



## PRODUÇÃO, CONSUMO E AQUECIMENTO GLOBAL NO BRASIL sob a ótica dos subsistemas

**Leopoldo Costa Junior**  
Universidade de Brasília (UnB)  
Ministério do Planejamento, Brasil  
[lcostajr@gmail.com](mailto:lcostajr@gmail.com)

### Resumo

Neste artigo foi analisado o impacto do consumo na geração de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil no período de 1995 a 2012 com base nos inventários de emissões e nas matrizes de insumo-produto usando a metodologia dos subsistemas ou setores verticalmente integrados. Os resultados mostram que o setor “Agropecuário” e os subsistemas “Agropecuário” e “Alimentos e Bebidas” foram responsáveis pela maior parte da geração de GEE no Brasil e que os setores/subsistemas “Energético” e “Transportes” devem ser priorizados tanto do ponto de vista da produção quanto do consumo. A comparação entre a geração de GEE pelo setor e pelo subsistema correspondente fornece uma indicação útil de qual deve ser o enfoque da política pública para reduzir a geração desses gases: a produção (é o caso do setor “Não Metálicos”) ou o consumo (é o caso do subsistema “Alimentos e Bebidas”). Além disso, a matriz de composição da emissão de GEE por setores e subsistemas permite calcular os impactos dessas políticas.

**Palavras-chave:** Gases de efeito estufa (GEE) – matriz de insumo-produto – setores verticalmente integrados (subsistemas) – consumo consciente

### Abstract

This paper analyzes the impact of consumption on the generation of greenhouse gases (GHG) in Brazil from 1995 to 2012 based on emission inventories and input-output matrices using the methodology of the subsystems or vertically integrated sectors. The results show that the "Agricultural and Livestock" sector and the subsectors "Agricultural and Livestock" and "Food and Beverage" were responsible for most of the GHG generation in Brazil and that the "Energy" and "Transport" sectors / subsystems should be prioritized both by the point of view of production as well as the point of view of consumption. The comparison between GHG generation by the sector and the corresponding subsystem provides a useful indication of what should be the focus of public policy to reduce the generation of these gases: production (is the case of sector "No Metallic ") or consumption (is the case of "Food and Beverage" subsystem). In addition, the matrix of composition of GHG emissions by sectors and subsystems allows to calculate the impacts of these policies.

**Keywords:** Greenhouse gases (GHG) – input-output matrix - vertically integrated sectors (subsistemas) - conscious consumption

**JEL Classification:** D57; E01; E11; Q5



## 1. Introdução

Toda atividade econômica gera impacto no meio ambiente. A produção extrai recursos naturais (matéria e energia) que serão transformados em bens e serviços. Nesse processo de transformação, resíduos e rejeitos serão produzidos e assim, os processos econômicos convertem materiais e energia de baixa entropia em resíduos e emanações de alta entropia. O problema das modernas economias industriais é que a extração de recursos e a captação de energia do meio ambiente atingiram patamares tão elevados que a manutenção dos atuais níveis de produção e consumo não é sustentável, ou seja, não são passíveis de serem universalizados e nem de serem garantidos às futuras gerações.

A partir da primeira Revolução Industrial, o desenvolvimento econômico se fez com uma dependência decrescente do fluxo de energia solar – energia direta do Sol ou por meio de organismos que direta ou indiretamente capturam essa energia - e de uso cada vez maior de estoques finitos de recursos energéticos, acumulados no globo terrestre: os combustíveis fósseis. Boa parte do problema de poluição atmosférica que estamos experimentando está associada à combustão desses combustíveis, mas o efeito mais preocupante das emissões decorrentes do emprego dos combustíveis fósseis está no acúmulo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, que é responsável por cerca de 50% do efeito estufa. Outra parcela importante do efeito estufa é gerada por emissões de gases, como o metano (CH<sub>4</sub>), que não são de origem fóssil, mas parte das emissões de setores como “Resíduos”, “Agropecuário” e “Florestas”. Essas emissões geram efeito estufa e agravam o aquecimento global.

