRIMAP-hist national historical emissions time series (1750-2019). v2.3.1, Zenodo, 2021.

HENDERSON, J. et al. Global production networks and the analysis of economic development. **Review of international political economy**, v. 9, n. 3, p. 436-464, 2002.

HERMIDA, C. C. Padrão de especialização comercial e crescimento econômico: uma análise sobre o Brasil no contexto da fragmentação da produção e das cadeias globais de valor. **PhD Thesis**. Federal University of Uberlandia (UFU). Uberlandia, 2016.

HOEKSTRA, R.; MICHEL, B.; SUH, S. The emission cost of international sourcing: using structural decomposition analysis to calculate the contribution of international sourcing to CO₂-emission growth. **Economic Systems Research**, v. 28, n. 2, p. 151-167, 2016.

HUMPHREY, J; SCHMITZ, H. Governance and upgrading: linking industrial cluster and global value chain research. Brighton: Institute of Development Studies, 2000.

IEA, International energy agency, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acesso em: 7 de jan. 2023.

INPE, Portal TerraBrasilis, 2021. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 23 de nov. 2022.

IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp., 2007.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp., 2014.

IPCC. **Summary for Policymakers**. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24, 2018.

JOHSON, R.C., NOGUERA, G. Accounting for intermediates: production sharing and trade in value added. **J. Int. Econ.** 86, 224–236, 2012.

JOHNSON, R C.; NOGUERA, G. A portrait of trade in value-added over four decades. **Review of Economics and Statistics**, v. 99, n. 5, p. 896-911, 2017.

KAPLINSKY, R.; MORRIS, M. **A Handbook for Value Chain Research**. Brighton, UK, 2003.

KEE, H. L.; TANG, H. Domestic value added in exports: Theory and firm evidence from China. **American Economic Review**, v. 106, n. 6, p. 1402-36, 2016.

KHATTAK, A. et al. Environmental upgrading of apparel firms in global value chains: Evidence from Sri Lanka. **Competition & Change**, v. 19, n. 4, p. 317-335, 2015.

KLEEMANN, L.; ABDULAI, A. The impact of trade and economic growth on the environment: Revisiting the cross-country evidence. **Journal of International Development**, v. 25, n. 2, p. 180-205, 2013.

KOH, SC Lenny et al. Decarbonising product supply chains: design and development of an integrated evidence-based decision support system—the supply chain environmental analysis tool (SCEnAT). **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 7, p. 2092-2109, 2013.

KOLCAVA, D.; NGUYEN, Q.; BERNAUER, T. Does trade liberalization lead to environmental burden shifting in the global economy? **Ecological Economics**, v. 163, p. 98-112, 2019.

KOELLER, P.; MIRANDA, P.; LUSTOSA, M. C. J.; PODCAMENI, M. G. Ecoinovação: Revisitando o conceito, **Texto para Discussão**, No. 2556, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2020.

KOOPMAN, Robert; WANG, Zhi; WEI, Shang-Jin. Tracing value-added and double counting in gross exports. **American Economic Review**, v. 104, n. 2, p. 459-94, 2014.

KORSBAKKEN, J. I., Peters, G. P., and Andrew, R. M.: Uncertainties around reductions in China's coal use and CO2 emissions, *Nature Climate Change*, 6, 687–690, 2016.

KRÜGER, Eduardo L. Uma abordagem sistêmica da atual crise ambiental. **Desenvolvimento e meio ambiente**, v. 4, 2001.

KRUGMAN P.; LIVAS ELIZONDO R. Trade policy and the Third World metropolis. **Journal of Development Economics** 49, 137-150, 1996.

KUPFER, D. Trajetórias de reestruturação da indústria brasileira após a abertura e a estabilização. 185 p. **Tese (Doutorado)** – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998.

JACOBS, M. Sustainable development as a contested concept. **Fairness and futurity: Essays on environmental sustainability and social justice**, v. 1, p. 21-46, 1999.

JIANG, X; CHEN, Q.; YANG, C.. A comparison of producer, consumer and shared responsibility based on a new inter-country input–output table capturing trade heterogeneity. **The Singapore Economic Review**, v. 63, n. 02, p. 295-311, 2018.

