

COMÉRCIO INTERNACIONAL E EMISSÕES: UMA ANÁLISE INTERTEMPORAL DE INSUMO-PRODUTO¹

Vinícius Almeida Vale²
Fernando Salgueiro Perobelli³

Resumo: O problema dos GEE e as mudanças climáticas relacionadas são importantes pontos de debate nas economias internacionais. Assim, o presente trabalho busca fazer uma investigação empírica sobre a responsabilidade pelas emissões e o comércio internacional para 27 países da União Europeia e 13 países selecionados para o período de 1995 a 2009 através da base de dados do Projeto WIOD. Para tal, são calculados coeficientes de intensidade de emissões de CO₂ e indicadores de produção e consumo com relação às emissões de CO₂. Isso permite observar, a partir dos saldos comerciais globais de emissões de CO₂ incorporadas no comércio internacional, por exemplo, um comportamento antagônico entre os Estados Unidos e China. Portanto, a discussão do artigo está em linha com questões envolvendo o princípio do consumidor e o princípio do produtor e responsabilidades dos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Palavras-chave: Emissões de CO₂; Comércio Internacional; Modelo Interregional de Insumo-Produto.

Abstract: The problem of greenhouse gases and climate change related are important points of debate in international economies. Thus, this paper seeks to make an empirical investigation about the responsibility for emissions and international trade for 27 countries of European Union and 13 selected countries for the period 1995-2009 through the database of WIOD Project. Coefficients of intensity of CO₂ emissions are calculated and indicators of production and consumption related with CO₂ emissions. It is possible to see through the trade balances global of CO₂ emissions embodied in international trade, for example, an antagonistic behavior between the United States and China. Therefore, the discussion of the article is in line with issues involving the principle consumer and the principle of producer and responsibilities of developed and developing countries.

Key-Words: CO₂ emissions; International trade; Multi-regional input-output model.

Área ANPEC: 11 - Economia Agrícola e do Meio Ambiente.

Classificação JEL: C67; Q56

¹ Os autores agradecem o financiamento do CNPq e FAPEMIG para realização deste trabalho.

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Universidade Federal de Juiz de Fora – PPGEA/FE/UFJF. Email: vinicius.a.vale@gmail.com.

³ Professor do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada- PPGEA/FE/UFJF e da Faculdade de Economia - UFJF, Bolsista de Produtividade CNPq – 1D e Pesquisador Mineiro - FAPEMIG.

1. INTRODUÇÃO

Um dos pontos de debate nas economias internacionais é o problema dos gases de efeito estufa (GEE) e as mudanças climáticas relacionadas. As discussões sobre o tema começam a ganhar o cenário mundial a partir do protocolo assinado em Quioto (1997) onde um acordo internacional foi alcançado para redução das emissões globais para a atmosfera (MUNKSGAARD e PEDERSEN, 2001).

No contexto de mitigações, muitas políticas controladoras são baseadas na redução das emissões domésticas de GEE, o que ignora, por exemplo, as emissões incorporadas nos fluxos de comércio internacional (WYCKOFF e ROOP, 1994). E, como apresentado por Wiebe *et al.* (2012), acordos internacionais para a redução das emissões de GEE, como o alcançado na Conferência sobre Mudança Climática das Nações Unidas (2009), protocolo de Quioto e Esquema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS)⁴, são calculadas com base nas emissões produzidas dentro das fronteiras geográficas do país.

Desta forma, a fim de diminuir as emissões de GEE é necessário investigar não só as principais fontes de emissões, mas também a localização de tais emissões e os setores envolvidos, sendo a atribuição das responsabilidades pelas emissões um importante passo (WYCKOFF e ROOP, 1994; SHIN, 1998; NEUMAYER, 2000; MUNKSGAARD e PEDERSEN, 2001; FERNG, 2003; BASTIANONI *et al.*, 2004; WIEBE *et al.*, 2012).

Além disso, diante da expansão e globalização acelerada das economias mundiais, a poluição incorporada nos fluxos de comércio torna-se importante para mensuração das responsabilidades pelas emissões, pois o uso de bens finais e insumos de produção que um país necessita não são necessariamente produzidos pelo próprio país (FERNG, 2003). Assim, há uma crescente preocupação com o problema de fuga do carbono⁵ e conseqüentemente muitos estudos têm levado em consideração a estimativa das emissões incorporadas no comércio internacional através, por exemplo, da análise de insumo-produto (*e.g.* WYCKOFF e ROOP, 1994; SCHAEFFER e LEAL DE SÁ, 1996; BATTJES *et al.*, 1998; LENZEN, 1998; MACHADO *et al.*, 2001; MUNKSGAARD e PEDERSEN, 2001).

Diante de tal discussão, é importante incorporar as questões envolvendo a responsabilidade pelas emissões e o comércio internacional. Assim, o presente trabalho busca fazer uma investigação empírica sobre tais responsabilidades e o comércio internacional para 27 países da União Europeia e 13 países selecionados para o período de 1995 a 2009.

O objetivo geral é mensurar as emissões incorporadas no comércio internacional e analisar as interações, em termos regionais, entre tais países. Para tal, os seguintes objetivos específicos são propostos: a) observar, através da incorporação das emissões de CO₂ no comércio internacional, se há concentração das emissões e se esse comportamento é mantido no decorrer dos anos (1995 a 2009); b) mensurar as emissões de CO₂ incorporadas na produção e no consumo; e c) mensurar as emissões de CO₂ incorporada nas exportações e importações de cada país e, portanto verificar se o comércio internacional tem sido usado como forma de reduzir as emissões por parte dos países (fenômeno denominado de *carbon leakage*);

Com intuito de contextualizar o problema de pesquisa em tela e alcançar tais objetivos propostos, o presente trabalho está dividido, além desta breve introdução em mais cinco seções. A segunda seção traz uma revisão de literatura. A terceira apresenta a base de dados. A quarta seção faz uma descrição dos métodos. A quinta apresenta os resultados empíricos. E, por fim, a sexta seção traz algumas considerações finais.

⁴ Sigla em língua inglesa: *The European Union Emissions Trading System*.

⁵ Do original em inglês *carbono leakage*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção objetiva apresentar as discussões presentes na literatura, sem esgotar o tema, que relacionam meio ambiente, emissões de GEE e comércio internacional.

2.1. Responsabilidades pelas Emissões

Esforços de pesquisa têm levado em consideração o consumo sustentável. Entretanto, segundo Tukker *et al.* (2006) embora tenha sido possível observar algum progresso, iniciativas reais para um consumo mais sustentável não se materializam. Desta forma, os esforços para desenvolver sistemas de consumo mais eficientes e eficazes acabam por ser ainda desconhecidos e com pouco avanço prático.

Assim, formuladores de política buscam uma melhor compreensão de como os impactos ambientais estão relacionados às escolhas e às atividades específicas de consumo. E apesar de algumas certezas, Tukker *et al.* (2006) alegam a existência de inúmeras lacunas não preenchidas, tal como os impactos ambientais do consumo nos países desenvolvidos sobre os parceiros comerciais, especialmente nos países em desenvolvimento.

O pressuposto por trás disso, segundo Wiedmann *et al.* (2007) é que dado a crescente demanda no mundo por parte dos países desenvolvidos por bens e serviços importados temos, como consequência, um aumento da poluição e das emissões de GEE no processo produtivo em outros países.

Desta forma, no contexto de emissões, Bastianoni *et al.* (2004) argumentam que a fim de diminuir as emissões de GEE é necessário investigar não só as principais fontes de emissões, mas também a localização de tais emissões e os setores envolvidos. Assim, para os autores a atribuição das responsabilidades pelas emissões é importante para garantir a redução de GEE. E de forma similar, há uma vasta literatura que aborda tal questão (e.g. WYCKOFF e ROOP, 1994; KONDO *et al.*, 1998; EDER e NARODOSLAWSKY, 1999; MUNKSGAARD e PEDERSEN, 2001; FERNG, 2003; WIEBE *et al.*, 2012).

No contexto de alocar responsabilidade pelos GEE, Ferng (2003) sugere que um sistema de repartição de encargos justo envolve a escolha adequada do princípio de responsabilidade. E, Shin (1998) argumenta que com intuito de evitar o advento do estado globalmente indesejável (*i.e.* tragédia dos comuns), é preciso uma coordenação internacional e regulamentação. Desta forma, o autor defende a questão da partilha dos encargos e, em particular, a participação de países em desenvolvimento.

Diante das diferentes atribuições das responsabilidades, cabe ressaltar que as discussões sobre os direitos de emissão e repartição do ônus começaram a partir de um princípio de responsabilidade territorial (e.g. SHIN, 1998; GUPTA e BHANDARI, 1999).

Uma primeira abordagem considerando o princípio da responsabilidade territorial, proposta pelo IPCC (*The Intergovernmental Panel on Climate Change*), sugere apenas a aplicação de uma abordagem geográfica, onde somente as emissões diretamente envolvidas em cada setor e dentro das fronteiras do próprio país são contabilizadas (FERNG, 2003; BASTIANONI *et al.*, 2004). Entretanto, tal como abordado por Bastianoni *et al.* (2004), se considerarmos um país importador de bens transformados (sem transformá-los dentro dos limites do país) podemos observar uma situação paradoxal de um alto padrão de vida juntamente com um nível muito baixo de emissões de GEE.

Apesar das diferentes formas de atribuir os direitos de emissões, Neumayer (2000) defende a igualdade de emissões *per capita* com responsabilidade histórica como uma regra geral para a atribuição do direito de emitir GEE, pois para o autor de certa forma exige que os responsáveis pelas emissões do passado sejam os responsáveis pelas maiores reduções no futuro.

Também conhecido como dívida natural, o termo de responsabilidade histórica foi atribuído dessa forma por Smith (1991). A partir das tendências de emissões de GEE, Smith (1991) apresenta três questões importantes: “Quanto deve ser feito para mudar essas tendências?”, “Que projetos devem ser desenvolvidos e onde?” e “Quem deve pagar?”.

Com intuito de responder tais questões, o autor argumenta que a responsabilidade das nações seriam melhor indicadas se as emissões históricas fossem levadas em consideração. Assim, Smith (1991) atribui essa responsabilidade histórica como uma dívida natural, onde tal dívida representa esforços para manter altas taxas de crescimento econômico por meio de empréstimos da capacidade de assimilação do meio ambiente.