Neste artigo foi analisado o impacto da produção e do consumo na geração de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, no período de 1995 a 2012, usando a metodologia dos subsistemas ou setores verticalmente integrados proposta por Pasinetti (1973). Essa

escolha metodológica permite não apenas atribuir a cada mercadoria os GEE gerados pelos insumos necessários para a sua produção, mas também os gases gerados na produção dos insumos necessários à produção desses insumos, e assim por diante, contabilizando toda a geração de gases na produção da mercadoria até o consumo.

O aspecto inovador desse artigo é a complementariedade da abordagem por setores e por subsistemas aplicada ao estudo da geração de GEE no caso brasileiro. Trabalhos de pesquisa anteriores sobre o tema se concentraram na abordagem por setores - e.g. Esteves, Alves e Sesso Filho (2017), Perdigão et alli (2017), Souza et alli (2015), Zapparoli et alli (2018) – ou, quando fizeram uso da abordagem por subsistemas, o fizeram de modo ainda incipiente (Soares et alli, 2014).

Para a aplicação dessa metodologia foi necessário compatibilizar os inventários de emissões de GEE e as matrizes de insumo-produto no Brasil para o período de 1995 a 2012. Como consequência foi obtida uma série de geração desses gases para cada um dos 14 setores e subsistemas nos 18 anos da série, incluindo tanto a participação de cada subsistema na geração de GEE de cada setor, quanto a participação de cada setor na geração desses gases de cada subsistema. Na seção seguinte foi descrita como foi feita essa compatibilização e como foi aplicada a metodologia dos subsistemas ou setores verticalmente integrados.

Na seção 3, foram apresentados os resultados da análise das emissões dos GEE por setores e por subsistemas. Procedeu-se também a uma comparação entre as duas abordagens, indicando os setores ou subsistemas que mais geram esses gases e aqueles nos quais as políticas para reduzir a geração de GEE dirigidas para a produção ou para o consumo devem ser priorizadas.

Na conclusão foi destacada a complementariedade da abordagem por setores e por subsistemas e os benefícios advindos de



uma maior desagregação de alguns desses setores. A identificação de prioridades das políticas públicas, bem como seus impactos usando a matriz com a composição da emissão de GEE foi sugerida, deixando como possível extensão dessa pesquisa o aprofundamento da análise por setor/subsistema. Por fim, foram apresentadas possíveis extensões de aplicação da metodologia proposta.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Bases de Dados

#### 2.1.1. Matrizes de Insumo-Produto (MIPs)

As matrizes de insumo-produto utilizadas nesse artigo foram elaboradas a partir das matrizes de produção e de uso, estimadas por Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010). São matrizes compostas originalmente por 42 atividades e 80 produtos (1995 a 1999), por 56 atividades e 110 produtos (2000 a 2009) e por 68 atividades e 128 produtos (2010 a 2013). Os procedimentos adotados para agregar as matrizes de produção e de uso em 14 setores<sup>1</sup>, de forma a compatibilizá-las com o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, estão descritos no Anexo I dos Dados Suplementares, disponível com o autor.

#### 2.1.2. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa

A partir dos inventários e estimativas de emissões de GEE (MCTI, 2013) para o Brasil foram apuradas as emissões associadas aos grupos econômicos (setores) para o período 1990 a 2012 para agregar à MIP a poluição gerada sob a forma de emissões de GEE (CO<sub>2</sub>eq). Os procedimentos adotados para agregar o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa em 14 setores, de forma a compatibilizá-lo com as Matrizes de Insumo-

Produto, estão descritos no Anexo II dos Dados Suplementares, disponível com o autor.

### 2.2. Metodologia: a abordagem de integração vertical

#### 2.2.1. Integração vertical e economia ecológica

As atividades econômicas de produção e consumo não são independentes ou neutras em relação ao ecossistema global, o que torna cada vez mais preocupante o divórcio da análise econômica de seus "fundamentos biofísicos" (Proops, 1989). Uma possibilidade é a reconstrução dos fundamentos biofísicos da atividade econômica ampliando a abordagem clássica para incluir energia e materiais de baixa entropia extraídos de sistemas ambientais e eventualmente retornados como resíduos (Christensen, 1989).