LALANNE, A. Size, Position and Length in Value Chains in Latin America. 2022.

LASHOF, D. A.; AHUJA, D. R. Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming. **Nature**, v. 344, n. 6266, p. 529-531, 1990.

LASKIN, D; The Great London Smog, *Weatherwise*, 59:6, p. 42-45, 2006.

LENZEN, M., MORAN, D., KANEMOTO, K., GESCHKE, A. Building Eora: A Global Multi-regional Input-Output Database at High Country and Sector Resolution. **Economic Systems Research**, 25:1, 20-49, 2013.

LEONTIEF, W. W. “Quantitative Input and Output Relations in the Economic System of the United States.” **Review of Economics and Statistics** 18: 105–125, 1936.

LI, L. China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of “Made-in-China 2025” and “Industry 4.0”. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 135, p. 66-74, 2018.

LI, Q.; WU, S.; LI, S.. Weighing China's embodied CO2 emissions and value added under global value chains: Trends, characteristics, and paths. *Journal of Environmental Management*, v. 316, p. 115302, 2022.

LIU, H. et al. Carbon emissions embodied in value added chains in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 103, p. 362-370, 2015.

LO, K. A critical review of China's rapidly developing renewable energy and energy efficiency policies. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, v. 29, p. 508-516, 2014.

LOS, B.; TIMMER, M.P.; VRIES, G.J. Tracing Value-added and Double Counting in Gross Exports: Comment. *American Economic Review*, 106, 1958–1966, 2016.

LOS, B.; TIMMER, M. P. **Measuring bilateral exports of value added: a unified framework**. National Bureau of Economic Research, 2018.

LOW, P.. International trade and the environment. ***Unisia***, p. 95-99, 1996.

MA, N. et al. Structural analysis of indirect carbon emissions embodied in intermediate input between Chinese sectors: a complex network approach. ***Environmental Science and Pollution Research***, v. 26, n. 17, p. 17591-17607, 2019.

MARCATO, M. B.; ULTREMARE, F. O. Produção industrial e vazamento de demanda para o exterior: uma análise da economia brasileira. ***Economia e Sociedade***, v. 27, p. 637-662, 2018.

MARCATO, M. B.; BALTAR, C. T. Economic upgrading in global value chains. ***Revista Brasileira de Inovação***, 19, 2020.

MARCATO, M. B.; DWECK, E.; MONTANHA, R.. The densification of Chinese production chains in the context of vertically fragmented production. *Structural Change and Economic Dynamics*, v. 60, p. 75-89, 2022.

MARQUES, A. et al. Income-based environmental responsibility. *Ecological Economics*, v. 84, p. 57-65, 2012.

MASIERO, G.; COELHO, D. B. A política industrial chinesa como determinante de sua estratégia going global. ***Brazilian Journal of Political Economy***, v. 34, p. 139-157, 2014.

MASSON-DELMOTTE, V. et al. Information from Paleoclimate Archives In: ***Climate Change 2013: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change***. Cambridge, UK, and New York, NY, 2013.

MEDEIROS, C., A China como um duplo pólo na economia mundial e a recentralização da economia asiática, ***Revista de Economia Política***, vol. 26, nº 3 (103), pp. 381-400, 2006.

MEDEIROS, Carlos Aguiar de. Industrialization, trade and economic growth. **Why Latin American Nations Fail**, p. 17-38, 2017.

MEDEIROS, C.; TREBAT, N. Finance, trade, and income distribution in global value chains: implications for developing economies and Latin America. Instituto de Economia, UFRJ, **Discussion Paper**, v. 2, 2017.

MEDEIROS, C., Política industrial e divisão internacional de trabalho, **Revista de Economia Política**, vol. 39, nº 1 (154), pp. 71-87, 2019.

MENG, Bo et al. Tracing CO2 emissions in global value chains. **Energy Economics**, v. 73, p. 24-42, 2018.

MILLER, R.E.; BLAIR, E. Input-Output Analysis: Foundations and Extensions. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

MIROUDOT, S.; YE, M. Multinational production in value-added terms. **Economic Systems Research**, v. 32, n. 3, p. 395-412, 2020.

