

Emissões de carbono em comércio bilateral: um estudo de caso sobre o comércio entre Brasil e China

Tiago R. F. Barcelos¹

Kaio Vital da Costa²

20º Seminário Diamantina 2024

Área temática: 5. Relações Econômicas Internacionais

Resumo

Este artigo analisa as emissões de carbono associadas ao comércio bilateral entre Brasil e China de 2000 a 2018. Utilizando dados da OCDE-ICIO, os resultados mostram um padrão de comércio “Norte-Sul”: as exportações do Brasil para a China são intensivas em emissões nos setores de minerais, agricultura e transporte, enquanto as exportações da China para o Brasil são intensivas em emissões nos setores de manufatura e bens de capital. O indicador de Exportações Líquidas de Carbono revela que, de 2012 a 2018, o Brasil teve um superávit de emissões de carbono nas transações com a China, que está ligado ao volume de exportações e à intensidade das emissões da estrutura de exportação Brasileira.

Palavras-chave: Análise insumo-produto; Comércio bilateral; Emissões de carbono.

Abstract

This paper analyzes carbon emissions associated with bilateral trade between Brazil and China from 2000 to 2018. Using OCDE-ICIO data, results show a “North-South” trade pattern: Brazil's exports to China are emissions-intensive in mineral, agriculture, and transport sectors, while China's exports to Brazil are emissions-intensive in manufacturing and capital goods. The Net Exports Carbon indicator reveals that, from 2012 to 2018, Brazil had a carbon emissions surplus in transactions with China. This surplus is linked to the export volume and the emissions intensity of Brazil's export structure, which is intensify by the transport sector.

Key-words: Input-output analysis; Bilateral trade; Carbon emisisions.

1. Introdução

As preocupações com os efeitos da crise climática sobre a produção e comércio internacional tem se tornado cada vez mais importante para elaboração de políticas econômicas e sociais. Segundo o sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), os impactos substanciais das mudanças climáticas previstos para a economia global estão relacionados a escassez hídrica, que deve dificultar a produção de alimentos; a infraestrutura das cidades e de transportes, principalmente em regiões costeiras, dificultando a dinamização da atividade econômica; e os efeitos sobre a saúde e bem-estar das populações.

Ao longo da última década, tem sido crescente a implementação de políticas de mitigação de emissões de gases efeito estufa (GEE) – estes que são os principais responsáveis pelo aumento da temperatura global (IPCC, 2018) – que correspondem, fundamentalmente, a descarbonização produtiva e transição energética. O Acordo de Paris (UN, 2015) tem firmado este compromisso por

¹Doutorando do Instituto de Economia/Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE/UFRJ) (barcelos.tiago046@gmail.com).

² Professor associado e pesquisador do Grupo de Indústria e Competitividade (GIC) do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE/UFRJ) (e-mail: kaio.economia@gmail.com).

meio da construção de um regime de coalização de metas nacionais definidos pelas partes (NDC, em inglês), que visam a mitigação de gases GEE e transparência das ações climáticas. Os resultados positivos são observados por meio da criação e utilização de instrumentos regulatórios e econômicos que tem viabilizado o aumento da eficiência energética, a redução dos índices de desmatamento e aceleração do desenvolvimento de tecnologias para redução de emissões (IPCC, 2023).

Entretanto, em um primeiro momento, a orientação das soluções para mitigação das emissões de GEE teve como foco apenas as emissões territoriais dos países, ou seja, as emissões geradas pela produção dentro das fronteiras de cada país. Entretanto, o avanço da globalização produtiva e comercial lança luz sobre a transferência de emissões por meio do comércio internacional, o que requer considerar aquelas emissões baseadas no consumo. Isto porque, considerando a dinâmica do comércio internacional, por mais que um país seja capaz de reduzir a intensidade de emissões de sua estrutura produtiva, o seu padrão de importações tem o potencial de produzir emissões nos países parceiros, o que, em termos líquidos, pode ter efeito nulo sobre a redução das emissões globais (Grubb et al., 2022).

Neste contexto, a contabilização das emissões de GEE incorporadas no comércio internacional (EEIT, sigla em inglês), que consideram as emissões baseadas na produção e consumo, tem sido uma ferramenta importante para o entendimento da transferência de poluição por meio dos fluxos comerciais (Steinberger et al., 2012; Grubb et al., 2022) e para atribuição de responsabilidades por emissões (Lenzen, Murray, 2010; Zhang et al., 2020). Desta forma, este estudo propõe utilizar de indicadores EEIT para investigar o padrão de emissões associado ao padrão de comércio bilateral entre Brasil e China, no período de 2000 a 2018. A seleção dos países é motivada pela representatividade comercial destas duas grandes economias em desenvolvimento, que é definida como uma parceria estratégica (Oliveira, 2016), assim como por suas divergências na dimensão comercial e ambiental, em termos de intensidade de emissões e composição das exportações.

O estudo propõe uma análise insumo produto sobre a última versão da matriz de insumo produto inter-regional (ICIO, sigla em inglês) da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), que agrupa dados de 45 setores para 76 países e uma região agregada como Resto do Mundo (RoW, em inglês) (OCDE, 2023). Para os dados de emissões, utilizamos o indicador de “Emissões de carbono incorporado na demanda final doméstica e externa”, que considera emissões geradas pela queima de combustível fóssil para produção, ao nível setorial da ICIO-OCDE no período de 2000 a 2018.

A principal contribuição deste trabalho consiste em identificar o padrão de emissões de carbono associados ao padrão de comércio bilateral entre Brasil e China no século XXI. Adicionalmente, propomos o cálculo do indicador *Net Exports Carbon*, que é capaz de mensurar o excedente comercial agregado, em termos de emissões de carbono, contribuindo para a elaboração de políticas mais consistentes para o comércio internacional em contexto de crise climática.

Portanto, além desta introdução, este artigo está dividido em outras quatro seções. A primeira seção faz uma breve revisão da literatura e contextualização sobre a inserção internacional e o padrão de emissões de GEE dos países objeto da análise. Em seguida, uma seção explica a metodologia e base de dados utilizada para, posteriormente, discutir os principais resultados obtidos. Por fim, encerramos a discussão com as considerações finais.

2. Revisão da literatura

2.1 Crise climática e desenvolvimento

Em 2023, a publicação do Sexto Relatório de Avaliação (AR6) (IPCC, 2023) apontou para a necessidade de implementação de medidas emergenciais para o enfrentamento da crise climática. Os estudos evidenciaram um aumento contínuo de emissões de gases efeito estufa (GEE) e, por conseguinte, do aumento da temperatura média do planeta, causados pela utilização de fontes não

renováveis de energia, uso e mudança no uso da terra, estilo de vida e padrões de produção e consumo entre regiões, países e indivíduos.

Neste contexto, o Acordo de Paris (UN, 2015) representa um compromisso firmado entre países em prol do enfrentamento da crise climática, principalmente por meio de metas nacionais (NDC) para a mitigação de emissões de GEE. Entre as metas estabelecidas pelo Acordo de Paris, 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, 2015).