As implicações teóricas de uma abordagem biofísica da produção requerem uma reformulação da teoria das interações dentro da economia, que inclui um modelo de preços setorial e um modelo macro de curto prazo de dinâmica de preços e quantidades. Sem uma teoria do valor (preço) na economia ecológica, a valoração do ecossistema e dos recursos econômicos não pode ser rigorosamente defendida (Patterson, 1998).

Os teóricos neo-ricardianos, segundo Judson (1989), afirmam que o valor de qualquer mercadoria pode ser expresso não apenas em termos de trabalho, mas também em termos de qualquer mercadoria "padrão" ou "básica". Como a teoria energética do valor também se baseia na contabilidade física e na abordagem de "custo de produção", o modelo clássico de Sraffa (1960) pode servir de base metodológica para a valoração do ecossistema e dos recursos econômicos.

Todavia, o modelo de determinação de preços sraffiano faz pouco ou nenhum sentido biofísico porque não mapeia fluxos físicos de energia e massa, não se ajusta explicitamente aos princípios de conservação de massa e energia (Primeira Lei da Termodinâmica) e está baseado no fluxo circular de valor de troca, em

<sup>1</sup> ENE - Energético; RES - Resíduos; COM - Comercial e Outros; TRA - Transportes; EXT - Extrativa Mineral; NÃO - Não Metálicos; MET - Metalurgia; QUÍ - Química; ALI - Alimentos e Bebidas; TÊX - Têxtil; PAP - Papel e Celulose; OUT - Outras Indústrias; AGR - Agropecuário; Flo - Florestas.



vez do modelo econômico ecológico de transferência linear de massa e energia (Patterson, 1998). Como o fluxo contínuo de materiais e energia necessários originados dos sistemas naturais foi tomado como dado no sistema sraffiano, é necessário estender o conceito de preços de produção de mercadorias para recursos e serviços ambientais (Christensen, 1989).

Ao incorporar recursos e serviços ambientais, o preço ecológico (ou preço sraffiano) avalia os processos da biosfera, com base em interdependências biofísicas entre todas as partes do ecossistema (Patterson, 2002). Este método mede essencialmente as "razões de eficiência" da transformação de energia e massa entre si no sistema. Pode ser mostrado matematicamente que a escolha do numerário é inteiramente arbitrária e que os preços ecológicos são transitivos, reflexivos e simétricos (Patterson, McDonald e Hardy, 2017).

### 2.2.2. Subsistema e integração vertical

Um subsistema é definido por Sraffa no Apêndice A do seu livro (1960: 111):

Tal sistema pode ser subdividido em tantas partes quantas forem as mercadorias em seu produto líquido, de tal modo que cada parte forme um sistema de auto-reposição menor, cujo produto líquido se componha de uma só classe de mercadoria. Estas partes serão denominadas "subsistemas".

Pasinetti (1973) investigou teoricamente as propriedades lógicas dos subsistemas, conectando a quantidade de trabalho direto e indireto de Sraffa com os requerimentos diretos e indiretos da matriz inversa de Leontief. Para fazer isso, Pasinetti desenvolveu o conceito de setor verticalmente integrado, uma forma compacta de representar um subsistema, que sintetiza cada um deles em um único coeficiente de trabalho  $v_i$  e em uma única mercadoria composta  $h_i$ .

O coeficiente de trabalho verticalmente integrado para a mercadoria  $i$ ,  $v_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , expressa a quantidade de trabalho direta e indiretamente necessária ao sistema econômico como um todo para obter uma unidade física da mercadoria  $i$  como bem final. É definido como  $v' = l'(I - A^\ominus)^{-1}$ , sendo que  $v'$  é o vetor-linha dos coeficientes de trabalho verticalmente integrados,  $l'$  é o vetor-linha dos coeficientes de trabalho direto [ou seja, a razão do trabalho direto ( $L_j$ ) pelo produto final ( $Y_j$ ) em cada indústria:  $l_j = \frac{L_j}{Y_j}$  e  $(I - A^\ominus)^{-1}$  é a matriz inversa de Leontief.<sup>2</sup>