MIROUDOT, S.; YE, M. Decomposing value added in gross exports. **Economic Systems Research**, v. 33, n. 1, p. 67-87, 2021.

MOISÉ, E., T. ORLIAC; MINOR, P. Trade Facilitation Indicators: The Impact on Trade Costs, **OECD Trade Policy Papers**, No. 118, OECD Publishing, Paris, 2011.

MONTOYA, M. A. et al. Renewable and Non-renewable in the energy-emissions-climate nexus: Brazilian contributions to climate change via international trade. **Journal of Cleaner Production**, v. 312, p. 127700, 2021.

MURATA, K., KARITA, K. Minamata Disease. In: Nakajima, T., Nakamura, K., Nohara, K., Kondoh, A. (eds) Overcoming Environmental Risks to Achieve Sustainable Development Goals. **Current Topics in Environmental Health and Preventive Medicine**. Springer, Singapore, 2022.

MUSOLESI, A.; MAZZANTI, M.; ZOBOLI, R. A panel data heterogeneous Bayesian estimation of environmental Kuznets curves for CO2 emissions. **Applied Economics**, v. 42, n. 18, p. 2275-2287, 2010.

NATHAN, D.; SARKAR, S. Innovation and upgrading in global production network, Capturing the gains. **Working papers**, n. 23, 2013.

National Bureau of Statistics of China. **China statistical yearbook 2013**. Beijing: National Bureau of Statistics of China, 2013.

National Bureau of Statistics of China. **China statistical yearbook 2021**. Beijing: National Bureau of Statistics of China, 2021.

NIU, B. et al. Nexus of embodied land use and greenhouse gas emissions in global agricultural trade: A quasi-input–output analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 267, p. 122067, 2020.

OECD/Eurostat. The Environmental Goods and Services Industry: Manual for Data Collection and Analysis, p. 64, 1999.

OECD. OECD Input–Output Tables (edition 2002, 2006 and 2009). Paris, France, 2009.

OECD. Measuring Trade in Value-Added: An OECD-WTO Joint Initiative. Paris, OECD, 2012.

OECD; WTO; UNCTAD. Implications of Global Value Chains for trade, investment, development and jobs. Saint Petersburg, 2013.

OECD. Environmental Performance Reviews: Brazil 2015, **OECD Publishing, Paris**, 2015.

OKEREKE, C.; COVENTRY, P.; Climate justice and the international regime: before, during, and after Paris. **WIREs Clim Change**, 7, 834-851, 2016.

OLIVEIRA, H. A. de. Brasil-China: uma parceria predatória ou cooperativa?. **Revista Tempo Do Mundo**, 2(1), pp.143-160, 2016.

OLIVEIRA, M. M.; DE SANTANA RIBEIRO, L. C.; CARVALHO, T. S. Decomposição estrutural das emissões de gases de efeito estufa dos países do BRIC. **Geosul**, v. 35, n. 75, p. 506-532, 2020.

O'NEILL, J. The Growth Map: Economic Opportunity in the BRICs and Beyond. New York: Penguin, 2011.

PASSONI, P. A. Deindustrialization and regressive specialization in the Brazilian economy between 2000 and 2014: a critical assessment based on the input-output analysis. **Tese (Doutorado em Economia da Indústria e da Tecnologia)**, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

PETERS, G.P., MINX, J.C., WEBER, C.L., EDENHOFER, O., Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, 108 (21), 8903–8908, 2011.

PEREIRA, Ritaumaria et al. Extensive production practices and incomplete implementation hinder Brazil's zero-deforestation cattle agreements in Para. **Tropical Conservation Science**, v. 13, p. 1940082920942014, 2020.

PREBISCH, R. Commercial Policy in the Underdeveloped Countries.” **The American Economic Review**, vol. 49, no. 2, pp. 251–73, 1959.

ROCKSTROM, J. et al. A safe operating space for humanity. *Nature*, [s.l.], (461)7263, 472-475, 2009.