Abordando também a questão da responsabilidade histórica, Shin (1998) defende que os países desenvolvidos devem tomar a liderança no combate às emissões de GEE, pois tais países são responsáveis por 63% do total de emissões de CO₂ e considerando as emissões cumulativas são responsáveis por mais de 90% do combustível fóssil acumulado no mundo. Entretanto, Shin (1998) apresenta outros importantes determinantes do aumento de emissões, tal como: participação da população, atividade econômica e consumo energético.

Além dos autores mencionados, Gupta e Bhandari (1999) argumentam que apesar das negociações internacionais estarem em curso para controlar a emissão de GEE, pouco tem sido feito em termos de compromissos e implementação. Os autores creditam que a falta de progresso se dá por uma falta de definição da partilha internacional.

Assim, com intuito de superar tal problema, Gupta e Bhandari (1999) exploram o princípio da igualdade de direitos de emissões *per capita*, adequando-os para os cortes de emissões necessários, usando a intensidade energética e a eficiência do uso de energia como ferramentas. Tal princípio é usado sob a justificativa que fornece uma base mais equitativa para a atribuição de direitos de emissão e dado que as emissões são geradas por seres humanos, o uso de um indivíduo como unidade de conta é aceitável.

Entretanto, Munksgaard e Pedersen (2001) argumentam que emissões de CO₂ por unidade de PIB *per capita* pode levar a conclusões errôneas quando se trabalha em um contexto com economias abertas. E assim, a fim de alcançar políticas mais eficazes e justas, outras abordagens têm sido propostas na literatura, principalmente as que distinguem a responsabilidade do consumidor e a responsabilidade do produtor, como alternativa ao princípio da responsabilidade territorial e as que concentram na degradação do meio ambiente em geral (*e.g.* KONDO *et al.*, 1998; MUNKSGAARD e PEDERSEN, 2001; FERNG, 2003; BASTIANONI *et al.*, 2004; WIEBE *et al.*, 2012).

Segundo Munksgaard e Pedersen (2001) pelo princípio contábil da produção, o produtor é responsável pelas emissões de CO₂ provenientes da produção de energia, bens e serviços. E cabe ressaltar que tal princípio é o método de contabilização das emissões do Protocolo de Quioto. Entretanto, tal como apresentado pelos autores, uma desvantagem de tal princípio resume-se à falta de distinção entre exportação e consumo interno.

Assim, de forma contrária ao princípio utilizado no Protocolo de Quioto, outros conceitos têm sido propostos para assegurar a responsabilidade do consumidor de bens e serviços pelas emissões causadas durante o processo de produção (MUNKSGAARD e PEDERSEN, 2001; WIEDMANN *et al.*, 2007).

O princípio contábil do consumo, o consumidor é responsável pelas emissões de CO₂ provenientes da produção de energia, bens e serviços. Desta forma, as emissões de CO₂ estão relacionadas ao uso de bens finais e serviços, mesmo que sejam importados de países estrangeiros (MUNKSGAARD e PEDERSEN, 2001).

Diante disso, temos que as responsabilidades dos produtores e dos consumidores contemplam dois princípios contábeis extremos. Entretanto, tal como exposto por WIEDMANN *et al.* (2007) existem sugestões para quantificar as responsabilidades de forma

partilhada, ou seja, alocar o impacto ambiental causado pelas emissões durante a produção de um determinado produto a todos os agentes envolvidos (e.g. BASTIANONI *et al.*, 2004).

No contexto da globalização, a emissão de CO₂ nacional (direta) difere da responsabilidade de emissão de CO₂ nacional em termos de princípio de responsabilidade e estimativas resultantes (FERNG, 2003). Assim, segundo o autor ao fazer a partilha da responsabilidade pelas emissões antropogênicas de CO₂ entre países participantes de acordos como o Protocolo de Quioto (respeitam o princípio da responsabilidade territorial), podemos nos deparar com problema conhecido como *carbon leakage* (i.e. fuga de carbono).

Assim, com intuito de obter êxito no contexto da redução das emissões de GEE, Ferng (2003) propõe duas perspectivas, princípio do benefício e déficit ecológico. Tais perspectivas, conforme exposto pelo autor, são importantes para compartilhar a responsabilidade de reduzir emissões antropogênicas de CO₂.

A ideia por trás do primeiro princípio consiste no fato que há benefícios na produção e no consumo, tal como geração de renda e aumento de padrões de vida, respectivamente. E assim ambos devem compartilhar a responsabilidade pelas emissões antropogênicas de CO₂ em excesso e assim ajudar a desencorajar o fenômeno *carbon leakage* e ao mesmo tempo acelerar o declínio da concentração de CO₂ na atmosfera (FERNG, 2003).

Com relação à segunda perspectiva, déficit ecológico, Ferng (2003) define que tal conceito decorre da análise da pegada ecológica, iniciada por Rees e Wackernagel no início de 1990. Segundo o autor, o déficit ecológico é utilizado como uma metáfora para transmitir três argumentos: primeiro, que a responsabilidade de compensar déficits financeiros aplica-se também ao déficit de assimilação do meio ambiente; segundo refere-se ao uso da ideia de autossuficiência como critério de repartição da responsabilidade pela redução das emissões; e o terceiro e último, refere-se ao uso do déficit ecológico para enfatizar que equilibrar as fontes e sumidouros⁶ de carbono é importante para combater o aquecimento global.

Entretanto, como abordado por Ferng (2003), os problemas de poluição estão além das fronteiras políticas e nacionais. Desta forma, ser autossuficiente em termos de utilização de recursos em escala local e regional não é suficiente, pois bens finais e insumos de produção geralmente podem ser obtidos através do comércio. Assim, é importante ter em mente que o comércio não pode servir como uma solução para o aquecimento global, pois podem levar a uma deficiência global na capacidade de sequestro de carbono.

2.2. Emissões e Comércio Internacional

Apesar de toda a discussão quanto às responsabilidades pelas emissões de GEE pelos diferentes princípios é importante levar em consideração o comércio internacional e toda a discussão de responsabilidade pelas emissões de GEE que o envolve.

A poluição incorporada nos fluxos de comércio torna-se importante devido à expansão e globalização acelerada das economias mundiais, onde a demanda pode ser suprida através do comércio internacional. Desta forma, o uso de princípios de responsabilidade que não consideram o comércio internacional captam apenas as emissões nacionais de CO₂ diretas (FERNG, 2003).

Entretanto, conforme Wyckoff e Roop (1994), muitas políticas controladoras são baseadas na redução das emissões domésticas de GEE, o que ignora, por exemplo, as emissões de CO₂ incorporadas nos fluxos de comércio internacional. E, como abordado por Ferng (2003), com o aumento do comércio internacional e migração da produção para além das fronteiras nacionais, as questões ambientais relacionadas com a responsabilidade pela

⁶ Reservatório natural ou artificial que se acumula e armazena algum composto químico que contém carbono.

degradação ambiental ganham força, e ao invés de se concentrar exclusivamente nas emissões domésticas é preciso levar em consideração, por exemplo, o consumo.

Assim, a incorporação de CO₂ no comércio internacional é muito importante para a discussão quanto à atribuição da responsabilidade pela emissão de CO₂. Com a incorporação de CO₂ no comércio internacional é possível discutir questões como: Quem é responsável pela emissão de CO₂ quando temos a produção de bens intensivos em CO₂ para exportação? O consumidor ou produtor? (MUNKSGAARD e PEDERSEN, 2001).

E, considerando o comércio internacional, Antweiler (1996) introduz o conceito de poluição em termos de comércio e aborda outra importante questão: Quais países ganham ou perdem em termos ambientais ao se envolver no comércio internacional?

Como mencionado anteriormente, diante do processo de globalização, os países desenvolvidos podem atingir as suas metas de redução de emissões através do comércio internacional e/ou pelo deslocamento da sua produção intensiva em emissões de GEE para outros países, continuando com a degradação do meio ambiente (WYCKOFF e ROOP, 1994; KONDO *et al.*, 1998; FERNG, 2003; WIEBE *et al.*, 2012).

Assim, há uma crescente preocupação com o problema da fuga de carbono e consequentemente muitos estudos têm levado em consideração a estimativa das emissões incorporadas no comércio internacional através da análise de insumo-produto (*e.g.* WYCKOFF e ROOP, 1994; MUNKSGAARD e PEDERSEN, 2001; WIEBE *et al.*, 2012).

Desta forma, dentro do contexto da atribuição das responsabilidades, nos últimos anos tem havido uma série de tentativas de desenvolver uma abordagem mais abrangente para a questão de medir o uso de recursos e geração de poluição incorporada nos fluxos de comércio, incluindo as contribuições que combinam técnicas de insumo-produto e análise de pegada ecológica - *Ecological Footprint Analysis* – (TURNER *et al.*, 2007).

2.3. Pegada Ecológica e Insumo-Produto

Segundo Wiedmann e Lenzen (2007) inicialmente desenvolvida e descrita por Rees e Wackernagel, pegada ecológica é uma estimativa da proporção da produtividade biológica e capacidade de assimilação efetivamente apropriada pelo consumo de uma determinada população ou a atividade ao longo de um determinado período de tempo. E para Turner *et al.* (2007), pegada ecológica mede a demanda humana sobre bioprodutividade, avaliando a quantidade de terra biologicamente produtiva e área marítima necessária para manter o consumo de uma determinada população humana.

De forma geral, a análise da pegada ecológica estima os recursos que são usados, ou seja, necessários para sustentar o consumo, a produção, ou outros tipos de atividade. E expressa esses requisitos usando unidades de área (FERNG, 2003).

O pressuposto por trás disso corresponde ao fato de que todo indivíduo, cidade ou país impactam a Terra, pois consomem os produtos e serviços da natureza. Assim, Wackernagel *et al.* (1999) descrevem que o impacto ecológico corresponde a quantidade de natureza que ocupam para viver. Denominado assim como capital natural, esse é a quantidade que os indivíduos precisam e usam da natureza para se sustentar e consequentemente quando mensuráveis são denominados de pegadas ecológicas. (WACKERNAGEL *et al.*, 1999).

Ademais, segundo Wiedmann e Lenzen (2007) o indicador de pegada ecológica é uma técnica utilizada para informar diferentes públicos sobre o desenvolvimento sustentável e é frequentemente retratado como uma ferramenta educacional. E, para Wiedmann *et al.* (2007), a pegada ecológica é um indicador que tenta capturar a demanda da humanidade por recursos naturais, seguindo o princípio denominado de responsabilidade do consumidor.