Já a mercadoria composta  $h_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , chamada unidade de capacidade produtiva verticalmente integrada, expressa de maneira consolidada as séries de quantidades físicas das mercadorias heterogêneas  $1, 2, \dots, m$  direta e indiretamente necessárias ao sistema econômico como um todo para obter uma unidade física da mercadoria  $i$  como bem final. É definida como:

$$A(I - A^\ominus)^{-1} \equiv H \equiv [h_1 \quad h_2 \quad \dots \quad h_m].$$

Portanto, os setores verticalmente integrados não são construções empíricas, mas são calculados a partir dos dados dos modelos de insumo-produto, organizados de forma que, para cada produto final (bem de consumo ou de investimento), um único setor verticalmente integrado (ou subsistema) seja construído. Para

<sup>2</sup> A matriz de coeficientes diretos ( $A$ ) sumariza os coeficientes de interdependência entre os setores, indicando os insumos que são necessários de cada um deles para gerar cada unidade de produto. Observe que a matriz de coeficientes diretos ( $A^\ominus$ ) está modificada porque a matriz de coeficientes diretos original foi decomposta como a soma da matriz de capital circulante ( $A^{(C)}$ ) e capital fixo ( $A^{(F)}$ ), de modo que  $A \equiv A^{(C)} + A^{(F)}$ . Dessa forma,  $A^\ominus$  foi definida como  $A^\ominus \equiv A^{(C)} + \hat{\delta}A^{(F)}$ , no qual  $\hat{\delta}$  é uma matriz diagonal em que cada  $\delta_j$  representa uma fração de todos os bens de capital fixo que o sistema econômico tem de repor. Naturalmente, a matriz  $A^\ominus$  é indecomponível, e supõe-se que as condições de Hawkins-Simons estejam satisfeitas. Vide Morishima (1964).



fazer isso, todos os componentes da demanda final (exceto os do setor a ser construído) são definidos como zero. Então, todos os insumos que são direta e indiretamente necessários para produzir uma dada quantidade do produto final demandado são calculados.

### 2.2.3. *Aplicação da integração vertical a questões ambientais*

A integração vertical é largamente encontrada em muitas aplicações de teoria econômica e contabilidade social, sendo particularmente adequada para análises dinâmicas. Estudos empíricos em diversas áreas foram conduzidos usando a noção de integração vertical, com aplicações que vão do comércio internacional [Elmslie (1988) e Milberg (1987)] à produtividade do trabalho [Costa Junior e Teixeira (2010), De Juan e Febrero (2000) e Ochoa (1986)], passando pelo objeto dessa pesquisa: as questões ambientais.

Gowdy (1991: 81) sugeriu que a abordagem de integração vertical pode ser expandida para incluir energia, recursos naturais e serviços ambientais e acomodar elementos do modelo de fluxo e fundos de Georgescu-Roegen, de uma forma semelhante à que Rymes (1983) usou para tratar o capital como um insumo produzido por trabalho e recursos naturais. De fato, Mayumi (2002), ao analisar teoricamente a viabilidade da energia solar, explorou as conexões entre a análise de energia e a análise *sraffiana* e o modelo de fluxo e fundos de Georgescu-Roegen.

Existem várias aplicações da integração vertical a questões ambientais. Sobre a questão da água, temos, por exemplo, Duarte, Sánchez-Chóliz e Bielsa (2002) - que estudaram o uso da água pela economia espanhola - e Sánchez-Chóliz e Duarte (2003), que analisaram a poluição da água em Aragão e, posteriormente, avaliaram também a sensibilidade da produção e as restrições ambientais da poluição da água para a economia espanhola como um todo (Sánchez-Chóliz e Duarte, 2005).

A análise por setores ou subsistemas foi feita por Alcántara e Padilla (2009) - que

decompuseram as emissões de CO<sub>2</sub> nos setores de serviço na Espanha em 2000 -, e Butnar e Llop (2011) - que estenderam essa análise para o 2000 e 2005. Soares et alli (2014) fizeram o mesmo para as indústrias de serviço e energéticas no Brasil em 2000 e 2009. De forma análoga, Yuan e Zhao (2016) estudaram os padrões de emissão de CO<sub>2</sub> nas indústrias intensivas em energia na China.