ROSENBERG, N. **Exploring the black box: Technology, economics, and history.** Cambridge University Press, 1994.

ROTHWELL, R. Successful industrial innovation: critical factors for the 1990s. **R&D Management**, v. 22, n. 3, p. 221-240, 1992.

RUBIAL, M. P. B. El Acuerdo de París: ¿una nueva idea sobre la arquitectura climática internacional?. **Relaciones Internacionales**, 33, 75-95, 2016.

SAGASTI, F. Underdevelopment, Science and Technology: The Point of View of the Underdeveloped Countries, **Science Studies**, Vol. 3, No. 1., 1973.

SANTARCÁNGELO, J., SCHTEINGART, D., PORTA, F. Cadenas globales de Valor: una mirada crítica a uma nueva forma de pensar el desarrollo. **CEC Año 4, N° 7**, pp. 99- 129, 2017.

SAVONA, M; CIARLI, T. Structural Changes and Sustainability. A Selected Review of the Empirical Evidence. **Ecological Economics**, 159, p. 244-260, 2019.

SATO, M. Embodied carbon in trade: a survey of the empirical literature. *Journal of economic surveys*, v. 28, n. 5, p. 831-861, 2014.

SAWYER, D., Economia verde e /ou desenvolvimento sustentável?. **Revista Política Ambiental / Conservação Internacional**, Belo Horizonte, n° 8, p.36-42, 2011.

SCHMELLER, J. **Especialistas avaliam saída do Canadá do Protocolo de Kyoto**, 2011.

SETTANNI, E.; TASSIELLI, G.; NOTARNICOLA, B. An input–output technological model of life cycle costing: computational aspects and implementation issues in a generalised supply chain perspective. In: **Environmental management accounting and supply chain management.** Springer, Dordrecht, p. 55-109, 2011.

SELDEN, T. M.; SONG, D.. Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions?. *Journal of Environmental Economics and management*, v. 27, n. 2, p. 147-162, 1994.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GEE (SEEG) – Observatório do Clima. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil (1970-2020)**, 2021.

SOUZA, M. C. O.; CORAZZA, R. I. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 42, 2017.

STEFFEN, W.; LEINFELDER, R.; ZALASIEWICZ, J; WATERS, C. N.; WILLIAMS, M.; SUMMERHAYES, C.; SCHELLNHUBER, H. J. Stratigraphic and Earth System approaches to defining the Anthropocene. **Earth's Future**, 4(8), 324-345, 2016.

STEINBERGER, J. K. et al. Pathways of human development and carbon emissions embodied in trade. *Nature Climate Change*, v. 2, n. 2, p. 81-85, 2012.

STERN, N.; STERN, N. H. The economics of climate change: the Stern review. Cambridge University Press, 2007.

STURGEON, Timothy et al. O Brasil nas cadeias globais de valor: implicações para a política industrial e de comércio. **Revista Brasileira de Comércio Exterior**, v. 115, n. Abril-Junho, p. 26-41, 2013.

STURGEON, T. J.; MEMEDOVIĆ, O. **Mapping global value chains: Intermediate goods trade and structural change in the world economy**. United Nations Industrial Development Organization, 2011.

TANG, M.; HUSSLER, C. Betting on indigenous innovation or relying on FDI: The Chinese strategy for catching-up. **Technology in Society**, v. 33, n. 1-2, p. 23-35, 2011.

TAYLOR, M. S.. Unbundling the pollution haven hypothesis. *Advances in Economic Analysis & Policy*, v. 4, n. 2, 2005.

TOREZANI, Tomás Amaral. Produtividade da indústria brasileira: decomposição do crescimento e padrões de concentração em uma abordagem desagregada, 1996-2016. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 19, 2021.

TUKKER, A.; DIETZENBACHER, E. Global multiregional input–output frameworks: an introduction and outlook. **Economic Systems Research**, v. 25, n. 1, p. 1-19, 2013.

TUKKER, A.; WOOD, R.; GILJUM, S. Recent progress in assessment of resource efficiency and environmental impacts embodied in trade: An introduction to this special issue. *Journal of Industrial Ecology*, 22(3), 489–501, 2018.