Segundo o IPCC (2023), tem sido observado um engajamento em direção às políticas de mitigação de emissões, principalmente por meio do incentivo a transição para fontes de energia renováveis, tais como eólica e solar, a eletrificação de sistemas urbanos, investimento em infraestruturas mais sustentáveis, eficiência energética, gerenciamento de demanda, gerenciamento de plantações e florestas, redução de desperdício de alimentos, entre outros. O conjunto de políticas de mitigação, além de promover a redução de custos, tem viabilizado o aumento de iniciativas públicas para a pesquisa e desenvolvimento, em inovação, projetos pilotos, e outros instrumentos do tipo *demand-pull*. Estes avanços têm evidenciado que a manutenção de sistemas intensivos em emissões é mais custosa do que a transição para sistemas de baixo carbono.

Entretanto, apesar dos esforços mencionados para mitigação, os cientistas estimam que a temperatura deve exceder 1,5°C neste século e que, dificilmente, ficará abaixo dos 2°C (IPCC, 2023), o que compromete metas firmadas pelo Acordo de Paris. Neste contexto, para além das políticas de mitigação de emissões de GEE, se torna imprescindível a implementação de planos efetivos de adaptação e resiliência econômica diante da crise climática.

Os principais impactos econômicos das mudanças climáticas se concentram em regiões costeiras, pequenas ilhas e regiões montanhosas, que estão mais sujeitas a inundações e deslizamentos de terra. Outras regiões também podem sofrer de longos períodos de secas e crise de abastecimento de água, comprometendo a produção de alimentos, não apenas da agropecuária, mas também de pesca, devido à elevação da temperatura e do nível de acidificação dos oceanos (IPCC, 2018; 2023).

Entretanto, apesar de algumas regiões estarem mais sujeitas aos desastres do que outras, o contexto de globalização expõe todos os países aos efeitos indiretos deste fenômeno. De acordo com o relatório da Organização Mundial do Comércio (OMC) (WTO, 2022), o acirramento da crise climática impõe dificuldades futuras para a produção de bens e serviços ao redor do mundo e que tem potencial de alterar toda a dinâmica do sistema comercial global. Neste cenário, a estratégia para a redução de custos econômicos e ambientais associados ao comércio têm sido pautada pelo direcionamento de esforços para redução de intensidade de emissões dos fluxos de comércio entre países, assim como em estratégias de adaptação diante dos cenários previstos.

2.2 Emissões incorporadas no comércio e responsabilidade por emissões

Inicialmente, a contabilização das emissões nacionais dos países – inclusive as que embasaram metas do Acordo de Paris –, concentravam-se nas emissões do tipo territoriais, que são aquelas emissões baseadas na produção dentro das fronteiras de cada país. Entretanto, a partir dos anos 1990, com os desdobramentos do processo de globalização produtiva e comercial (Baldwin, 2012), a mensuração das emissões baseadas no consumo se tornou cada vez mais fundamentais (Grubb et al., 2012).

Em princípio, um país pode ser capaz de reduzir suas emissões territoriais, seja por meio de regulação, introdução de tecnologias e/ou ganho de eficiência. Porém, se o padrão de consumo não

se altera, este país estaria apenas deslocando a produção de emissões para outras regiões (Wood, 2020). Na literatura, o processo de deslocamento de indústrias poluentes é estudado como hipótese de refúgios de poluição, no qual os autores analisam a relação entre a concentração de indústrias mais poluentes nos países em desenvolvimento com questões estruturais, institucionais e de especialização comercial (Cole, Eliot, 2003; Frankel, 2009; Duan et al., 2021).

Neste contexto, com a intensa dinamização do comércio internacional, inclusive do comércio de bens intermediários e da formação de cadeias globais de valor (Gereffi, 2011; Santarcangelo et al., 2017), surgem questões a respeito da redução da intensidade de emissões e de outras externalidades ambientais negativas dos países desenvolvidos, e se este processo tem contribuído para a redução das emissões globais.

O avanço desta discussão propiciou o crescimento de análise que utilizam de indicadores e métricas que contabilizam as emissões incorporadas no comércio (EEIT, em inglês). Fundamentalmente, as métricas de EEIT contabilizam as emissões do tipo territorial e as emissões incorporadas pelo consumo, usualmente definidas como emissões de pegada de carbono (Steinberger et al., 2012; Grubb et al., 2022). Na literatura, as metodologias que optam pelos indicadores que avaliam as cadeias de produção, 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 das matrizes multirregionais (MRIO, sigla em inglês), para investigar as relações de comércio entre países (Costa, 2021).

Adicionalmente, as discussões sobre como contabilizar as emissões e estimar seus impactos, atravessam, implicitamente, questões sobre a atribuição de responsabilidades. Desde as negociações pós-Kyoto e acirramento da crise climática (IPCC, 2018), a discussão sobre a responsabilidade pelas emissões tornou-se cada vez mais decisiva no cenário internacional (Frankel, 2009). Entretanto, o debate ainda é permeado 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, a responsabilidade pode ser dividida proporcionalmente entre países exportadores e importadores? (Zhang et al., 2020).

Diante destas questões Lenzen e Murray (2010), Marques et al. (2012) e Zhang (2013) fazem uma conceitualização das responsabilidades por emissões por meio de quatro princípios:

- (i) Responsabilidade baseada na produção (PBR, sigla em inglês), que atribui responsabilidade aos produtores por todas as emissões gerada pela produção na economia doméstica, sendo, portanto, definida como emissões territoriais;
- (ii) Responsabilidade baseada no Consumo (CBR, sigla em inglês), que atribui a responsabilidade aos componentes do lado da demanda (famílias, governo, importadores) pelas emissões incorporadas nos fluxos comerciais, usualmente definida como a pegada ecológica dos bens e serviços comercializados;
- (iii) 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.
- (iv) 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).

Rodrigues et al. (2006) aponta que o princípio da Responsabilidade Compartilhada é único capaz de garantir os principais atributos incorporados no conceito de responsabilidade por emissões, que são: (1) a responsabilidade deve ser dada pela soma das partes; (2) a soma da responsabilidade por emissões de cada país é igual a soma das emissões totais diretas global; (3) responsabilidades

indiretas, no início e no fim das cadeias, devem ser incluídas; (4) A proporção da responsabilidade de emissão alocada aos participantes do setor a jusante (*upstream*) é igual à proporção de produtos obtidos do setor a montante (*downstream*); (5) responsabilidade por emissões só pode ser reduzida quando forem reduzidas as emissões diretas; (6) responsabilidade entre produtores e consumidores deve ser simétrica.

Zhang et al. (2020) argumenta que, apesar destas considerações apresentarem limitações e não representarem consensualidade na literatura, elas podem contribuir para o melhor direcionamento e estruturação de políticas e acordos climáticos globais. Nesse sentido, apontamos que esta discussão é importante, porque, apesar da natureza global das mudanças climáticas, seu enfrentamento requer a implementação de ações coletivas e justas, dado que seus efeitos não são equitativos entre as partes.

2.3 Características do comércio bilateral Brasil e China

As relações de comércio internacional entre países em desenvolvimento definem, usualmente, um padrão de comércio do tipo Sul-Sul. Para o Brasil o padrão “Sul-Sul” é representado pelas relações intrarregionais, que é dado pelo comércio de grupo de bens e serviços mais diversificados, com participação de produtos manufaturados e baseado em recursos naturais, com maior intensidade de capital e conteúdo tecnológico. Para o padrão extrarregional, todavia, são mantidas um tipo de relação “Norte-Sul”, que tem maior participação dos bens primários e outros manufaturados, mas com elevada composição de insumos importados (Ocampo, Martin, 2004; Bertola, Ocampo, 2012).