A discussão sobre comércio internacional e geração de gases de efeito estufa foi feita por Cadarso et alli (2010), que analisaram as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes da fragmentação da produção e da criação das cadeias globais de valor no transporte de cargas internacional e nas operações de off-shore. Os mesmos autores lidaram com o problema do deslocamento das emissões decorrente do comércio internacional calculando a responsabilidade do consumidor e do produtor (Cadarso et ali, 2012).

Já Roca e Serrano (2007) estudaram a relação entre crescimento econômico e níveis de poluição na Espanha decorrentes de diferentes padrões de consumo.

Temos ainda Zafrilla et alli (2012), que desenvolveram um modelo para prever a demanda de energia e computar as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes para avaliar se o cumprimento do protocolo de Quioto pela Espanha se deu pela crise econômica de 2008 ou por sua política energética.

Finalmente, Yuan et alli (2013) modificaram o método da extração hipotética (que avalia o impacto econômico da mudança da atividade de um setor) com a análise de subsistemas usando dados de 2007 para a economia chinesa para concluir que as indústrias com baixa intensidade de carbono estão fortemente vinculadas àquelas com alta intensidade de carbono.

### 2.2.4. *Mensuração dos GEE usando subsistemas*

Para medir o peso real da geração de GEE no sistema econômico, foi adotada a abordagem proposta por Momigliano e Siniscalco (1982a,



1982b) para investigar a mudança estrutural na economia italiana desde meados da década de 1960 até meados da década de 1970, isto é, foi usado o conceito de subsistema construindo uma matriz:

$$R = \hat{x}^{-1}(I - A)^{-1}\hat{y}$$

Dado que  $\hat{x}$  é o vetor diagonalizado da produção bruta,  $A$  é a matriz dos coeficientes de insumo-produto domésticos e  $\hat{y}$  é o vetor diagonalizado da demanda final.

Cada linha de  $R$  é igual a 1 e mostra “a proporção da atividade de cada ramo que vem sob os vários subsistemas” (Momigliano e Siniscalco, 1982a: 281).  $R$  pode, portanto, ser usado como operador para reclassificar qualquer variável de uma base de setor para uma base de subsistema.

Usando  $R$ , definimos a matriz  $G$  como:

$$G = \hat{g}R$$

Dado que  $\hat{g}$  é o vetor diagonalizado de GEE gerado por setor. O elemento genérico  $G_{ij}$  de  $G$  é a quantidade de gases gerados, direta e indiretamente, pelo setor  $i$  para satisfazer a demanda final no subsistema  $j$ .