UN - UNITED NATIONS. Paris agreement. In: **Report of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (21st Session, 2015: Paris)**. Retrived Decembe, 2015a.

UN General Assembly, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, 2015b, A/RES/70/1. Disponível em: <https://www.refworld.org/docid/57b6e3e44.html>. Acesso em: 7 de Janeiro de 2023.

UN COMTRADE – United Nations Commodity Trade Statistics Database, New York, United Nations Statistics Division, 2011. Disponível em: <http://comtrade.un.org/>. Acesso em: 22 de nov. 2022.

UN ServiceTrade – United Nations Service Trade Statistics Database, New York, United Nations Statistics Division, 2009. Disponível em: <http://unstats.un.org/unsd/servicetrade>. Acesso em: 23 de nov. 2022.

UNSD, National Accounts Main Aggregates Database, New York, United Nations Statistics Division, 2011a. Disponível em: <http://unstats.un.org/unsd/snaama/>. Acesso em: 23 de nov. 2022.

UNSD, National Accounts Official Data., New York, United Nations Statistics Division, 2011b. Disponível em: data.un.org/Browse.aspx?d=SNA. Acesso em: 23 de nov. 2022.

UNIDO. Global Value Chains and Industrial Development: Lessons from China, South-East and South Asia. 2018.

VIOLA, E. O regime internacional de mudança climática e o Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, (17)50, 25- 46, 2002.

VIOLA, E. Brasil na arena internacional de mitigação da mudança climática. Rio de Janeiro: Cindes, 2009.

VIOLA, E. A dinâmica das potências climáticas e o Acordo de Copenhague. **Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**. Edição Especial, 23-24,16-22, 2010.

VIOLA, E.; BASSO, L. Wandering decarbonization: the BRIC countries as conservative climate powers. **Revista Brasileira de Política Internacional**, 59(1), e001, 2016.

WACKERNAGEL, M; ONISTO, L.; BELLO, P.; LINARES, C.; FALFAN, I.S.L.; GARCIA, J.M.; GUERRERO, I.S.; GUERRERO, M.G.S., National natural capital accounting with the ecological footprint concept. **Ecol. Econ.** 29, 375–390, 1999.

WALTER, I.; UGELOW, J. L. Environmental policies in developing countries. *Ambio*, p. 102-109, 1979.

WANG, Z.; WEI, S. J. ZHU, K. Quantifying international production sharing at the bilateral and sector levels. **National Bureau of Economic Research**, 2013.

WANG, Z. et al. Measures of participation in global value chains and global business cycles. National Bureau of Economic Research, 2017.

WANG, Z., WEI, S.-J., ZHU, K. Quantifying international production sharing at the bilateral and sector levels. **Natl. Bur. Econ. Res.** 53, 1689–1699, 2018.

WEBER, C. L., MATTHEWS, H. S. Embodied environmental emissions in U.S. international trade, 1997-2004. **Environ. Sci. Technol.** V. 41, n. 14, pp. 4875-4881, 2007.

WEI, Y. et al. Responsibility accounting in carbon allocation: a global perspective. **Applied Energy**, v. 130, p. 122-133, 2014.

WIEDMANN, T. et al. Examining the global environmental impact of regional consumption activities—Part 2: Review of input–output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. *Ecological economics*, v. 61, n. 1, p. 15-26, 2007.

WIEDMANN, T. Carbon footprint and input-output analysis - an introduction. *Econ. Syst. Res.*, v. 21, n. 3, pp. 175-186, 2009.

WILLIAMSON, J. The Washington consensus. **Washington, DC**, 1990.

WIOD. World Input–Output Database. Groningen, University of Groningen and 10 other institutions, 2012. Disponível em: <http://www.wiod.org>. Acesso em: 23 de nov. 2022.

WITS, World integrated Solutions, World Bank, 2022. Disponível em: wits.worldbank.org. Acesso em: 7 de jan. 2023.

WOOD, R.; MORAN, D.; STADLER, K.; IVANORA, D.; STEEN-OLSEN, K.; TISSERANT, A.; HERTWICH, E. Prioritizing consumption-based carbon policy based on the evaluation of mitigation potential using input-output methods. *Journal of Industrial Ecology*, 22, 540–552, 2017.