A aproximação comercial entre a América Latina e Ásia foi estabelecida ao longo do período de toda Guerra Fria. O modelo comercial traçado entre os continentes se encaixava no padrão “Norte-Sul”, no qual a América Latina se colocava como grande fornecedora de matérias-primas e bens agrícolas, em troca de bens de capital e manufaturados asiáticos. Neste primeiro momento, o principal parceiro comercial brasileiro do continente era o Japão, país que tinha maior capacidade de oferecer os fluxos de bens demandados (Oliveira, 2016).

Ao final da guerra, as mudanças políticas e econômicas inseriram novas possibilidades comerciais, de tal que forma que o Leste Asiático desponta como uma região estratégica para a inserção internacional brasileira. Em 1992, a China inicia a retomada do seu processo de desenvolvimento e, em 1993, formaliza uma parceria comercial estratégica com o Brasil, antes mesmo de sua entrada na Organização Mundial do Comércio (OMC), mantendo uma relação bilateral de cooperação através de fluxos comerciais e de investimentos em grande escala (Jenkins, 2012).

A parceria teve impacto sobre o padrão de comércio brasileiro com os blocos econômicos, de forma que em 2009 a Ásia passou a ser o principal destino das exportações – 26,3% das exportações totais –, assim como a principal origem das importações – 28,3% das importações totais –. O papel da China na modificação deste padrão é central, de forma que no período de 2002 a 2013, sua participação relativa passa de 4,2% para 19%, o que tornou a China o principal parceiro comercial brasileiro desde então (Oliveira, 2016).

A crescente inserção e diversificação da indústria asiática, principalmente após a crise financeira de 2008, tem contribuído para o aumento de sua participação relativa no total de transações internacionais globais, se tornando um parceiro comercial fundamental para diferentes regiões. Segundo dados da *World Trade Integrated Solution* (WITS, 2024), a China mantém-se como principal parceiro comercial para o Brasil, representando 31,30% das exportações totais brasileiras no ano de 2021. Por outro lado, no caso das exportações chinesas com destino ao Brasil, nota-se que o país representou apenas 1,59% em relação ao total exportado no mesmo ano. A Tabela 1 abaixo apresenta as exportações por categoria de produtos exportados entre os países para o ano de 2021.

Tabela 1 – Exportações Brasil e China por grupo de produtos, para o ano de 2021

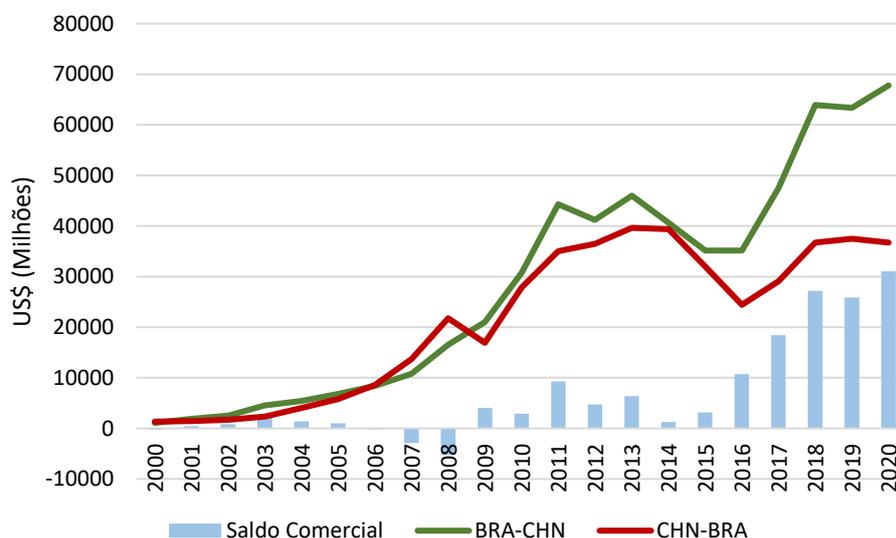
Grupo de Produtos	BRA_CHN		CHN_BRA	
	Exportações (mil US\$)	Exportações (%)	Exportações (milhões US\$)	Exportações (%)
Bens de capital	791069.42	0.9	22997242.83	42.90
Bens de consumo	292097.12	0.33	11802283.72	22.01
Bens intermediários	74305833.05	8.45	17623394.31	32.87
Matéria-prima	79394138.26	90.32	294239.92	0.55
Todos os produtos	87907887.86	100	53612224.39	100

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da WITS.

Como mostra a Tabela 1, além da disparidade em termos de representatividade relativa de comércio, os países apresentam características bastante divergentes com relação ao conteúdo exportado. A pauta brasileira se mantém concentrada em atividades primárias, representando 90,32% das exportações relativas do país. Em contrapartida, a China apresenta uma participação mais diversificada entre os grupos de produtos, contabilizando 42,90% para bens de capital, que, em geral, possuem maior nível de valor agregado. A composição baseada em produtos industriais tem efeito positivo sobre o aumento do valor agregado da pauta produtiva e exportadora chinesa, favorecendo desenvolvimento doméstico industrial e tecnológico, expandindo seus mercados e ampliando parcerias na América do Sul.

A Figura 1 apresenta a evolução do volume de exportações e importações brutas, em milhões de US\$, entre Brasil e China, e o saldo comercial.

Figura 1 – Evolução do comércio bilateral entre Brasil e China (2000 – 2020)



Fonte: Elaboração própria com dados da WITS.

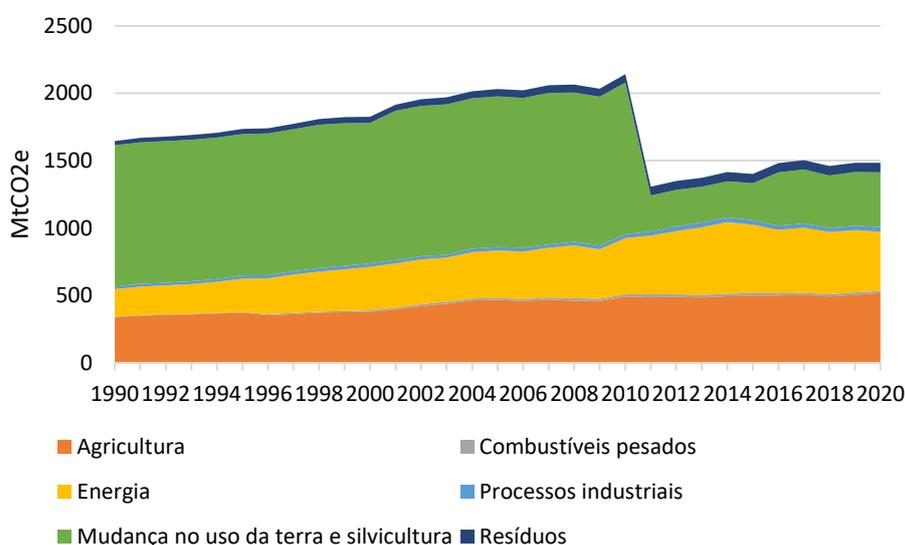
Com base na Figura 1, destacamos sobre como o crescimento da indústria manufatureira pode ter um efeito polarizado sobre a estrutura produtiva brasileira (Medeiros, 2006). Por um lado, a China é o principal parceiro comercial brasileiro, atuando como grande fornecedor de insumos industriais e sendo fundamental para a geração de superávit na balança comercial devido à absorção das exportações brasileiras. Por outro lado, o movimento ascendente da indústria chinesa pode restringir o crescimento da indústria brasileira, devido ao ganho de competitividade dos produtos chineses, principalmente na região sul-americana (Sennes, Barbosa, 2011).