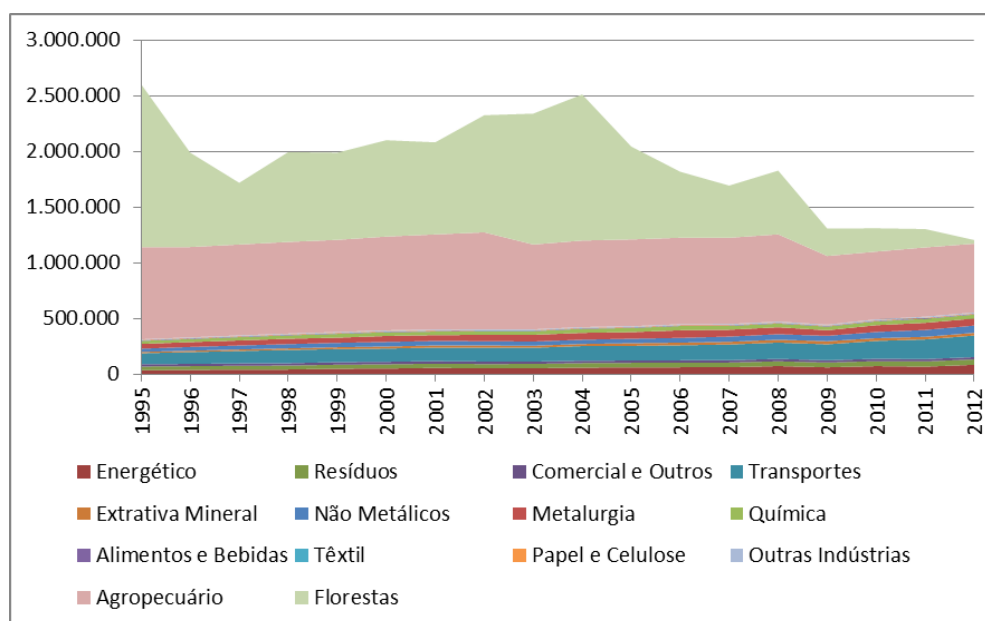
Note-se que, como demonstrado por Rampa (1982), todas as matrizes anteriores são invariantes aos preços relativos. Uma análise comparativa das mudanças que ocorrem ao longo do tempo nas matrizes acima definidas é útil para desenredar os determinantes da mudança estrutural. De fato, enquanto  $G$  calcula níveis,  $R$  calcula as quotas de cada subsistema em cada setor relevante em termos de total de GEE.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Análise por setores

Do ponto de vista dos setores, o Gráfico 1 (produzido conforme Tabelas 8, 9 e 10 do Anexo III dos Dados Suplementares, disponível com o autor) mostra que os principais responsáveis pela geração de GEE no Brasil em 1995 foram os setores “Florestas” (56,1% das emissões de GEE) e “Agropecuário” (31,9%). Já em 2012, o líder de emissões é o setor “Agropecuário” (51,4% das emissões), seguido pelo setor “Transporte” (16,1%), que era responsável por apenas 3,8% das emissões de 2005. O setor “Florestas” teve a sua participação reduzida a 2,7% do total.

**Gráfico 1** – Emissão de Gases de Efeito Estufa por Setores no Brasil de 1995 a 2012 (em Gg de CO<sub>2</sub>eq)



Fonte: cálculos do autor a partir de Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010) e MCTI (2013).



A geração de GEE de 1995 a 2012 foi reduzida de 2.600,5 Tg (igual a  $10^{12}$  g) de CO<sub>2</sub> para 1.203,4 Tg de CO<sub>2</sub>, uma redução de 4,4% ao ano. Como mostra a **Tabela 1** (produzida conforme **Tabelas 8, 9 e 10** do Anexo III dos Dados Suplementares, disponível com o autor), o setor “Florestas” foi o grande responsável por essa redução, pois diminuiu a produção de 1.460,2 Tg de CO<sub>2</sub> para 32,7 Tg de CO<sub>2</sub>, uma

redução de 20,0% ao ano. Nesse período, além desse setor, somente os setores “Têxtil” (redução de 1,8% ao ano) e “Agropecuário” (redução de 1,7% ao ano) diminuíram as suas emissões. Em contrapartida, alguns setores tiveram crescimento expressivo na geração de GEE entre 1995 e 2012: “Energético” (5,3% ao ano); “Não Metálicos” (4,9% ao ano); “Extrativa Mineral” (4,2% ao ano); e “Transporte” (4,1% ao ano).

**Tabela 1** – Emissão de GEE por Setores no Brasil de 1995 a 2012 (em Tg de CO<sub>2</sub>eq)

Setores	1995		2012		Δ%
	Tg de CO <sub>2</sub> eq	%	Tg de CO <sub>2</sub> eq	%	
ENE	34,2	1,3%	82,6	6,9%	5,3%
RES	33,3	1,3%	48,2	4,0%	2,2%
COM	20,7	0,8%	20,9	1,7%	0,1%
TRA	98,3	3,8%	193,8	16,1%	4,1%
EXT	12,2	0,5%	24,4	2,0%	4,2%
NÃO	28,8	1,1%	64,8	5,4%	4,9%
MET	42,8	1,6%	63,6	5,3%	2,4%
QUÍ	27,3	1,1%	35,3	2,9%	1,5%
ALI	4,7	0,2%	5,6	0,5%	1,0%
TÊX	1,3	0,1%	1,0	0,1%	-1,8%
PAP	3,4	0,1%	3,8	0,3%	0,6%
OUT	4,9	0,2%	8,4	0,7%	3,2%
AGR	828,4	31,9%	618,3	51,4%	-1,7%
FLO	1.460,2	56,1%	32,7	2,7%	-20,0%
<b>TOTAL</b>	<b>2.600,5</b>	<b>100,0%</b>	<b>1.203,4</b>	<b>100,0%</b>	<b>-4,4%</b>