Entretanto, apesar da técnica de pegada ecológica levar em consideração a responsabilidade do consumidor e de todo fundamento envolvido, Turner *et al.* (2007) argumenta que o conceito de pegada ecológica capta os impactos incorporados no comércio apenas de uma forma rudimentar. Segundo o autor a técnica é prática para calcular o consumo de recursos, entretanto há deficiências fundamentais na metodologia. De modo mais geral, Turner *et al.* (2007) argumenta que as cadeias comerciais não são identificadas, não sendo possível captar a intensidade da pegada ecológica incorporada de forma direta e indireta nos fluxos comerciais de bens e serviços.

Assim, tal como sugerido por Wiedmann *et al.* (2007), as pegadas ecológicas devem ser estimadas baseado em um modelo de insumo-produto multi-regional (MRIO - *Multi-Region Input-Output*). Ademais os autores argumentam que o método é mais apropriado e preciso para alocar a poluição total e recursos de uso embutidos nas commodities negociadas, dado o princípio de responsabilidade escolhido.

A análise de insumo-produto é baseada em torno de um conjunto de contas econômicas desagregadas setorialmente, tendo como principal função a quantificação da interdependência de diferentes atividades dentro da economia (MILLER e BLAIR, 2009). As matrizes de insumo-produto são geralmente construídas em unidades monetárias para fins contábeis nacionais. No entanto, Leontief (1970) faz uma exposição ambiental inicial utilizando unidades físicas.

Diante do crescente número de estudos, Turner *et al.* (2007) descrevem a combinação do uso de técnicas de insumo-produto e análise de pegada ecológica, defendendo que a adoção de uma abordagem multi-regional de insumo-produto é o método mais adequado para calcular as pegadas ecológicas. Entretanto, esse artigo é apenas a primeira parte de um trabalho elaborado pelos autores. Na segunda parte, Wiedmann *et al.*, (2007) apresentam uma revisão da literatura sobre os recentes desenvolvimentos metodológicos e empíricos, ou seja, revisam as aplicações de insumo-produto existentes para estimar os impactos ambientais incorporados no comércio.

Segundo Ferng (2003) o método de insumo-produto é apropriado para abordar as questões envolvendo energia, pois apresentam uma estrutura e capacidade de incorporação dos fluxos de energia associado aos fluxos de mercadorias.

Desta forma, é possível observar que nos últimos anos, modelos mais sofisticados e elaborados têm sido utilizados com base em estatísticas ambientais incorporadas no comércio através do uso do modelo de insumo-produto multi-regional.

Entretanto, apesar do surgimento de modelos mais sofisticados, segundo Wiedmann *et al.* (2007) ainda há uma ausência de como proceder de forma ideal com o cálculo das Pegadas Ecológicas a partir do uso de modelos de insumo-produto multi-regional.

Assim, em termos de discussões envolvendo emissões de GEE, a estimativa das emissões antropogênicas de CO₂ nos estágios de produção e consumo vem cada vez mais se destacando e a análise de insumo-produto se mostra como um importante método (*e.g.* PROOPS, 1988; COMMON e SALMA, 1992; MUNKSGAARD e PEDERSEN, 2001).

2.4. Aplicações Empíricas

O uso de modelos de insumo-produto apresenta vantagem relativa por estimar o que aconteceu no passado próximo com a maior desagregação setorial possível, de modo a proporcionar uma base relativamente detalhada e extensa para julgar se deve ou não considerar o carbono incorporado no comércio internacional como um fator importante nas discussões de políticas de redução de emissões (WYCKOFF e ROOP, 1994).

Diante de tais considerações, algumas aplicações, como a feita pelos próprios autores (*i.e.* Wyckoff e Roop, 1994) contribuem para o entendimento e desenvolvimento de modelos que são capazes de explicar a poluição incorporada no comércio.

Com auxílio das matrizes de insumo-produto e conseqüentemente captando as emissões de carbono em termos setoriais, associados de forma direta e indireta com a produção, Wyckoff e Roop (1994) estimam a quantidade de carbono incorporado nas importações de produtos manufaturados para os seis maiores países da OCDE (Canadá, França, Alemanha, Japão, Reino Unido e EUA), com intuito de determinar se a importação de produtos intensivos em carbono é um problema que deve ser considerado nas atuais propostas de redução das emissões de GEE. Segundo os autores, a ideia por trás de tal estudo é que o nível de emissões de um país pode ser artificialmente baixo, pois quantidades significativas de carbono podem estar incorporadas na importação de produtos.

Com intuito de analisar de forma mais detalhada a estrutura de emissão de CO₂ japonesa, Kondo *et al.* (1998) afirmam que as importações para satisfazer as demandas internas e as exportações japonesa para satisfazer as demandas externas devem ser incluídas na análise. Para tal, os autores utilizam tabelas de insumo-produto para os anos de 1975, 1980, 1985 e 1990 com intuito de estimarem as quantidades de CO₂ incorporadas nas importações e exportações do Japão.

No contexto de comércio internacional, Sánchez-Chóliz e Duarte (2004) argumentam que um importante fator de desenvolvimento econômico é a abertura das economias, pois as relações comerciais de um país com os outros são importantes determinantes de sua evolução econômica. Assim, os autores abordam os efeitos que as relações internacionais têm sobre a situação ambiental de um país (Espanha) e que parte da poluição é gerada por suas próprias necessidades ou exigências externas. Para investigar as emissões de CO₂ incorporadas no comércio internacional espanhol utilizam do método de insumo-produto.

Os resultados e conclusões expostos por Sánchez-Chóliz e Duarte (2004) ilustram a importância de mensurar as emissões incorporadas no comércio internacional, pois é possível observar, por exemplo, que a Espanha além de contribuir com as emissões incorporadas no seu processo produtivo, importa grandes quantidades de emissões em produtos acabados para satisfazer o seu consumo.

No contexto das discussões sobre contabilidade dos GEE e da atribuição das responsabilidades, Munksgaard e Pedersen (2001) abordam a seguinte questão: “Quem é responsável pela emissão de CO₂ na atmosfera - o consumidor ou o produtor?”.

Para abordar essa questão do princípio da responsabilidade do consumidor e o princípio da responsabilidade do produtor, Munksgaard e Pedersen (2001) trabalham com a contabilização das emissões nacionais de CO₂ em economias abertas, ou seja, consideram a incorporação de CO₂ no comércio internacional.

Diante do objetivo de ampliar a participação na redução das emissões antropogênicas de CO₂, Ferng (2003) aborda questões envolvendo o princípio da responsabilidade. Para tal, o autor utiliza do modelo de insumo-produto com intuito de obter um sistema de contabilidade que combina princípios seletivos de responsabilidade através de um sistema de ponderação e combinações que correspondem à estrutura econômica específica e padrão de consumo de cada um dos países participantes. Em outras palavras, utiliza do modelo de insumo-produto para incorporar duas perspectivas de responsabilidade, o princípio do benefício e o déficit ecológico.

De forma a apresentar um embasamento empírico para a discussão quanto a responsabilidade pelas emissões, Wiebe *et al.* (2012) utiliza um modelo ambiental estendido de insumo-produto, com abertura para 48 setores, 53 países e inclusão de emissões de CO₂

e outras diversas categorias de recursos. Através de tal modelo, denominado de GRAM⁷, os autores estimam a quantidade de emissões de carbono incorporadas no comércio internacional para cada ano entre 1995 e 2005. Desta forma, os resultados incluem todas as origens e destinos de emissões, a fim de que sejam atribuídas a países que consomem os produtos que incorporam tais emissões.

As emissões incorporadas no comércio internacional são resultados do uso da modelagem MRIO em conjunto com a intensidade de uso de carbono. Assim, como abordado pelos próprios autores, o principal resultado do modelo é a obtenção de uma matriz de comércio de carbono por ano e desagregada de acordo com os 48 setores e 53 países. E a partir desta matriz, balanças comerciais de carbono, consumo e produção baseada em emissões de carbono são calculadas.

3. BASE DE DADOS

A estrutura de dados usada no presente trabalho consiste do “Banco de Dados Mundial de Insumo-Produto” (WIOD - *World Input-Output Database*). E como abordado por Timmer (2012), a base de dados foi desenvolvida para analisar os efeitos da globalização sobre os padrões de comércio, pressões ambientais e desenvolvimento socioeconômico através de um vasto conjunto de países. Além disso, Dietzenbacher *et al.* (2013) delimitam que o projeto WIOD foi desenvolvido para criar um banco de dados abrangente e assim permitir abordar tanto a busca por indicadores pelos formuladores de política e a necessidade por observações para testar e quantificar as teorias de pesquisadores acadêmicos.

Desta forma, como abordado pelos autores, o banco de dados permite levar em consideração questões relacionadas com aspectos socioeconômicos (*e.g.* emprego ou criação de valor adicionado), bem como aspectos ambientais (*e.g.* uso de energia, emissões de gases de efeito estufa ou uso de água).

Diante do projeto WIOD, a estrutura de dados do presente trabalho consiste das Tabelas de Insumo-Produto para 40 países⁸ (27 países da UE e outros 13 países selecionados) mais o restante do mundo para o período de 1995 a 2009. Sendo importante salientar que tais tabelas apresentam uma abertura para 35 setores produtivos.

Este trabalho também utiliza as emissões atmosféricas de CO₂ (em mil toneladas) para os mesmos 40 países selecionados e com a mesma abrangência de tempo e desagregação setorial que as tabelas de insumo-produto.

4. METODOLOGIA

Como apresentado por Wiebe *et al.* (2012) duas abordagens são utilizadas para o cálculo das emissões de carbono incorporadas no comércio internacional, análise do ciclo de vida (LCA) e técnicas de insumo-produto (IP). Entretanto, para fins do presente trabalho, a metodologia a ser utilizada envolve o uso das técnicas de IP.

Assim, o conceito, a representação do modelo e suas ferramentas de análise são apresentados na presente seção.

⁷ Sigla em língua inglesa: *The Global Resource Accounting Model*.

⁸ Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Brasil, Bulgária, Canada, China, Chipre, Coreia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Índia, Indonésia, Irlanda, Itália, Japão, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, México, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Romênia, Rússia, Suécia, Taiwan e Turquia.