Portanto, o relacionamento entre Brasil e China é permeado pela diversidade de interesses econômicos, e que definem um tipo de relação comercial do tipo heterogênea e estratégica, pois impacta diretamente o desenvolvimento produtivo do país. Em seguida, buscando observar os reflexos desta interação comercial para além do plano econômico, apresentamos uma descrição da evolução das emissões de gases efeito estufa dos países.

2.4 Padrão de emissões de gases efeito estufa: Brasil e China

Em geral, a geração de emissões para a produção e comércio estão vinculadas, direta e indiretamente, as características das estruturas produtivas dos países e suas respectivas fontes energéticas. As Figuras 2 e 3 apresentam a evolução setorial das emissões de Brasil e China, no período de 1990 a 2020, respectivamente. Os dados apresentam as emissões em milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente³ (MtCO₂e).

Figura 2 – Evolução das emissões de CO₂e do Brasil (1990-2020)



Fonte: Elaboração própria com dados da Climate Watch (2024).

Como mostra a Figura 2, a composição setorial das emissões brasileira é caracterizada por grandes percentuais do setor de agricultura, mudança no uso da terra e energia. A formação de uma estrutura produtiva para exportação intensiva no setor de agricultura agregado⁴, nos auxilia na compreensão desta proporção em nível, a qual representa cerca de 15% das transações totais no mercado global (Montoya et al, 2021). Esta representatividade do setor agropecuário contribui para explicar a intensidade de emissões por mudança no uso da terra. A expansão do modelo de produção agropecuária sobre o território brasileiro foi responsável pela elevação do desmatamento ilegal em áreas de floresta nativa, que atingiram, principalmente, os biomas Amazônia e Cerrado (Pereira, 2020; SEEG, 2021).

Nesta condição, o Brasil tem sido um dos maiores responsáveis pelo aumento das emissões globais (SEEG, 2021), que estão associados, em grande proporção, ao desmatamento (Gutschow et al., 2016). No que se refere as emissões por energia, o Brasil é um dos maiores consumidores de

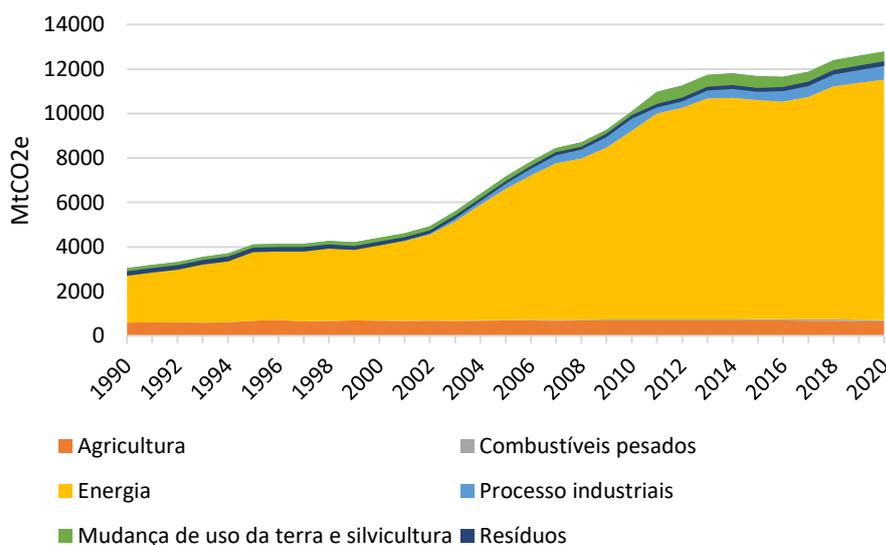
³ Os GEE são considerados o conjunto de gases atmosféricos responsáveis pelo aumento da temperatura do planeta Terra ou que potencializam os efeitos do carbono, quantificados como carbono equivalente (Lashof, Ahuja, 1990).

⁴A 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).

energia do mundo e que também apresenta estruturas urbanas e industriais densas, que contribuem para o aumento das emissões globais (Oliveira et al., 2020). Entretanto, por conta da maior disponibilidade de fontes renováveis de energia, a estrutura produtiva brasileira é considerada uma estrutura de baixo carbono, se comparada as economias de países da OCDE e outros emergentes (OECD, 2015).

Para o caso da China, como mostra a Figura 3, no período de 2008 a 2020, as principais fontes das emissões chinesas, em MtCO₂e, foram, em média: a geração de energia (87%), que agrega as emissões para geração de eletricidade do consumo populacional e atividades produtivas; processos industriais (9,5%), e agricultura (6,38%), incorporando também as emissões geradas pela pecuária (CW, 2024).

Figura 3 – Evolução das emissões de CO₂e da China (1990-2020)



Fonte: Elaboração própria com dados da Climate Watch (2024).

A intensidade de emissões chinesas tem relação direta com a composição de sua matriz energética. Bloch et al. (2015) argumenta que o processo de crescimento econômico chinês tem participações mais significativas, pelo lado da demanda e da oferta, de energia gerada por fontes não renováveis, principalmente o carvão e petróleo.

Portanto, é possível dizer que o principal desafio da China está na descarbonização de sua estrutura produtiva. 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 energética⁵ e buscando migrar para fontes renováveis. De fato, tem sido observado que a trajetória de crescimento das emissões chinesas tem desacelerado, o que, por um lado, é visto 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).

3 Metodologia

Este estudo propõe uma análise do tipo insumo-produto para investigar o padrão de emissões associado ao padrão de comércio entre Brasi, China e Resto do Mundo. Inicialmente, consideramos as noções fundamentais da função de produção de Leontief (1936), definido como:

⁵ 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).

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

onde $L = (I - A)^{-1}$ 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 x é determinada pelo consumo intermediário como uma proporção fixa do valor da produção, expresso pelo coeficiente técnico A , e variações na demanda final y (Miller, Blair, 2009).

Em seguida, considerando os fluxos comerciais entre Brasil e China, podemos mensurar as emissões de CO2 que são produzidas para o consumo final dos dois países por meio das equações (2) e (3), respectivamente.

$$\begin{aligned} TC_{Bra} &= [e_B \ e_C \ e_R] \begin{bmatrix} L_{B-B} & L_{B-C} & L_{B-R} \\ L_{C-B} & L_{C-C} & L_{C-R} \\ L_{R-B} & L_{R-C} & L_{R-R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{B-B} \\ Y_{C-B} \\ Y_{R-B} \end{bmatrix} = \\ &= (e_B L_{B-B} + e_C L_{C-B} + e_R L_{R-B})Y_{B-B} + (e_B L_{B-C} + e_C L_{C-C} + e_R L_{R-C})Y_{C-B} \\ &\quad + (e_B L_{B-R} + e_C L_{C-R} + e_R L_{R-R})Y_{R-B} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TC_{Chn} &= [e_B \ e_C \ e_R] \begin{bmatrix} L_{B-B} & L_{B-C} & L_{B-R} \\ L_{C-B} & L_{C-C} & L_{C-R} \\ L_{R-B} & L_{R-C} & L_{R-R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{B-C} \\ Y_{C-C} \\ Y_{R-C} \end{bmatrix} = \\ &= (e_B L_{B-B} + e_C L_{C-B} + e_R L_{R-B})Y_{B-C} + (e_B L_{B-C} + e_C L_{C-C} + e_R L_{R-C})Y_{C-C} \\ &\quad + (e_B L_{B-R} + e_C L_{C-R} + e_R L_{R-R})Y_{R-C} \quad (3) \end{aligned}$$

As abreviações “*Bra*” e “*B*” representam Brasil; “*Chn*” e “*C*” a China; e “*Row*” e “*R*” o resto do mundo (que exclui o Brasil e a China). A matriz inversa de Leontief, L , é uma matriz quadrada dividida em 9 partes; Y é o vetor de demanda final; e e refere-se ao coeficiente de emissões, dado por $e = C/X$, onde C é o CO2 emitido por diferentes setores e X refere-se à produção total desses setores. Desta forma, as equações TC contabilizam às emissões totais de CO2 baseadas no consumo final, doméstico e estrangeiro, dos países em análise.