WTO, **World Trade Report: Climate change and international trade**, World Trade Organization, 2022.

WTO, Trade and climate change: information brief nº4, World Trade Organization, 2021.

WU, X. D. et al. Carbon emissions embodied in the global supply chain: Intermediate and final trade imbalances. *Science of the Total Environment*, v. 707, p. 134670, 2020.

YAO, S. Agriculture's role in economic development: the case of China. In: **The Chinese Economy under Transition**. Palgrave Macmillan, London, 2000. p. 133-149.

YE, M. et al. Measuring smile curves in global value chains. *Inst. of Developing Economies, Japan External Trade Organization*, 2015.

YONG, L. I. Industrialization as the driver of sustained prosperity. UNIDO, 2020.

YOUNG, C. E. F.; LUSTOSA, M. C. J. A questão ambiental no esquema centro-periferia. *Economia, ANPEC – Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação*. Niterói (RJ), v.4, 65 n. 2, p.201-221, jul./dez. 2003.

YOUNG, C. E. F. International trade and industrial emissions in Brazil: an input-output approach. In: **XIII International Conference on Input–Output Techniques**, Macerata, Italy. 2000.

YOUNG, O. R. Regime dynamics: the rise and fall of international regimes. **International Organization**, (36)2, 277-297, 1982.

YOUNG, O. R. Effectiveness of international environmental regimes: Existing knowledge, cutting-edge themes, and research strategies. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, (108)50, 19853-19860, 2011.

XI, J.P. **Speech at the General Debate of the 75th Session of the UN General Assembly**. People's Dly, 2020.

ZANDONAI, R. OS BRICS NA ARENA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Relações Internacionais no Mundo Atual*, v. 1, n. 18, p. 182-217, 2015.

ZHANG, Y. The responsibility for carbon emissions and carbon efficiency at the sectoral level: evidence from China. *Energy economics*, v. 40, p. 967-975, 2013.

APÊNDICE A

Compatibilização da classificação setorial UNCTAD-EORA de 26 setores com a classificação do Grupo de Indústria e Competitividade (GIC).

Eora26	GIC
Agriculture	Outro
Fishing	Outro
Mining and Quarrying	Commodities industriais
Food & Beverages	Indústria tradicional
Textiles and Wearing Apparel	Indústria tradicional
Wood and Paper	Commodities agrícolas processadas
Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products	Commodities industriais
Metal Products	Commodities industriais
Electrical and Machinery	Indústria Inovativa
Transport Equipment	Indústria inovativa
Other Manufacturing	Indústria inovativa
Recycling	Outro
Electricity, Gas and Water	Outro
Construction	Outro
Maintenance and Repair	Outro
Wholesale Trade	Outro
Retail Trade	Outro
Hotels and Restaurants	Outro
Transport	Outro
Post and Telecommunications	Outro
Financial Intermediation and Business Activities	Outro
Public Administration	Outro
Education, Health and Other Services	Outro
Private Households	Outro
Others	Outro
Re-export & Re-import	Outro

APÊNDICE B

De acordo com o modelo de decomposição das emissões de Chen et al. (2021), para estimar as emissões incorporadas no comércio utilizando das métricas contábeis de: (i) PBA; (ii) CBA; e (iii) GVC, seguimos a lógica do cálculo de encadeamentos para frente e para trás. Inicialmente, dada equação de decomposição das emissões de $\widehat{\mathbf{CB}}\widehat{\mathbf{Y}}$:

$$\widehat{\mathbf{CB}}\widehat{\mathbf{Y}} = \widehat{\mathbf{CL}}\widehat{\mathbf{Y}}^{\mathbf{D}} + \widehat{\mathbf{CL}}\widehat{\mathbf{Y}}^{\mathbf{F}} + \widehat{\mathbf{CLA}}^{\mathbf{F}}\widehat{\mathbf{B}}\widehat{\mathbf{Y}} + \widehat{\mathbf{CLA}}^{\mathbf{F}}(\widehat{\mathbf{B}}\widehat{\mathbf{Y}} - \widehat{\mathbf{LY}}^{\mathbf{D}}) \quad (\text{A.1})$$