4.1. Modelos de Insumo-Produto (Modelo Conceitual e Representação)⁹

Um modelo de IP para uma dada região ou país específico descreve os fluxos monetários de bens e serviços entre as indústrias locais e com os segmentos da demanda final. A análise de IP tornou-se um dos métodos mais utilizados para se avaliar a economia, devido à sua possibilidade de agrupar informações sobre o processo de produção, consumo intermediário, distribuição de renda gerada, comércio exterior, pagamentos de salários e pagamentos de impostos (MILLER e BLAIR, 2009).

Com intuito de generalizar, o modelo, apresentado a seguir, é descrito considerando uma economia com um número genérico de n setores de atividade. Assim, é possível representar as relações matematicamente sob a ótica das vendas (linhas), da seguinte forma:

$$X_i = \sum_{j=1}^n Z_{ij} + C_i + I_i + G_i + E_{Xi} \quad i = 1, 2, 3 \dots n \quad (1)$$

em que: X_i = demanda total pela produção total do setor i ; Z_{ij} = produção do setor i , vendida como insumo intermediário ao setor j ; C_i = produção do setor i vendida às famílias; G_i = produção do setor i , vendida ao governo; I_i = produção do setor i , vendida para fins de investimento fixo; e E_{Xi} = produção do setor i , vendida ao exterior, isto é, exportação do setor i .

Entretanto, é possível imaginar um modelo inter-regional de insumo-produto que descreve os fluxos monetários de bens e serviços através da economia, considerando diferentes regiões. Desta forma, diante do fato do modelo inter-regional admitir várias regiões, uma versão do mesmo para o caso específico deste trabalho, isto é, de uma economia dividida em 41 regiões (27 países da EU, outros 13 países selecionados e o restante do mundo) é apresentada. Assim, para fins de notação e, conseqüentemente, apresentação da metodologia a ser utilizada, cada região (país) será representada por um número.

O modelo inter-regional de insumo-produto pode ser representado matematicamente, em notação matricial, como:

$$Z^* i_{41n} + Y^* = X^* \quad (2)$$

em que: Z^* matriz $41n \times 41n$ e representa a tabela de *insumo-produto inter-regional*; i_{41n} = vetor unitário (todos os seus elementos são iguais a 1) de ordem $41n \times 1$; Y^* = vetor $41n \times 1$ e representa as demandas finais das regiões; e X^* = vetor $41n \times 1$ e representa as produções setoriais das regiões.

Assim, os elementos da equação (2) podem ser constituídos da seguinte forma:

$$Z^* = \begin{bmatrix} Z_{ij}^{1,1} & Z_{ij}^{1,2} & \dots & Z_{ij}^{1,40} & Z_{ij}^{1,41} \\ Z_{ij}^{2,1} & Z_{ij}^{2,2} & \dots & Z_{ij}^{2,40} & Z_{ij}^{2,41} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ Z_{ij}^{41,1} & Z_{ij}^{41,2} & \dots & Z_{ij}^{41,40} & Z_{ij}^{41,41} \end{bmatrix} \quad Y^* = \begin{bmatrix} Y^1 \\ Y^2 \\ \vdots \\ Y^{41} \end{bmatrix} \quad X^* = \begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ \vdots \\ X^{41} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Onde a matriz insumo-produto inter-regional é representada por Z^* , e as submatrizes $Z_{ij}^{1,1}$, $Z_{ij}^{2,2}$ $Z_{ij}^{40,40}$ e $Z_{ij}^{41,41}$ são as sub-matrizes com os fluxos intra-regionais, e as demais sub-matrizes são referentes aos fluxos inter-regionais. Os componentes Y^1 , Y^2 Y^{40} e Y^{41} ; e X^1 , X^2 X^{40} e X^{41} são vetores $n \times 1$ contendo as demandas finais e os produtos setoriais, respectivamente, nas 41 regiões.

⁹ Baseado em Miller e Blair (2009) e Guilhoto (2011).

Entretanto, tal como apresentado por Guilhoto (2011), assumindo que os fluxos intermediários por unidade do produto final são fixos, é possível através dos fluxos intersetoriais (Z_{ij}) e da produção total (X_i), determinar o coeficiente técnico¹⁰.

E uma forma mais conveniente de escrever a equação (2) passa a ser incorporar a matriz de coeficientes técnicos (A^*):

$$A^* = Z^*(\hat{X}^*)^{-1} \quad (3)$$

Reescrevendo-a:

$$A^*X^* + Y^* = X^* \quad (4)$$

Os elementos de A^* se dividem em dois tipos: coeficientes técnicos intra-regionais e coeficientes técnicos inter-regionais.

Manipulando algebricamente a equação (4), temos:

$$X^* = B^*Y^* \quad (5)$$

onde $B^* = (I - A^*)^{-1}$ corresponde à matriz de Leontief para o modelo IR-IP.

Assim, podemos escrever o modelo inter-regional completo da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ \vdots \\ X^{40} \\ X^{41} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B^{1,1} & B^{1,2} & \dots & B^{1,40} & B^{1,41} \\ B^{2,1} & B^{2,2} & \dots & B^{2,40} & B^{2,41} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ B^{40,1} & B^{40,2} & \dots & B^{40,40} & B^{40,41} \\ B^{41,1} & B^{41,2} & \dots & B^{41,40} & B^{41,41} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y^1 \\ Y^2 \\ \vdots \\ Y^{40} \\ Y^{41} \end{bmatrix} \quad (6)$$

4.2. Modelagem das Emissões de CO₂¹¹

Após a descrição dos modelos de insumo-produto, tal como apresentado por Wiebe *et al.* (2012) é importante ressaltar a existência de duas formas de modelagem da emissões de CO₂ em tais modelos.

A primeira, sugerida por Leontief (1970) utiliza da técnica de adicionar uma linha na matriz de Leontief para o setor de poluição, fornecendo a poluição de todos os outros setores e tendo a poluição total como a soma da linha. A segunda forma de modelagem, utilizada por Peters e Hertwich e coautores, consiste em multiplicar a inversa de Leontief por uma matriz de coeficientes de intensidade de poluição (WIEBE *et al.*, 2012).

Segundo Wiebe *et al.* (2012), em termos de emissões totais, os dois métodos apresentam o mesmo resultado. Desta forma, o presente trabalho utiliza o segundo método para modelar as emissões de CO₂ no contexto das tabelas de insumo-produto.

Em tal modelagem é preciso ter em mente que as emissões de um setor referem-se o quanto de poluição em termos de CO₂ que um setor, em particular, emite para viabilizar sua produção. Por outro lado, os chamados coeficientes de intensidade de uso de CO₂ (CI's) correspondem à razão entre a emissão de CO₂ e o valor bruto da produção do setor i , isto é:

$$CI_i^n = \frac{ECO2_i^n}{VBP_i^n} \quad (7)$$

onde: CI_i^n é o coeficiente de intensidade de uso de CO₂ do setor i da região (país) n ; $ECO2_i^n$ é a emissão de CO₂ do setor i da região (país) n ; e VBP_i^n é o valor bruto da produção do setor i da região (país) n .

¹⁰ O coeficiente técnico a_{ij} expressa requerimento direto de insumo do setor i necessário para a produção de uma unidade monetária de produto do setor j .

¹¹ Baseado em Wiebe *et al.* (2012).

Ao permitir medir a intensidade em que o setor i emite de CO_2 , o CI possibilita classificar o setor como intensivo ou não no que tange a emissão de CO_2 .

O CI constitui o fator de ponderação da matriz de insumo-produto. Portanto, com intuito de captar melhor a dependência e a emissão de CO_2 entre os países, os coeficientes de intensidade são calculados e devidamente usados para ponderar a matriz de insumo-produto.

Para tanto, são feitas as seguintes operações algébricas:

$$\hat{E} = \begin{bmatrix} CI_i^1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & CI_i^{27} \end{bmatrix} \quad (8)$$

onde: CI_i^n é o coeficiente de intensidade de emissão de CO_2 do setor i da região (país) n ; e $\hat{E} = \text{diag}(A'_{n+1})$ é uma matriz diagonal cujos elementos da diagonal principal são coeficientes de intensidade de emissão de CO_2 .

Assim, a matriz \hat{E} , cujos elementos da diagonal principal são coeficientes de intensidade de emissão de CO_2 é utilizada para ponderar a matriz inversa de Leontief do modelo de insumo-produto, através de uma simples multiplicação:

$$B^n = B\hat{E} \quad (9)$$

onde B^n representa a matriz inversa de Leontief ponderada pelo consumo de energia elétrica.

Desta forma, o modelo de insumo-produto que utiliza da matriz de coeficiente de intensidade de poluição (emissão de CO_2) pode ser escrito na forma matricial da seguinte forma:

$$P = \hat{E}X = \hat{E}(I - A)^{-1}Y \quad (10)$$

Substituindo a equação (18) em (19) temos:

$$P = B^nY \quad (11)$$

onde P corresponde a matriz de poluição derivada da ponderação da inversa de Leontief pelo coeficiente de intensidade de poluição (emissão de CO_2) e as respectivas propriedades do modelo de insumo-produto.

5. ANÁLISE DESCRITIVA DOS RESULTADOS

A partir do modelo de insumo-produto e com a disponibilidade das emissões de CO_2 , é possível obter indicadores agregados para os diferentes países. Os Gráficos 1 a 4, por exemplo, apresentam os coeficientes de intensidade de emissões de CO_2 para os 40 países mais o restante do mundo e para os anos de 1995, 2000, 2005 e 2009, respectivamente.

Ao permitir medir a intensidade em que um país emite de CO_2 , o coeficiente de intensidade possibilita classificar o país como intensivo ou não no que tange às emissões de CO_2 , ou seja, observar o comportamento de cada um dos 40 países mais o restante do mundo.

Em termos de coeficientes de emissões de CO_2 para cada um dos países em questão, é possível observar alguns resultados importantes. Para o ano de 1995 (Gráfico 1), a Estônia (EST) apresentou o maior coeficiente de intensidade de emissão de CO_2 , aproximadamente 121,41 toneladas de CO_2 por uma unidade monetária de VBP. Seguido pela Bulgária (BGR), China (CHN), restante do mundo (RoW) e Rússia (RUS), com resultados iguais a aproximadamente 72,28, 59,28, 54,25 e 53,21, respectivamente.

Por outro lado, os menores coeficientes são observados para a Áustria (AUT), Suécia (SWE), Japão (JPN), Luxemburgo (LUX) e França (FRA), aproximadamente 6,35, 6,74, 6,77, 7,25 e 7,39, respectivamente.