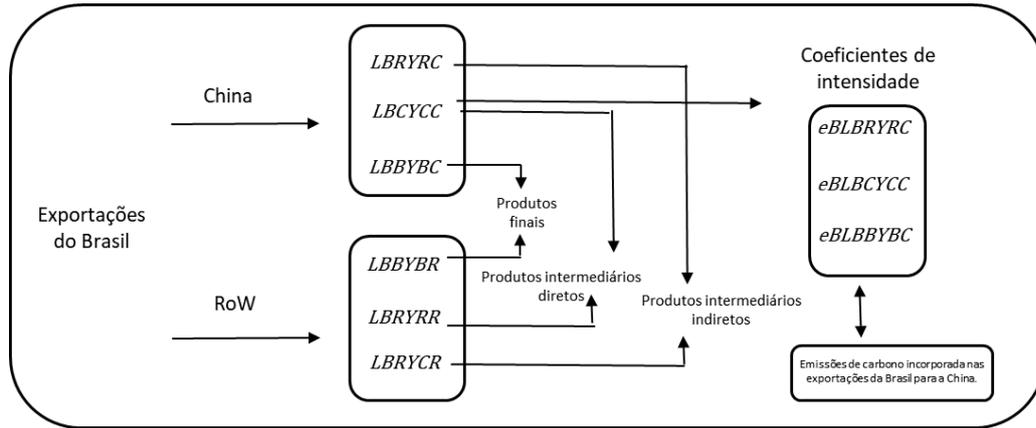
Podemos também contabilizar as emissões totais de CO2 incorporadas nas exportações entre os dois países:

$$\begin{aligned} EC_{Bra-Chn} &= [e_B \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} L_{B-B} & L_{B-C} & L_{B-R} \\ L_{C-B} & L_{C-C} & L_{C-R} \\ L_{R-B} & L_{R-C} & L_{R-R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{B-C} \\ Y_{C-C} \\ Y_{R-C} \end{bmatrix} = \\ &= e_B L_{B-B} Y_{B-C} + e_B L_{B-C} Y_{C-C} + e_B L_{B-R} Y_{R-C} \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EC_{Chn-Bra} &= [0 \ e_C \ 0] \begin{bmatrix} L_{B-B} & L_{B-C} & L_{B-R} \\ L_{C-B} & L_{C-C} & L_{C-R} \\ L_{R-B} & L_{R-C} & L_{R-R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{B-B} \\ Y_{C-B} \\ Y_{R-B} \end{bmatrix} = \\ &= e_C L_{C-B} Y_{B-B} + e_C L_{C-C} Y_{C-B} + e_C L_{C-R} Y_{R-B} \quad (5) \end{aligned}$$

onde, $EC_{Bra-Chn}$ refere-se à exportação de emissões de CO2 do Brasil para a China, enquanto $EC_{Chn-Bra}$ é a exportação de emissões da China para o Brasil. As emissões de CO2 incorporadas nas exportações podem ser decompostas em emissões diretas ($e_B L_{B-B} Y_{B-C}$) ou indiretas ($e_B L_{B-C} Y_{C-C}$). A Figura 4 apresenta uma ilustração deste esquema.

Figura 4 – Emissões diretas e indiretas nas exportações do Brasil



Fonte: Elaboração própria.

Como mostra o esquema (Figura 4), nas emissões $EC_{Bra-Chn}$ do comércio Brasil-China, podemos ter alguns produtos que são primeiro processados pelo Brasil e depois exportados para outros países, exceto a China. Entretanto, após o reprocessamento, esses outros países acabam exportando os produtos finais para a China, o que é característico das relações em CGV. Todas as emissões de CO₂ causadas neste processo são emissões indiretas de exportação do Brasil para a China.

Portanto, com base nos indicadores de emissões em exportação, as exportações líquidas de CO₂ podem ser quantificadas da seguinte forma:

$$NEC = EC_{Bra-Chn} - EC_{Chn-Bra} \quad (6)$$

O indicador de *Net Exports Carbon* (NEC) representa as emissões líquidas de CO₂ nas exportações. Se $NEC > 0$, temos que o Brasil tem um excedente de emissões de CO₂ incorporadas às exportações com a China. Se $NEC < 0$, então o Brasil apresentou o déficit de emissões de CO₂ incorporado no comércio Brasil-China. O nível de emissões em exportações líquidas pode ser influenciado pelo saldo comercial, em volume, entre os países, pela matriz energética em determinado país em relação a outros países, assim como pela posição do país na divisão internacional do trabalho (Grubb et al., 2022).

Por último, seguindo os mesmos princípios, podemos contabilizar as emissões agregadas de CO₂ incorporadas no comércio internacional dos dois países por:

$$EC_{Bra-RoW} = [e_B \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} L_{B-B} & L_{B-C} & L_{B-R} \\ L_{C-B} & L_{C-C} & L_{C-R} \\ L_{R-B} & L_{R-C} & L_{R-R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{B-C} + Y_{B-R} \\ Y_{C-C} + Y_{C-R} \\ Y_{R-C} + Y_{R-R} \end{bmatrix} = \\ = e_B L_{B-B} (Y_{B-C} + Y_{B-R}) + e_B L_{B-C} (Y_{C-C} + Y_{C-R}) + e_B L_{B-R} (Y_{R-B} + Y_{R-R}) \quad (7)$$

$$EC_{Chn-RoW} = [0 \ e_C \ 0] \begin{bmatrix} L_{B-B} & L_{B-C} & L_{B-R} \\ L_{C-B} & L_{C-C} & L_{C-R} \\ L_{R-B} & L_{R-C} & L_{R-R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{B-B} + Y_{B-R} \\ Y_{C-B} + Y_{C-R} \\ Y_{R-B} + Y_{R-R} \end{bmatrix} = \\ = e_C L_{C-B} (Y_{B-B} + Y_{B-R}) + e_C L_{C-C} (Y_{C-B} + Y_{C-R}) + e_C L_{C-R} (Y_{R-B} + Y_{R-R}) \quad (8)$$

onde são contabilizadas apenas as emissões de CO₂ geradas pela demanda de origem estrangeira. Portanto, estas métricas permitem-nos ter uma visão agregada sobre a tendência das emissões domésticas que são geradas para abastecer o mercado externo.