Observando os componentes das matrizes da decomposição de $\widehat{\mathbf{CB}}\widehat{\mathbf{Y}}$ pelas colunas (*forward linkages*), do setor i e país s , é possível contabilizar as emissões do tipo PBA da seguinte forma:

$$\begin{aligned} PBA &= c_i^s \sum_{t=1}^M \sum_{j=1}^k b_{ij}^{st} y_j^{st} = \underbrace{PBA_FD_i^s (return)}_{\substack{c_i^s \sum_{j=1}^k l_{ij}^s y_j^{ss} + c_i^s \sum_{r=1, r \neq s}^M \sum_{j=1}^k l_{ij}^s A_j^{sr} b_{ij}^{rs} y_j^{ss}}} + \underbrace{PBA_EX_i^s}_{c_i^s \sum_{r=1, r \neq s}^M \sum_{j=1}^k l_{ij}^s y_j^{sr}} \\ &= \underbrace{PBA_FD_i^s}_{c_i^s \sum_{j=1}^k l_{ij}^s y_j^{ss}} + \underbrace{c_i^s \sum_{t=1}^M \sum_{r=1, r \neq s}^M \sum_{j=1}^k l_{ij}^s A_j^{sr} b_{ij}^{rs} y_j^{ss} - c_i^s \sum_{r=1, r \neq s}^M \sum_{j=1}^k l_{ij}^s A_j^{sr} b_{ij}^{rs} y_j^{ss}}_{\substack{PBA_GVC_i^s \\ c_i^s \sum_{t'=1, t' \neq s}^M \sum_{t=1, t \neq s}^M \sum_{r=1, r \neq s}^M \sum_{j=1}^k l_{ij}^s A_j^{sr} b_{ij}^{rt} y_j^{tt'}}} + \underbrace{PBA_EX_i^s (rexporth)}_{c_i^s \sum_{r=1, r \neq s}^M \sum_{j=1}^k l_{ij}^s A_j^{sr} b_{ij}^{rs} y_j^{ss}} \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

Na equação (A.2), o subscrito s remete ao país de origem, r o país parceiro comercial, t e t' indica os países terceiros. Então, o termo y_j^{sr} indica o comércio de bens finais do país s ao país r . Desta forma, as emissões por PBA são divididas nas seguintes partes:

- 1 $PBA_FD_i^s$ – Emissões territoriais para produção de bens finais que são consumidos no mercado doméstico;
- 2 $PBA_FD_i^s (return)$ – Emissões territoriais para produção de bens intermediários que vão para o exterior, mas retornam e são consumidos no mercado doméstico como bem final;
- 3 $PBA_EX_i^s$ – Emissões territoriais para produção de bens finais exportados;
- 4 $PBA_EX_i^s (rexporth)$ – Emissões territoriais para produção de bens finais exportados, mas que contabiliza as emissões de bens intermediários reimportados para produção doméstica final;

- 5 PBA_GVC_i^S – Emissões territoriais incorporadas em bens intermediários para produção final no país parceiro ou terceiro.

De acordo com as definições, para as emissões incorporadas pelo consumo (CBA), do setor j e país s , consideramos o somatório dos elementos das linhas (backward linkages).

$$CBA = \sum_{t=1}^M \sum_{j=1}^K c_i^s b_{ij}^{st} y_j^{st} + \sum_{t=1}^M \sum_{j=1}^K c_i^t l_{ij}^t y_j^{tr} = \quad (A.3)$$

$$\underbrace{\sum_{i=1}^K c_i^r l_{ij}^r y_j^{rr}}_{EED_FD_i^r} + \underbrace{\sum_{t=1, t \neq r}^M \sum_{i=1}^K c_i^r l_{ij}^r A_j^{rt} b_{ij}^{tr} y_j^{rr}}_{EED_FD_i^r(\text{return})} + \underbrace{\sum_{t=1, t \neq r}^M \sum_{i=1}^K c_i^t l_{ij}^t A_j^{tt'} b_{ij}^{t'r} y_j^{rr}}_{EEIM_GVC_i^r} + \underbrace{\sum_{t=1, t \neq r}^M \sum_{i=1}^K c_i^t l_{ij}^t y_j^{tr}}_{EEM_i^r}$$