Para o ano de 2000 (Gráfico 2), é possível observar que o mesmo conjunto de países, EST, BGR, RoW e RUS, com exceção da CHN, figuram entre o grupo de países com os cinco maiores coeficientes de intensidade de emissões de CO₂. Entretanto, a magnitude de intensidade é menor para a EST, BGR e RoW, e maior para RUS.

Ainda com relação à magnitude, é importante observar que a EST apresentou um decréscimo expressivo, passando de 121,41 toneladas de CO₂ por uma unidade monetária de VBP no ano de 1995 para aproximadamente 49,63 em 2000. Além disso, a CHN passou de 59,28 para 35,36, deixando de figurar entre o grupo dos 5 maiores países intensivos em emissões de CO₂. Por outro lado, a RUS com o aumento de seu coeficiente de intensidade de emissão de CO₂ passou a ocupar o posto de país com maior intensidade de emissão de CO₂. Em termos de menores coeficientes, o grupo de países, AUT, SWE, JPN, LUX e FRA, se mantêm, com variações apenas na magnitude de tais coeficientes.

Com relação ao ano de 2005 (Gráfico 3) é possível observar algumas alterações. Taiwan (TWN), antes não pertencente ao grupo de países com maiores coeficientes, passa a ser em 2005 o país com maior coeficiente de intensidade de emissão de CO₂, aproximadamente 37,08 toneladas de CO₂ por uma unidade monetária de VBP. Entretanto, tal posição se justifica mais pelo decréscimo dos coeficientes de intensidade dos outros países do que propriamente dito um aumento do coeficiente por parte de TWN, pois nos anos de 1995 e 2000 o país apresentou coeficientes aproximadamente iguais a 22,16 e 29,61, respectivamente e a RUS, por exemplo, antes com um coeficiente de intensidade de 85,51 no ano de 2000, passa a apresentar um coeficiente de 30,75 em 2005.

De forma semelhante ao observado para o ano de 2000, em termos de menores coeficientes, em 2005, o grupo de países, AUT, SWE, LUX e FRA, com exceção do JPN, se mantêm, com variação apenas na magnitude de tais coeficientes.

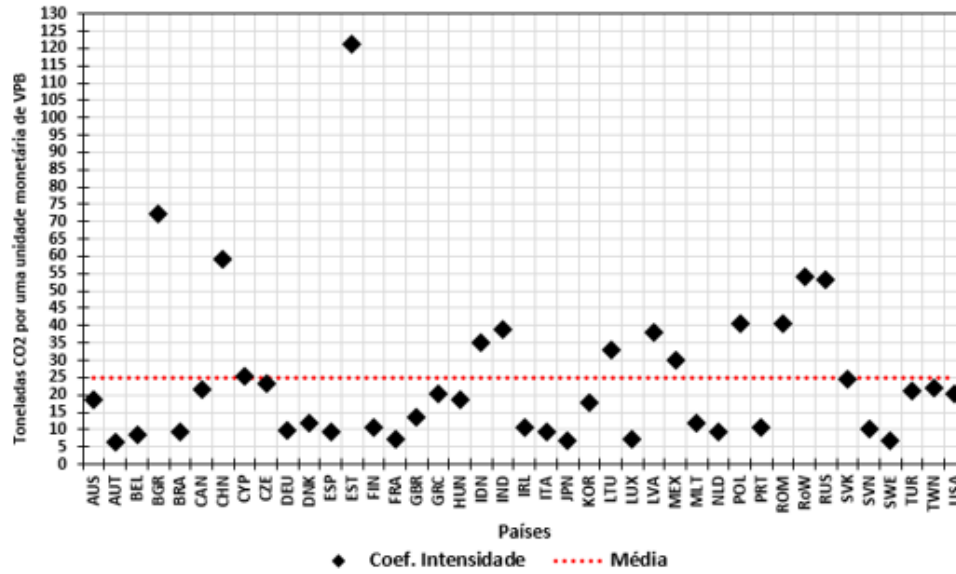
Assim como observado no ano de 2005, em 2009 (Gráfico 4) é possível verificar algumas alterações em termos de maiores coeficientes de intensidade de emissões de CO₂. Ademais, tal como em 2005, a alteração no *ranking* dos países se justifica mais pelo decréscimo dos coeficientes de outros países do que propriamente dito um aumento dos coeficientes dos países que passam a figurar entre os mais intensivos em emissões de CO₂.

Em termos de menores coeficientes, algo similar pode ser observado. A alteração no *ranking* dos países se justifica pelo decréscimo dos coeficientes de intensidade de países como Irlanda (IRL) e Itália (ITA). Assim, países que antes figuravam entre o grupo dos 5 menores intensivos em emissões de CO₂, como SWE e JPN, deixam de fazer parte desse grupo não por um aumento dos seus coeficientes e sim por um decréscimo no coeficiente de outros países. Desta forma, os menores coeficientes são observados para LUX, FRA, AUT, IRL e ITA, aproximadamente iguais a 2,05, 4,03, 4,38, 4,72 e 4,97, respectivamente.

Além dos coeficientes de intensidade de emissões de CO₂, modelos de insumo-produto, como exposto por Wiebe *et al.* (2012), permitem obter indicadores de produção e consumo das emissões de CO₂ para países e regiões, por exemplo, levando em conta as emissões que ocorrem ao longo das cadeias produtivas internacionais existentes.

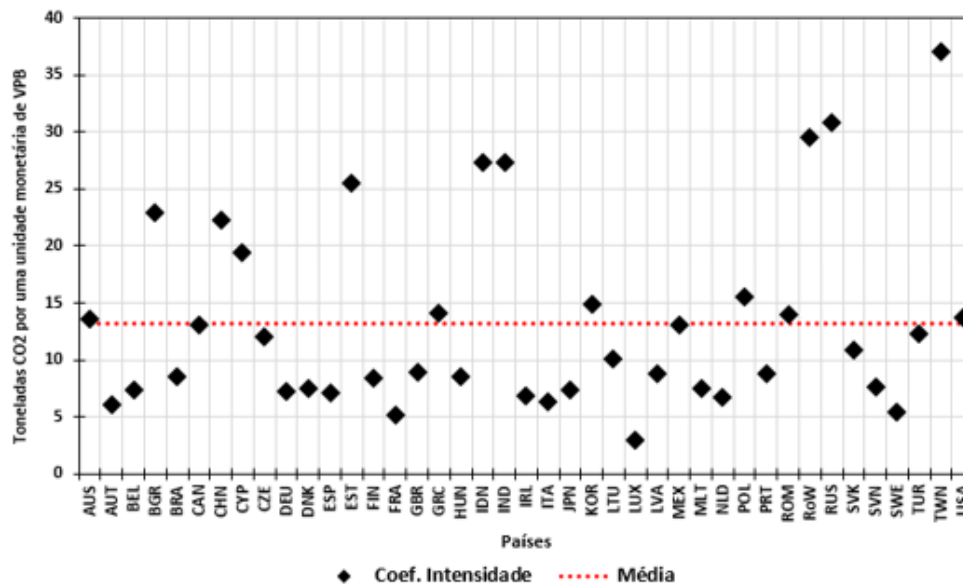
Assim, para o presente trabalho, os saldos comerciais globais de emissões de CO₂ incorporadas no comércio internacional são calculadas para os 40 países e os principais importadores líquidos e exportadores líquidos de emissões de CO₂ na economia mundial podem ser identificados. E, desta forma, como exposto por Wiebe *et al.* (2012), os resultados são capazes de mostrar até que ponto a demanda final de um país é responsável por emissões produzidas no exterior, por exemplo.

Gráfico 1– Coeficientes de intensidade de emissões de CO₂ – 1995



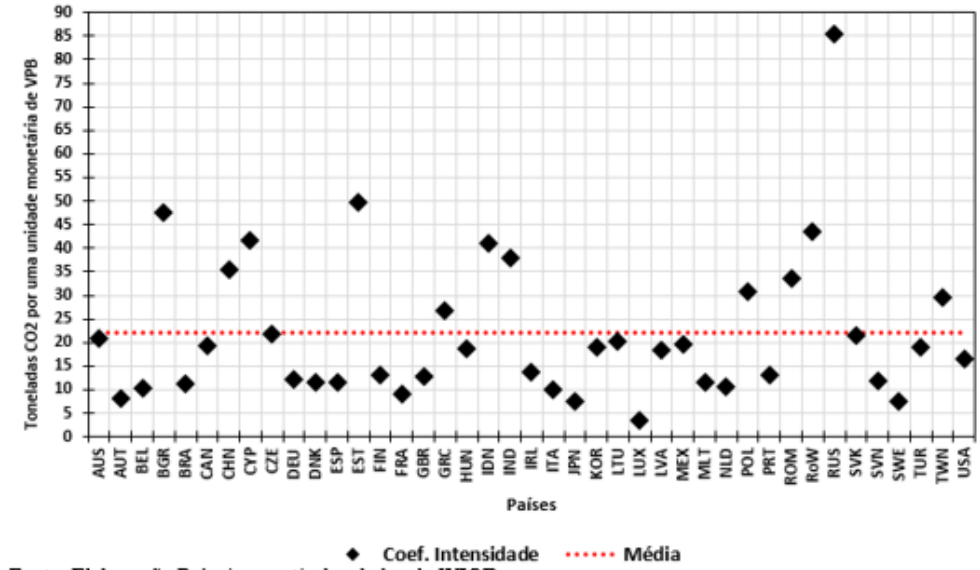
Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da WIOD.
 Nota: Média igual 24,8546 toneladas de CO₂ por uma unidade monetária de VBP.