3.1 Base de dados

A análise é desenvolvida sobre a última versão da matriz de insumo produto inter-regional (ICIO, sigla em inglês) da OCDE. Esta base de dados oferece informações de 45 setores, classificados de

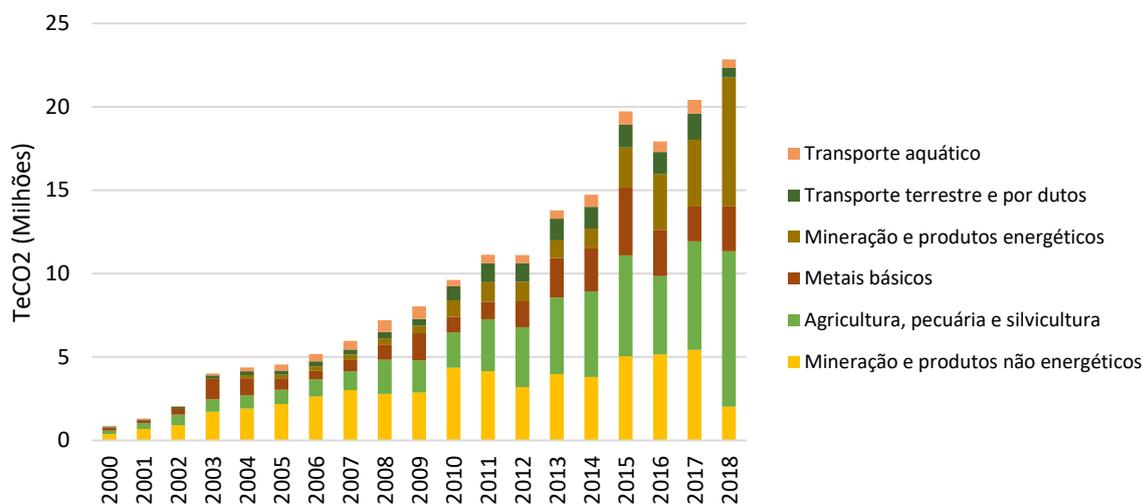
acordo com a ISIC Rev. 4, para 76 países e uma região agregada como Resto do Mundo (RoW, em inglês) (OCDE, 2023), no período de 2000 a 2018. Este período é marcado por eventos globais importantes, como o *boom* das commodities via expansão da economia asiática de 2003 a 2008, e o cenário de recessão global após a crise financeira de 2008 (Bielschowski, 2009; O’Neill, 2011). Diante disso, os dados que estão em valor corrente (US\$) foram deflacionados para preços de 2018, com base no deflator implícito do PIB americano (WD, 2024), a fim de corrigir distorções e comparar valores no tempo.

O banco de dados da OCDE disponibiliza os dados de emissões de carbono incorporadas no comércio internacional, ao nível setorial da ICIO. Desta forma, utilizamos o indicador de “Emissões de carbono incorporada na demanda final doméstica e externa” para cada setor. As emissões de carbono (CO₂) de cada setor/país são estimadas por meio da atribuição das emissões de CO₂ provenientes da combustão de combustíveis fósseis às indústrias e famílias residentes. A queima de combustível pelas indústrias e famílias residentes inclui as emissões do consumo de combustível nos territórios nacionais e estrangeiros (Yamano, Guilhoto, 2018).

3. Discussão dos resultados

A evolução da relação comercial entre Brasil e China repercutiu sobre a estrutura de exportações brasileira no século XXI (Bertola, Ocampo, 2012), e que tem efeito direto e indireto sobre a dimensão ambiental. A Figura 5 apresenta os setores com maior média de emissões de carbono, no período de 2000 a 2018, no comércio entre Brasil e China.

Figura 5 – Emissões de CO₂ incorporada nas exportações brutas setoriais da China para o Brasil (2000-2018)

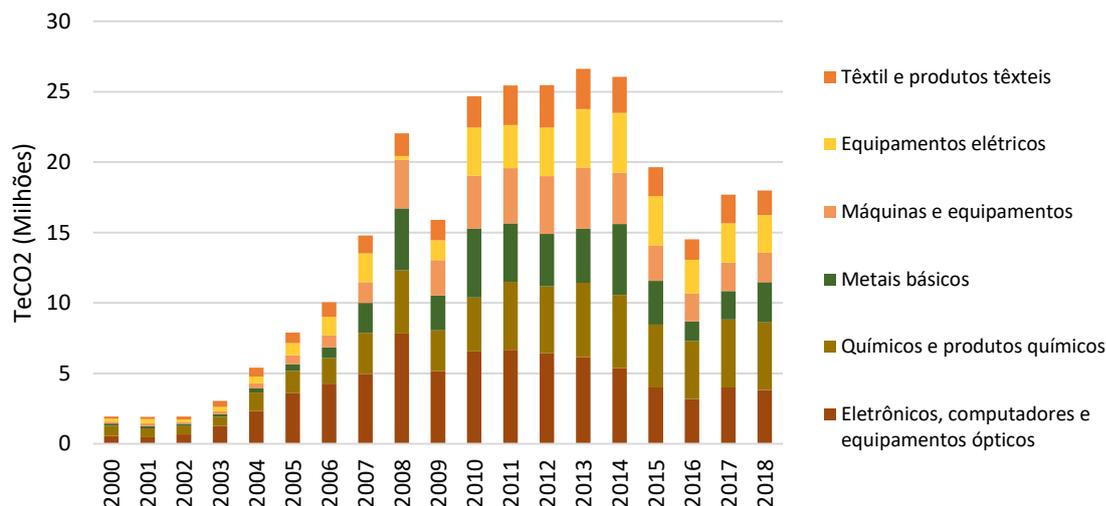


Fonte: Elaboração própria com dados da OCDE-ICIO.

A partir da Figura 5, nota-se que o padrão de emissões segue a mesma tendência do padrão comercial e do volume de exportações, com tendência crescente e maior participação dos setores da indústria extrativa, agropecuária e de transportes. A participação expressiva de setores da indústria básica e extrativa nas emissões incorporada nas exportações brasileira com destino a China, indicam potenciais desafios para reduzir a intensidade de emissões da pauta exportadora brasileira, pois estes setores são considerados potencialmente prejudiciais e complexos para a mitigação emissões (Grubb et al., 2022). Adicionalmente, no que se refere a descarbonização produtiva, a matriz de transportes brasileira é considerada um ponto chave, pois o país tem como principal modal, para o transporte de carga e de mobilidade urbana, os automóveis (BNDES, 2021).

A Figura 6 apresenta a evolução das emissões incorporadas nas exportações da China para o Brasil. A produção do setor industrial e manufatureiro, assim como de eletrônicos, demonstram seu peso sobre as emissões de CO₂ chinês. O processo de desenvolvimento industrial chinês tem se intensificado ao longo deste século, alcançando resultados surpreendentes. A extensa dimensão territorial do país se apresenta como um fator que impulsionou a diversificação manufatureira local⁶, e que aliados os mecanismos de integração regional, visa a consolidação de uma grande base manufatureira global de bens eletrônicos na China (Medeiros, 2006).