Desta forma, as emissões incorporadas pelo consumo (A.3) são divididas em quatro partes:

- 1 $EED_{FD_i^r}$ – todas as emissões territoriais incorporadas na produção final deste setor e consumidas no mercado doméstico;
- 2 $EED_{FD_i^r}(\text{return})$ – todas as emissões territoriais incorporadas na produção de bens intermediários que são exportados, mas retornam e são consumidos no mercado doméstico;
- 3 $EEIM_{GVC_i^r}$ – todas as emissões estrangeiras incorporadas em bens intermediários importados que são usados na produção final do setor e consumidos no mercado doméstico;
- 4 EEM_i^r – emissões estrangeiras incorporadas em bens e serviços finais importados pelo setor e consumidas no mercado doméstico;

Para as emissões incorporadas na produção do país r e setor j , seguindo a lógica de encadeamentos para trás (*Backward*), calculamos a métrica de GVC da seguinte forma:

$$GVC = \sum_{s=1}^M \sum_{t=1}^M X \sum_{t=1}^M \sum_{j=1}^K c_i^s b_{ij}^{st} y_j^{st} =$$

$$\underbrace{\sum_{i=1}^K c_i^r l_{ij}^r y_j^{rr}}_{EED_FD_i^r} + \underbrace{\sum_{t=1, t \neq r}^M \sum_{i=1}^K c_i^r l_{ij}^r A_j^{rt} b_{ij}^{tr} y_j^{rr}}_{EED_FD_i^r(\text{return})} + \underbrace{\sum_{s=1, s \neq r}^M \sum_{i=1}^K c_i^s l_{ij}^s y_j^{rs}}_{EED_EX_i^r} + \quad (A.4)$$

$$\underbrace{\sum_{s=1}^M \sum_{t=1, t \neq r}^M \sum_{i=1}^K c_i^r l_{ij}^r A_j^{rt} b_{ij}^{tr} y_j^{rs} - \sum_{t=1, t \neq r}^M \sum_{i=1}^K c_i^r l_{ij}^r A_j^{rt} b_{ij}^{tr} y_j^{rs}}_{EED_FD_i^r(\text{reexport})} + \underbrace{\sum_{t'=1, t' \neq r}^M \sum_{t=1, t \neq r}^M \sum_{i=1}^K c_i^t l_{ij}^t A_j^{tt'} b_{ij}^{t'r} y_j^{rr}}_{EEIM_GVC_i^r} +$$

$$\underbrace{\sum_{s=1, s \neq r}^M \sum_{t'=1, t' \neq r}^M \sum_{t=1, t \neq r}^M \sum_{i=1}^K c_i^t l_{ij}^t A_j^{tt'} b_{ij}^{t'r} y_j^{rs}}_{EEP_GVC_i^r}$$

Então, as emissões por GVC (A.4) são divididas em:

- 1 $EED_FD_j^r$ – todas as emissões territoriais incorporadas na produção de bens finais deste setor e consumidas no mercado doméstico;
- 2 $EED_FD_j^r(\text{return})$ – todas as emissões territoriais incorporadas na produção de bens intermediários enviados ao exterior, mas que são reimportados e consumidas no mercado doméstico;
- 3 $EED_EX_j^r$ – todas as emissões territoriais incorporadas na produção de bens finais exportados;
- 4 $EED_FD_j^r(\text{reexport})$ – todas as emissões territoriais incorporadas na produção de bens finais exportados, mas as emissões incorporadas nos bens intermediários são reimportados e consumidas no mercado doméstico;
- 5 $EEIM_GVC_j^r$ – todas as emissões estrangeiras incorporadas nos bens intermediários importados e consumidas no mercado doméstico;
- 6 $EEP_GVC_j^r$ – todas as emissões estrangeiras incorporadas nos bens intermediários importados que são usados na produção domésticos e reexportados.