Gráfico 3 – Coeficientes de intensidade de emissões de CO₂ – 2005



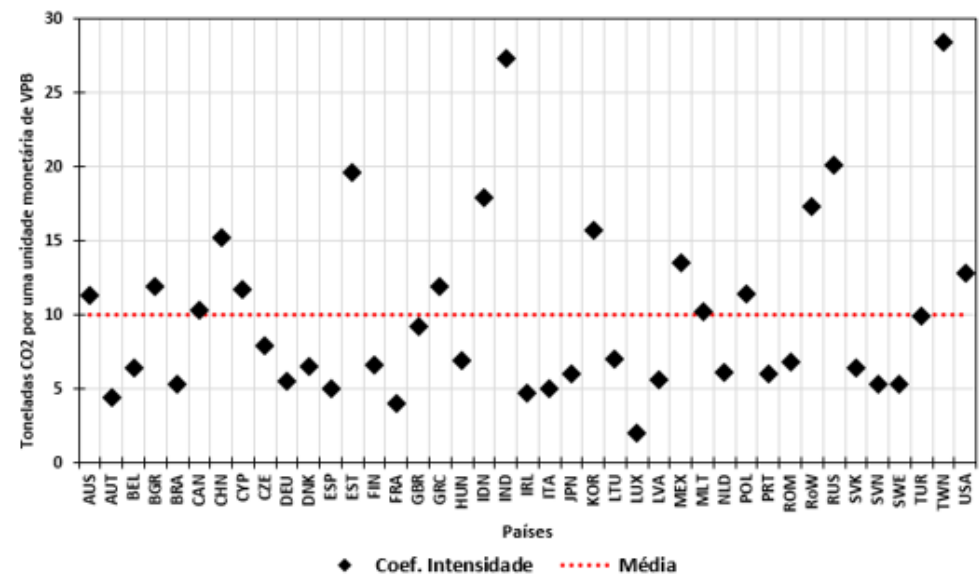
Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da WIOD.
 Nota: Média igual 13,2303 toneladas de CO₂ por uma unidade monetária de VBP.

Gráfico 2– Coeficientes de intensidade de emissões de CO₂ – 2000



Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da WIOD.
 Nota: Média igual 22,1142 toneladas de CO₂ por uma unidade monetária de VBP.

Gráfico 4 – Coeficientes de intensidade de emissões de CO₂ – 2009



Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da WIOD.
 Nota: Média igual 10,0208 toneladas de CO₂ por uma unidade monetária de VBP.

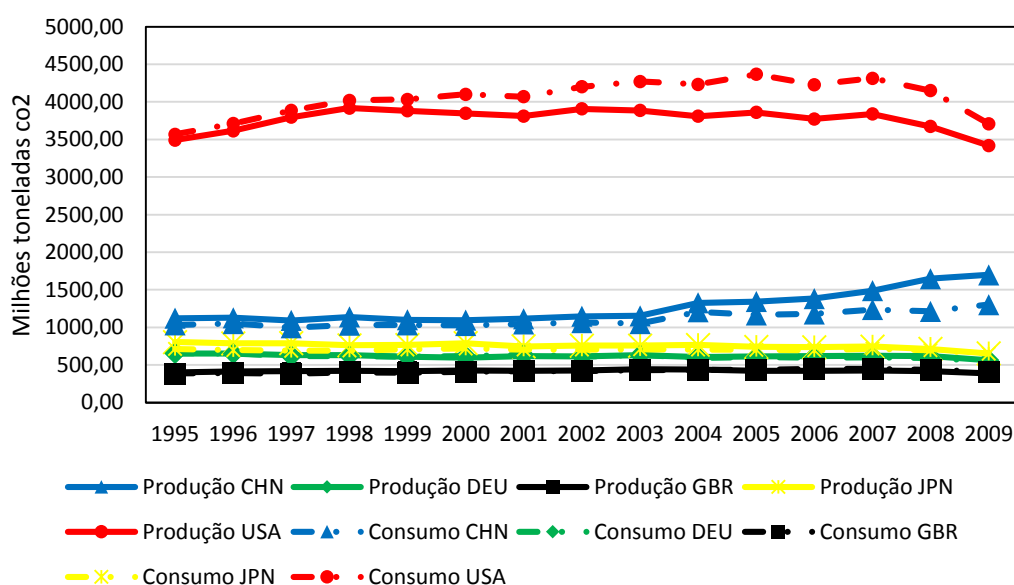
Para fins de comparação, o Gráfico 5 traz a evolução dos saldos comerciais globais de emissões de CO₂ incorporadas no comércio internacional, ou seja, emissões incorporadas no consumo (linhas pontilhadas) e na produção (linhas sólidas) para cinco países, China (CHN), Alemanha (DEU), Reino Unido (GBR), Estados Unidos da América (USA) e Japão (JPN).

Assim, diante do Gráfico 5 é possível perceber que a linha pontilhada está acima da linha sólida para USA, ou seja, as emissões de CO₂ incorporadas no consumo são maiores do que as emissões incorporadas na produção, para os anos de 1995 a 2009.

Por outro lado, para o GBR a linha sólida (produção) está acima da linha pontilhada (consumo) até o ano de 2004, passando à apresentar comportamento semelhante ao USA apenas a partir de 2005. E para a DEU, é possível observar um comportamento com oscilações entre os anos de 1995 a 2003 e a partir de 2004 um comportamento contrário ao apresentado pelo USA, com as emissões de CO₂ incorporadas na produção maiores do que as emissões incorporadas no consumo.

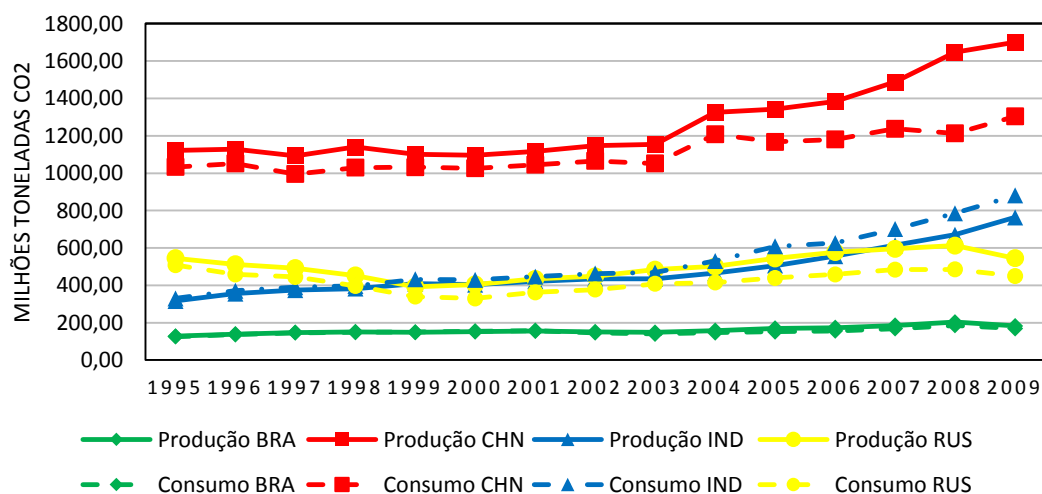
E, por fim, para o JPN e CHN é possível perceber que a linha sólida está acima da linha pontilhada, ou seja, de forma contrária ao comportamento apresentado pelo USA, para os dois países em questão as emissões de CO₂ incorporadas na produção são maiores do que as emissões incorporadas no consumo, para os anos de 1995 a 2009.

Gráfico 1 – Emissões de CO₂ incorporadas no consumo e na produção (Principais Economias)



Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da WIOD.

Gráfico 2 – Emissões de CO₂ incorporadas no consumo e na produção (BRIC)



Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da WIOD.

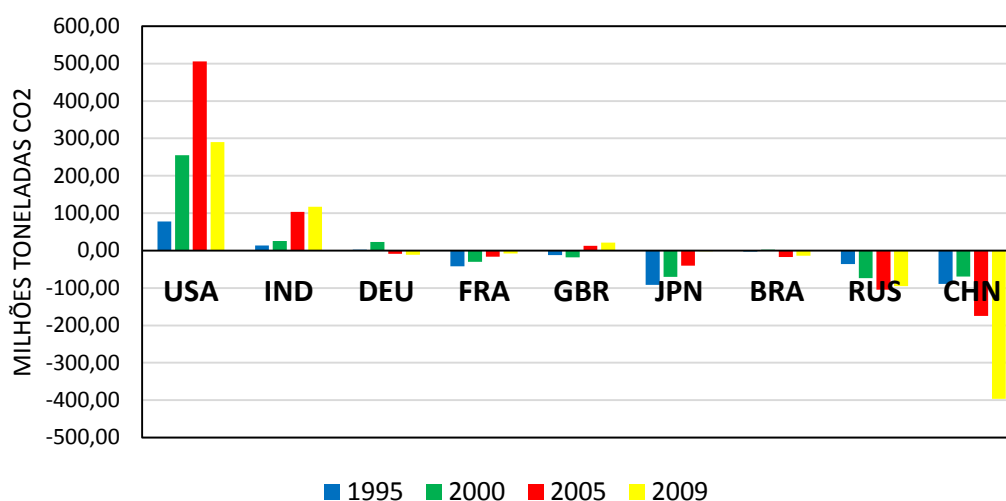
De forma análoga ao Gráfico 5, o Gráfico 6 traz a evolução dos saldos comerciais globais de emissões de CO₂ incorporadas no comércio internacional, ou seja, emissões incorporadas no consumo (linhas pontilhadas) e na produção (linhas sólidas), entretanto para uma gama de países diferentes, os BRIC, Brasil (BRA), Rússia (RUS), Índia (IND) e China (CHN).

Por um lado, a RUS apresenta comportamento semelhante ao apresentado pela CHN, com a linha sólida acima da linha pontilhada, ou seja, as emissões de CO₂ incorporadas na produção sendo maiores do que as emissões incorporadas no consumo, para os anos de 1995 a 2009. O BRA, por sua vez, apresenta uma linha sólida acima da linha pontilhada, para a maioria dos anos, com exceção de 1999 a 2001.

Entretanto, por outro lado, a IND apresenta um comportamento diferente, onde as emissões de CO₂ incorporadas no consumo são maiores do que as emissões incorporadas na produção, para os anos de 1995 a 2009.

O Gráfico 7 traz, para fins de comparação, resultados dos saldos comerciais para algumas das principais economias mundial, tal como Estados Unidos da América (USA), Alemanha (DEU), França (FRA), Reino Unido (GBR), Japão (JPN), Rússia (RUS), China (CHN), Brasil (BRA) e Índia (IND). Assim, por meio de tal gráfico é possível observar quais desses países são classificados como importadores líquidos de CO₂ e quais são classificados como exportadores líquidos de CO₂, para os anos de 1995, 2000, 2005 e 2009.

Gráfico 3 – Importador líquido e exportador líquido de emissões de CO₂



Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da WIOD.

O USA foi o país com maiores importações líquidas de CO₂ para os quatro anos em questão, sendo possível observar que os USA apresentou um comportamento de crescimento até 2005, mais do que triplicando suas importações líquidas de CO₂ e um decréscimo no ano de 2009.