Figura 6 – Emissões de CO₂ incorporadas nas exportações brutas setoriais da China para o Brasil (2000-2018)



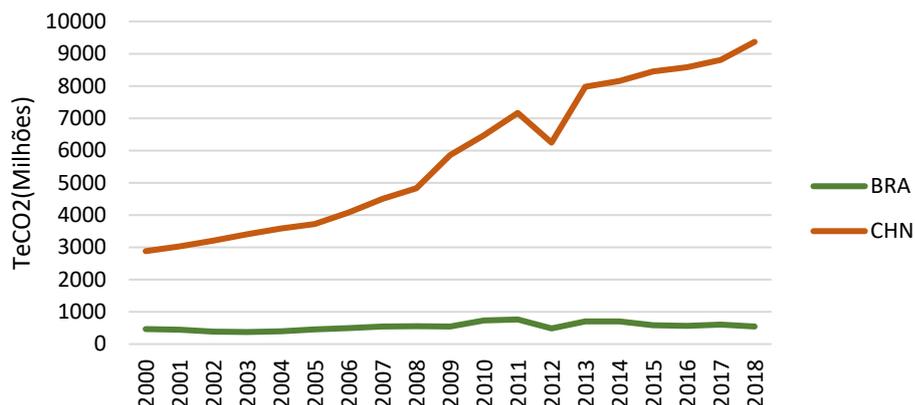
Fonte: Elaboração própria com dados da OCDE-ICIO.

Entretanto, como mostra a Figura 6, o processo de diversificação produtiva chinesa pode ser traduzido em aumento nos níveis de emissões de CO₂ destes setores, e que são incorporados pelo Brasil por meio do consumo. Portanto, com base nestes resultados, podemos inferir que o padrão de emissões de CO₂ associadas ao comércio entre Brasil e China reflete um padrão do tipo “Norte-Sul” (Bertola, Ocampo, 2012), mas, entre países em desenvolvimento, sendo o Brasil o grande exportador de emissões em bens primários e a China de emissões em bens industrializados.

Em seguida, a Figura 7 apresenta a evolução das emissões de CO₂ associadas ao consumo final, doméstico e externo, do Brasil e da China, e a Figura 8 apresenta as emissões dos países apenas para o consumo externo.

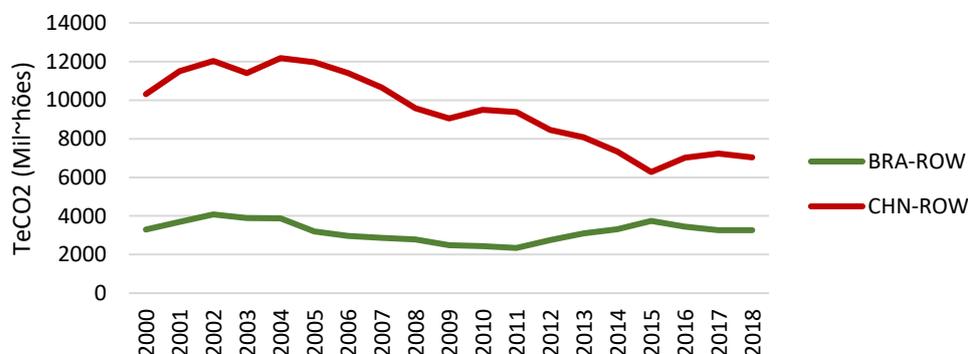
⁶ Por exemplo, Pearl River, localizado ao Sul da China, é caracterizada por uma indústria intensiva em mão de obra, ao passo que Yangtze River, próximo à Xangai são as áreas de bens intensivos em capital (Gereffi, 2011).

Figura 7 – Emissões de CO2 incorporadas no consumo final (TC)



Fonte: Elaboração própria com dados da OCDE-ICIO.

Figura 8 – Emissões de CO2 incorporadas no comércio internacional

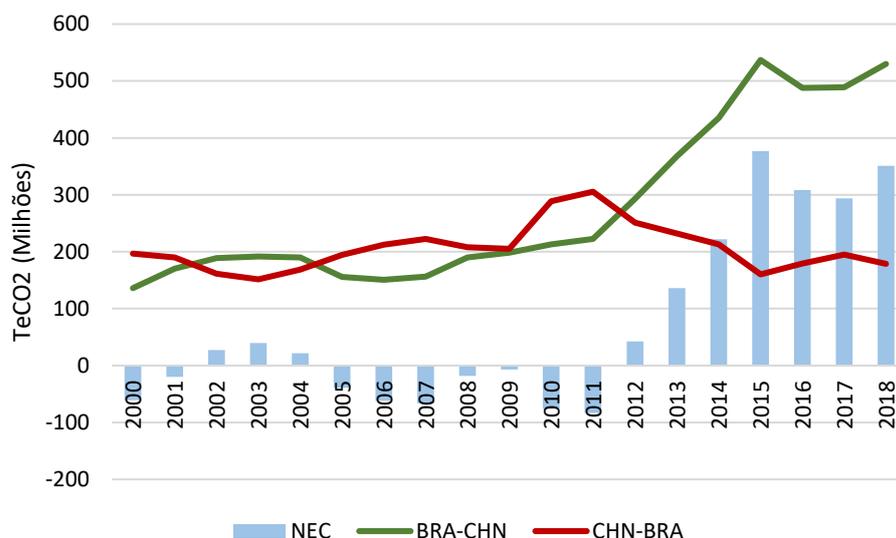


Em termos de emissões baseada no consumo, a Figura 7 e 8 apontam para aspectos relacionados *market-share* global, que determina o volume de produção e de exportações dos países com o mundo, assim como questões associadas as dimensões do mercado doméstico (Figura 7). Em ambos os casos, o Brasil mantém-se em uma posição estável e favorável em relação à China, com menor nível de emissões de CO2 agregado. Porém, lembramos que o indicador contabiliza apenas as emissões geradas pela queima de combustíveis fósseis, o que, no caso do Brasil, desconsidera uma parte significativa das emissões totais do país (SEEG, 2021).

Ao compararmos as Figuras 7 e 8, podemos observar o peso do consumo doméstico na trajetória das emissões de CO2 setoriais Chinesas, que apresentaram tendência de queda ao longo do período quando consideramos apenas as emissões para o comércio internacional (Figura 8). A China é considerada o maior consumidor de energia do mundo e que além da forte dependência do carvão mineral, é o segundo maior consumidor de petróleo e quarto para o gás natural (Oliveira et al. 2020), o que tornam a China uma grande potência poluidora, com índices elevados de emissões absolutas.

Por fim, a Figura 9 apresenta as emissões de CO2 incorporadas nas exportações de Brasil e China, e o saldo das exportações líquidas (NEC) de emissões entre os países. Estes resultados retratam o padrão de emissões vinculado ao padrão de comércio entre Brasil e China. Como mostra a Figura 9, o nível de emissões está diretamente relacionado ao volume de exportações, de forma que é possível observar esta correspondência quando comparada com a Figura 1.

Figura 9 – Emissões de CO2 incorporadas nas exportações e indicador NEC: Brasil - China



Fonte: Elaboração própria com dados da OECD-ICIO.

Em linhas gerais, no período de 2004 a 2011, o Brasil apresentou déficit de emissões com a China (NEC < 0), mas que a partir de 2012 ele foi revertido em superávit (NEC > 0), apresentando tendência crescente até o final do período. Em outras palavras, temos que o Brasil tem acumulado emissões no comércio com a China, produzindo mais emissões do que consumindo nesta relação comercial.