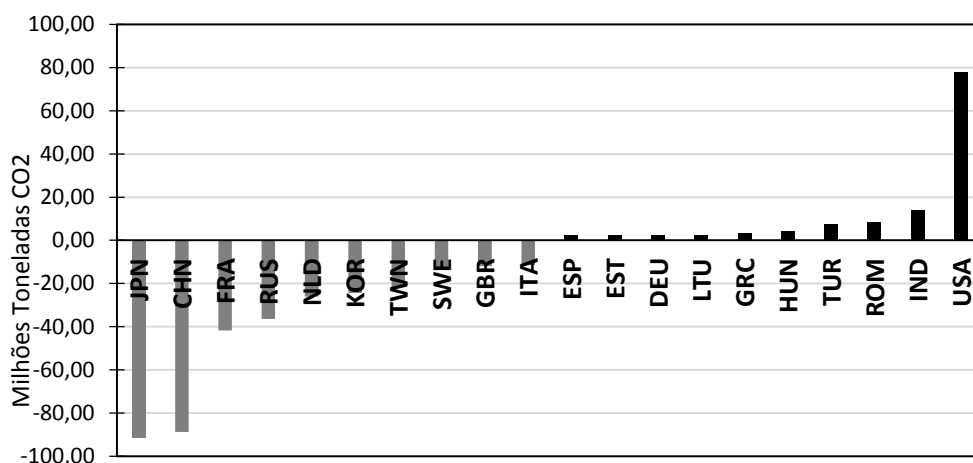
Por outro lado, o país com maiores exportações líquidas de CO₂ para o ano de 1995 foi o JPN, para o ano de 2000 a RUS e para os anos de 2005 e 2009 foi CHN. Ademais, é importante ressaltar o crescimento evidenciado pela CHN, onde a exportação líquida de CO₂ quadruplica quando se compara o ano de 1995 com o de 2009.

Com relação a classificação dos países quanto a exportadores ou importadores de CO₂, é possível observar USA e IND como importadores líquidos nos quatro anos (1995, 2000, 2005 e 2009). E, de forma contrária, FRA, JPN, RUS e CHN são classificados como exportadores líquidos nos quatro anos.

Entretanto, alguns países como BRA, DEU e GBR apresentam comportamentos diferentes ao longo dos anos. A DEU, por exemplo, nos dois primeiros anos, 1995 e 2000, é classificado como importadora líquida de CO₂, entretanto em 2005 e 2009 inverte e passa a apresentar um perfil de exportadora líquida de CO₂. Com relação a GBR, a trajetória se dá de forma contrária à DEU, sendo possível observar um perfil de exportadora líquida nos dois primeiros anos e importadora líquida nos dois últimos anos. Por fim, o BRA apresenta um comportamento de exportador líquido nos anos de 1995, 2005 e 2009, ou seja, sendo classificado como importador líquido apenas o ano de 2000.

Os Gráficos 8 e 9 trazem os 10 maiores importadores líquidos de emissões de CO₂ e os 10 maiores exportadores líquidos de emissões de CO₂, para os anos de 1995 e 2009, início e fim da amostra de dados do presente trabalho, respectivamente.

Gráfico 4 – Maiores importadores e exportadores líquidos de emissões de CO₂ incorporadas no comércio - 1995

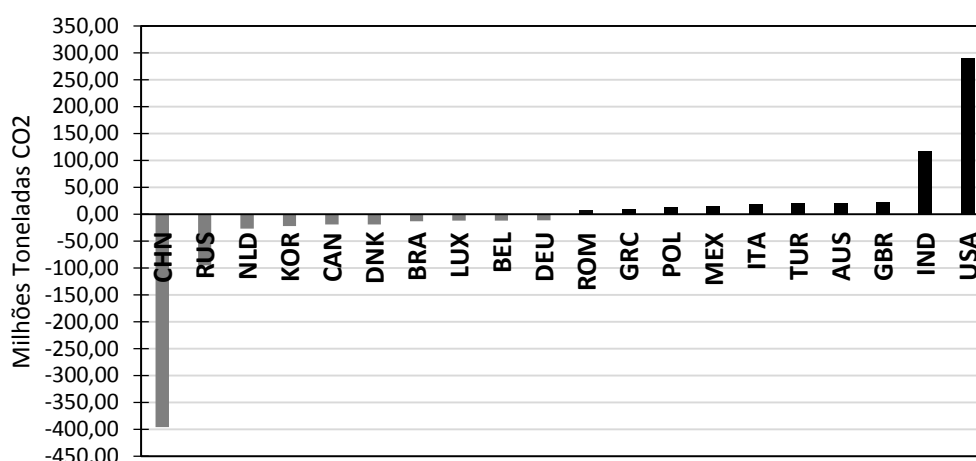


Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da WIOD.

Para o ano de 1995, os maiores exportadores líquidos foram Japão (JPN), China (CHN), França (FRA), Rússia (RUS), Holanda (NLD), Coreia (KOR), Taiwan (TWN), Suécia (SWE), Reino Unido (GBR) e Itália (ITA). Cabe ressaltar que JPN e CHN se destacam por apresentar um saldo mais que o dobro, por exemplo, da FRA, terceiro maior país importador líquido.

Em termos de importadores líquidos, os países com maiores saldos são Estados Unidos da América (USA), Índia (IND), Romênia (ROM), Turquia (TUR), Hungria (HUN), Grécia (GRC), Lituânia (LTU), Alemanha (DEU), Estônia (EST) e Espanha (ESP). Ademais, é importante destacar que o saldo dos USA foi mais que o triplo do saldo da IND, por exemplo, segundo maior país importador líquido.

Gráfico 9 – Maiores importadores e exportadores líquidos de emissões de CO₂ incorporadas no comércio - 2009



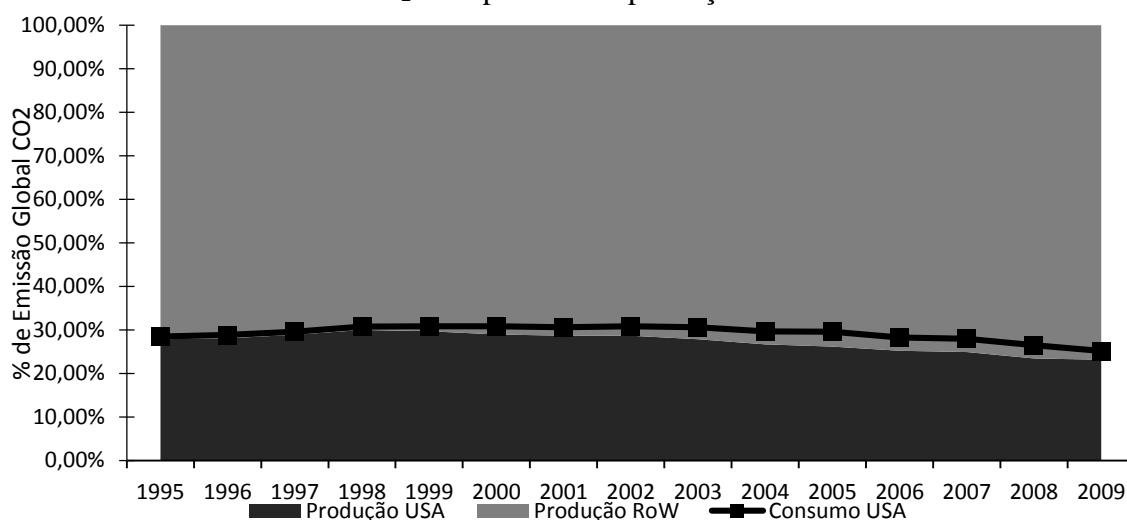
Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da WIOD.

Entretanto, para o ano de 2009 (Gráfico 11), os maiores exportadores líquidos são China (CHN), Rússia (RUS), Holanda (NLD), Coreia (KOR), Canadá (CAN), Dinamarca (DNK), Brasil (BRA), Luxemburgo (LUX), Bélgica (BEL) e Alemanha (DEU). Em comparação com o ano anterior (1995), um importante ponto a ser destacado consiste no aumento do saldo por parte da CHN, duplicando o saldo e passando a apresentar um saldo quatro vezes maior que o da RUS, por exemplo, segunda maior exportadora líquida.

Em termos de importadores líquidos, os países com maiores saldos são Estados Unidos da América (USA), Índia (IND), Reino Unido (GBR), Austrália (AUS), Turquia (TUR), Itália (ITA), México (MEX), Polônia (POL), Grécia (GRC) e Romênia (ROM). Assim, como ano de 1995 o maior destaque fica por conta do saldo dos USA, entretanto, com um decréscimo. Por outro lado, a IND assim como foi possível perceber para os períodos anteriores, apresentou um crescimento no seu saldo. Ademais, outro importante ponto a ser destacado consiste na presença do Reino Unido entre os 10 maiores importadores líquidos, pois em 1995 tal país pertencia ao grupo dos 10 maiores exportadores. Desta forma, é possível observar algumas alterações entre os comportamentos dos países.

Dado os importantes resultados, para fins de comparação, os Gráficos 10 e 11 trazem a evolução das emissões incorporadas no consumo e na produção para os Estados Unidos da América (USA) e China (CHN), respectivamente, em comparação com as emissões incorporadas na produção do restante do mundo.

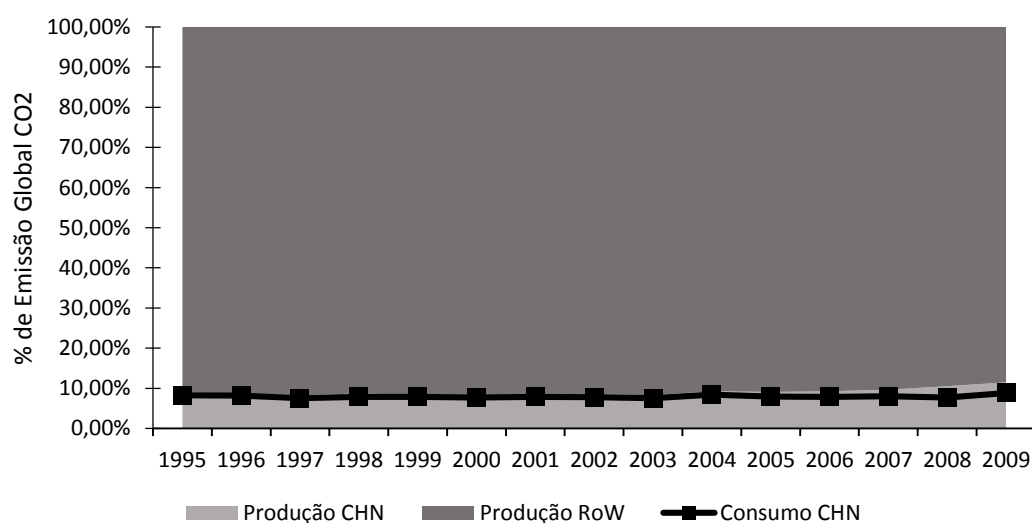
Gráfico 10 – Emissões de CO₂ incorporadas na produção e no consumo - USA e RoW



Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da WIOD.