Para além da questão de volume exportado – que, como observado, os países apresentam divergências em termos de escala e composição – para interpretar os resultados, é importante considerar que a evolução da indústria chinesa tem sido caracterizada pela maior participação em etapas intermediárias, com transição para cadeias globais de valor mais complexas (Lalane, 2022). Nestas condições, a China tem tido a capacidade de se inserir em melhores posições nas cadeias e reduzindo suas emissões baseadas na produção (Li et al., 2022). Além disso, apesar do histórico de negligências às questões ambientais e acordos internacionais, desde 2007 tem sido observado um esforço da China para a diversificação da matriz energética⁷, que busca migrar para fontes renováveis de energia (GÓMEZ et al. 2012), e demonstram seu potencial de transição para uma economia de baixo carbono (Lo, 2014; Zandonai, 2015).

4. Considerações finais e implicações de política

Este estudo teve como principal objetivo analisar o padrão de emissões de CO2 associado ao padrão de comércio entre Brasil e China, no período de 2000 a 2018. Por meio de uma modelagem insumo-produto aplicada sobre a matriz multirregional OCDE-ICIO, foi possível estimar as emissões de CO2 dos fluxos de bens e serviços de 45 setores. Este tipo de análise é importante pois permite mensurar as relações comerciais em termos de emissões de CO2; identificar os setores mais intensivos em emissões; mapear as transferências de emissões em um contexto de produção comércio globalizado; e, assim, contribuir para a elaboração de políticas comerciais aderentes ao contexto de crise climática.

Em geral, os resultados demonstraram que a relação de comércio bilateral entre Brasil e China se enquadram no padrão “Norte-Sul”, sendo o Brasil o grande ofertante de matérias primas e bens *commodities*, em troca de bens industrializados e de maior valor agregado. Este padrão também se reproduz na dimensão ambiental, que tem os setores da indústria extrativa, agropecuária e de transportes como os mais emissores nas exportações do Brasil com destino a China, enquanto os

⁷ 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).

setores da indústria manufatureira e máquinas e equipamentos como os mais emissores nas exportações da China para o Brasil.

Por meio dos indicadores de emissões no consumo final (doméstico e estrangeiro) e de comércio internacional (estrangeiro), observamos que o mercado doméstico chinês tem um peso bastante significativo em suas emissões totais, o que ressalta o perfil do país como um dos maiores consumidores de energia não-renovável do mundo. Entretanto, quando observamos os resultados do indicador de exportações líquidas de CO₂ (NEC), temos que, desde 2012, o saldo comercial brasileiro é traduzido em superavit de emissões, o que significa que o Brasil tem um excedente de emissões em sua relação com a China. Este resultado deve estar associado, principalmente, ao volume de exportações, como também a eficiência energética e intensidade de emissões dos setores exportadores brasileiros, que são intensificados pelo setor de transportes. Por último, é importante salientar que os indicadores não consideram as emissões geradas por mudança de uso da terra e desmatamento, que são fontes significativas de emissões brasileiras.

Portanto, com base nesta análise e considerando a parceria comercial estratégica entre Brasil e China, assim como seus respectivos padrões de emissões de CO₂, destacamos o princípio de responsabilidade por emissões compartilhada como referência para o desenho de políticas comerciais entre os países. Observa-se que princípio de responsabilidade compartilhada é o único capaz de considerar os efeitos indiretos de “transbordamento” e transferências de emissões de carbono via comércio internacional, além de incentivar um tipo de relação positiva mútua entre as partes. Nesse sentido, entende-se que é possível alinhar a elaboração de políticas comerciais bilaterais com metas de compensação de emissões – por exemplo, por meio de transferência tecnológica, investimentos em programas de mitigação, apoio em pesquisa e desenvolvimento, inovação etc. –, utilizando dos indicadores de emissões incorporadas no comércio como ferramenta de embasamento dos acordos.

Estas considerações reforçam a importância de uma visão ampla para a elaboração de políticas no contexto das mudanças climáticas. Para futuras investigações e melhorias do estudo, pretendemos explorar os resultados em um modelo econométrico, a fim de tentar isolar os efeitos de tempo e de volume das exportações da variação das emissões associadas ao comércio, e observar com mais precisão a intensidade de emissões dos setores exportadores.

5. Referências

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, 2012. p. 13–60.

BÉRTOLA, L.; OCAMPO, J. A. *The economic development of Latin America since independence*. OUP Oxford, 2012.

BIELSCHOWSKY, R. *Sesenta años de la CEPAL: estructuralismo y neoestructuralismo*. 2009.

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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.09.017>.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *BNDES + Mobilidade Urbana.*, 2021.

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

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.

CW, Climatewatch, 2024. Disponível em: climatewatchdata.org.

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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2018.04.004>.

DUAN, Y., JI, T., YU, T. Reassessing pollution haven effect in global value chains. *J. Clean. Prod.* 284, 124705, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124705>.

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.

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.

GRUBB, Michael et al. Carbon leakage, consumption, and trade. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 47, p. 753-795, 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.

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.

IPCC. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, 2023.

JENKINS, R. China and Brazil: Economic Impacts of a Growing Relationship, in: *Journal of Current Chinese Affairs*, 41, 1, 21-47, 2012.

KORSBAKKEN, J. I., PETERS, G. P.; ANDREW, R. M. Uncertainties around reductions in China's coal use and CO₂ emissions, *Nature Climate Change*, 6, 687-690, 2016.

LALANNE, A. Size, Position and Length in Value Chains in Latin America, 2021. Disponível em: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1888>. Acesso em: 13 fev. 2023.

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

LENZEN, Manfred; MURRAY, Joy. Conceptualising environmental responsibility. *Ecological economics*, v. 70, n. 2, p. 261-270, 2010.

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. DOI: <https://doi.org/10.2307/1927837>.

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.

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.

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

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.

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

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.

OCAMPO, J. A. Latin America's growth and equity frustrations during structural reforms. *Journal of Economic Perspectives*, v. 18, n. 2, p. 67-88, 2004

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

OECD. *OECD Inter-Country Input-Output Database*, <http://oe.cd/icio>, 2023.

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.

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.

RODRIGUES, J.; DOMINGOS, T.; GILJUM, S.; SCHNEIDER, F. Designing an indicator of environmental responsibility. *Ecol. Econ.*, 59, 256–266, 2006.

SANTARCÁNGELO, J., SCHTEINGART, D., PORTA, F. Cadenas globales de Valor: una mirada critica a una nueva forma de pensar el desarrollo. *CEC Año 4, Nº 7*, pp. 99- 129, 2017.

SENNES, R. U.; BARBOSA, A. F. China-Brasil: uma relação multifacetada e dinâmica. In: FUNAG – FUNDAÇÃO ALEXANDRE DE GUSMÃO (Org.). *Brasil e China no reordenamento das relações internacionais: desafios e oportunidades*. Brasília: Funag, 2011.

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

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.

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)*, 2015.

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.

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.

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

WITS, *World integrated Solutions*, World Bank, 2024.

WOOD, Richard et al. Beyond peak emission transfers: historical impacts of globalization and future impacts of climate policies on international emission transfers. *Climate Policy*, v. 20, n. sup1, p. S14-S27, 2020.

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

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

YAMANO, Norihiko; GUILHOTO, Joaquim. CO2 emissions embodied in international trade and domestic final demand: Methodology and results using the OECD Inter-Country Input-Output Database. 2020.

ZANDONAI, R. Os BRICS na arena de mitigação das mudanças climáticas. In: Anais I Seminário Internacional de Ciência Política, Porto Alegre, 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.

ZHANG, Boya et al. Emission embodied in international trade and its responsibility from the perspective of global value chain: progress, trends, and challenges. Sustainability, v. 12, n. 8, p. 3097, 2020.