Por meio do Gráfico 10, é possível observar que as emissões de CO₂ incorporadas na produção dos USA correspondem a aproximadamente 28%, no ano de 1995, das emissões incorporadas na produção de todo o mundo. Ademais, é possível observar um aumento até o ano de 2002, com uma participação de aproximadamente 30%. Entretanto, a partir de tal ano (2002), é possível perceber um decréscimo de tal participação. Um importante resultado consiste no fato de que os USA apresenta uma linha de emissões de CO₂ incorporada no consumo sempre acima da linha de produção do próprio país.

Gráfico 11 – Emissões de CO₂ incorporadas na produção e no consumo - CHN e RoW



Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da WIOD.

De forma análoga, por meio do Gráfico 11, é possível observar que as emissões de CO₂ incorporadas na produção da CHN correspondem a aproximadamente 8%, no ano de 1995, das emissões incorporadas na produção de todo o mundo. Ademais, é possível observar um movimento de crescimento ao longo do tempo, com uma participação de aproximadamente 11% no ano de 2009.

Entretanto, de forma contrária ao USA (Gráfico 10), a CHN apresenta uma linha de emissões de CO₂ incorporada no consumo abaixo da linha de produção do próprio país, ou seja, confirmando o comportamento de país exportador líquido de CO₂ apresentado nos gráficos anteriores.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tal como apresentado no decorrer do presente trabalho, o problema dos GEE e as mudanças climáticas relacionadas são importantes pontos de debate nas economias internacionais, onde esforços de pesquisa têm levado cada vez mais em consideração o consumo sustentável.

O trabalho buscou fazer uma investigação empírica sobre a responsabilidade pelas emissões e o comércio internacional para 27 países da União Europeia e 13 países selecionados para o período de 1995 a 2009. E diante dos objetivos traçados e especificados e de algumas aplicações realizadas (*e.g.* WYCKOFF e ROOP, 1994; KONDO *et al.*, 1998; SÁNCHEZ-CHÓLIZ e DUARTE, 2004), buscou contribuir de forma a utilizar um modelo interregional de insumo-produto, possibilitando fazer uma interação entre os 40 países e o restante do mundo.

Através dos coeficientes de intensidade de emissões de CO₂ foi possível apresentar os países com maiores intensidades de emissões e como esse comportamento muda ao longo do tempo (1995 a 2009). Entretanto, os principais e mais importantes resultados são verificados quando se obtém indicadores de produção e consumo com relação as emissões de CO₂.

A partir dos saldos comerciais globais de emissões de CO₂ incorporadas no comércio internacional foi possível observar, por exemplo, um comportamento antagônico entre os USA e CHN, pois para o primeiro as emissões de CO₂ incorporadas no consumo são maiores do que as emissões incorporadas na produção. Enquanto que para CHN as emissões de CO₂ incorporadas na produção são maiores do que as emissões incorporadas no consumo, para os anos de 1995 a 2009.

Os resultados tornam-se mais importantes quando observamos os maiores importadores e exportadores líquidos de emissões de CO₂, pois através destes resultados é possível observar mudanças expressivas no comportamento de tais países. A CHN, como a maior exportadora líquida, duplica o seu saldo em 2009 e passa a apresentar um saldo quatro vezes maior que o da RUS, por exemplo, segunda maior exportadora líquida. E por outro lado, o USA como maior destaque em termos de importador líquido.

Além disso, quando comparado com o RoW, os USA apresenta uma linha de emissões de CO₂ incorporada no consumo sempre acima da linha de produção do próprio país. E a CHN apresenta uma linha de emissões de CO₂ incorporada no consumo abaixo da linha de produção do próprio país.

Tais resultados demonstram e embasam questões importantes da literatura quanto a responsabilidade pelas emissões de CO₂, como por exemplo questões envolvendo o princípio do consumidor e o princípio do produtor e responsabilidades dos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Em termos de limitação, como exposto por Wyckoff e Roop (1994), o uso das Tabelas de IP não aborda a questão do que aconteceria no futuro, ou seja, não aborda o que aconteceria se as políticas de redução de emissão de carbono fossem adotadas, de forma contrária, examina os acontecimentos passados.

Por fim, em termos de aplicações futuras, a utilização dos multiplicadores de Miyazawa seria uma importante contribuição quanto as questões de *feedback loop* entre os diversos países. Sendo capaz de classificar os tipos de interações sinérgicas entre regiões, possibilitando examinar, por meio das interdependências internas e externas, dadas pelas ligações, a estrutura das relações comerciais entre duas regiões em termos de emissões de CO₂.

REFERÊNCIAS

- ANTWEILER, W. The pollution terms of trade. **Economic Systems Research**, v. 8, n. 4, p. 361-366, 1996.
 BASTIANONI, S.; PULSELLI, F. M.; TIEZZI, E. The problem of assigning responsibility for greenhouse gas emissions. **Ecological Economics**, v. 49, n. 3, p. 253-257, 2004.

- DIETZENBACHER, E.; LOS, B.; STEHRER, R.; TIMMER, M.; DE VRIES, G. The Construction of World Input–Output Tables in the WIOD Project. **Economic Systems Research**, v. 25, n. 1, p. 71-98, 2013.
- ERUMBAN, A. A.; GOUMA, R.; VRIES, G.; VRIES, K.; TIMMER, M. P. WIOD Socio-Economic Accounts (SEA): Sources and Methods. **World Input-Output Database (WIOD)**, 2012a.
- ERUMBAN, A. A.; GOUMA, R.; VRIES, G.; VRIES, K.; TIMMER, M. P. Sources for National Supply and Use Table Input Files. **World Input-Output Database (WIOD)**, 2012b.
- FERNG, Jiun-Jiun. Allocating the responsibility of CO₂ over-emissions from the perspectives of benefit principle and ecological deficit. **Ecological Economics**, v. 46, n. 1, p. 121-141, 2003.
- GENTY, A.; ARTO, I.; Neuwahl, F. Final Database of Environmental Satellite Accounts: Technical Report on their Compilation. **World Input-Output Database (WIOD)**, 2012.
- GUILHOTO, J. J. M. **Análise de Insumo-Produto: teorias e fundamentos** (Input-Output Analysis: Theory and Foundations). Departamento de Economia (FEA), Universidade de São Paulo. Mimeo. 2011.
- GUPTA, S.; BHANDARI, P. M. An effective allocation criterion for CO₂ emissions. **Energy Policy**, v. 27, n. 12, p. 727-736, 1999.
- KONDO, Y.; MORIGUCHI, Y.; SHIMIZU, H. CO₂ Emissions in Japan: Influences of imports and exports. **Applied Energy**, v. 59, n. 2, p. 163-174, 1998.
- MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output Analysis: Foundations and Extensions**. Cambridge University Press, 2009.
- MUNKSGAARD, J.; PEDERSEN, K. A. CO₂ accounts for open economies: producer or consumer responsibility?. **Energy Policy**, v. 29, n. 4, p. 327-334, 2001.
- NEUMAYER, E. In defence of historical accountability for greenhouse gas emissions. **Ecological Economics**, v. 33, n. 2, p. 185-192, 2000.
- PAULANI, L. M.; BRAGA, M. B. **A nova contabilidade Social: uma introdução à macroeconomia**. 3ªed. São Paulo: Saraiva, 2007.
- PROOPS, J. L. R. Energy intensities, input-output analysis and economic development. In: MOTAMEN, H. **Input-Output analysis: current developments**. Chapman and Hall, p. 201-215. New York, 1988.
- SÁNCHEZ-CHÓLIZ, J.; DUARTE, R. CO₂ emissions embodied in international trade: evidence for Spain. **Energy Policy**, v. 32, n. 18, p. 1999-2005, 2004.
- SHIN, S. Developing country's perspective on COP3 development (Kyoto Protocol). **Energy Policy**, v. 26, n. 7, p. 519-526, 1998.
- SMITH, K. R. Allocating responsibility for global warming: The natural debt index. **Ambio**. Stockholm, v. 20, n. 2, p. 95-96, 1991.
- TIMMER, M. The World Input-Output Database (WIOD): Contents, Sources and Methods. **World Input-Output Database (WIOD)**, WIOD working paper n. 10, 2012.
- TUKKER, A.; COHEN, M. J.; DE ZOYSA, U.; HERTWICH, E.; HOFSTETTER, P.; INABA, A.; LOREK, S.; STØ, E. The Oslo declaration on sustainable consumption. **Journal of Industrial Ecology**, v. 10, n. 1-2, p. 9-14, 2006.
- TURNER, K.; LENZEN, M.; WIEDMANN, T.; BARRETT, J. Examining the global environmental impact of regional consumption activities—Part 1: A technical note on combining input–output and ecological footprint analysis. **Ecological Economics**, v. 62, n. 1, p. 37-44, 2007.
- WACKERNAGEL, M.; ONISTO, L.; BELLO, P.; LINARES, A. C.; FALFAN, I. S. L.; GARCIA, J. M.; GUERRERO, A. I. S.; GUERRERO, M. G. S. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. **Ecological Economics**, v. 29, n. 3, p. 375-390, 1999.
- WIEDMANN, T.; LENZEN, M. On the conversion between local and global hectares in ecological footprint analysis. **Ecological Economics**, v. 60, n. 4, p. 673-677, 2007.
- WIEDMANN, T.; LENZEN, M.; TURNER, K.; BARRETT, J. 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.
- WYCKOFF, A. W.; ROOP, J. M. The embodiment of carbon in imports of manufactured products: Implications for international agreements on greenhouse gas emissions. **Energy Policy**, v. 22, n. 3, p. 187-194, 1994.