Fonte: cálculos do autor a partir de Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010) e MCTI (2013).

Para priorizar as políticas para reduzir a geração de GEE com foco na produção, os setores foram classificados segundo a sua importância na geração de GEE em 2012 (abaixo e acima da

mediana de 34,0 Tg de CO<sub>2</sub>) e a mediana da taxa de crescimento da geração de GEE entre 1995 e 2012, 1,9% ao ano. Essa classificação está sintetizada no Quadro 1:

**Quadro 1** – Prioridades de Políticas para os Setores

	GEE em 2012 < 34,0 Tg de CO <sub>2</sub>	GEE em 2012 > 34,0 Tg de CO <sub>2</sub>
taxa de crescimento < 1,9% a.a	COM, ALI, TÊX, PAP, FLO	QUÍ, AGR
taxa de crescimento > 1,9% a.a	EXT, OUT	ENE, RES, TRA, NÃO, MET

Fonte: cálculos do autor a partir de Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010) e MCTI (2013).



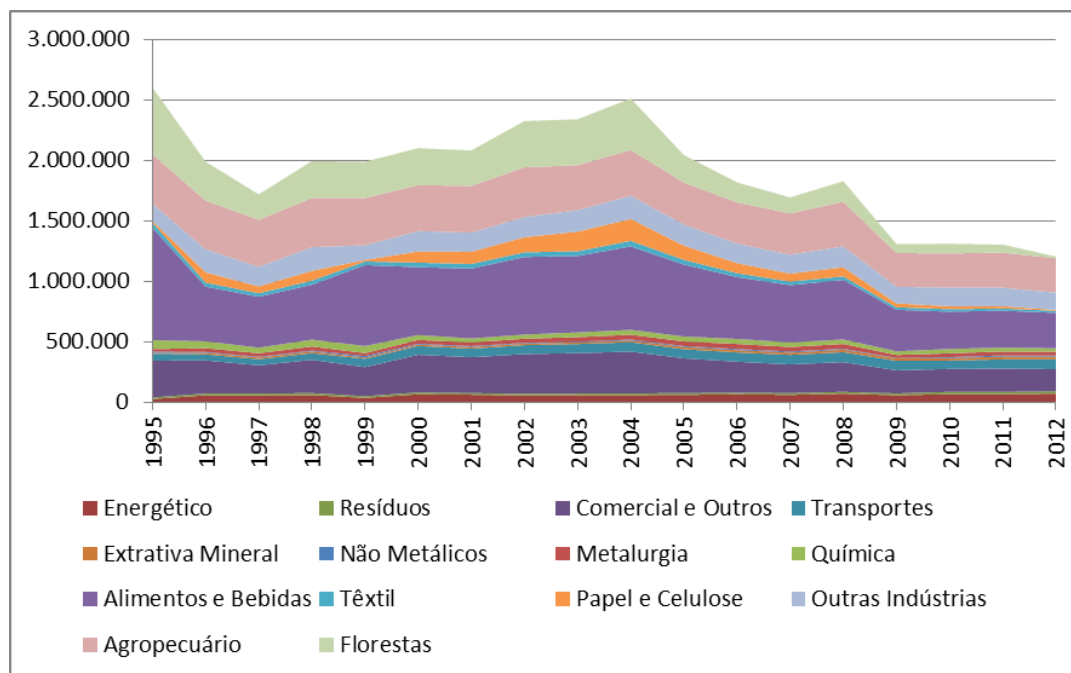
Os setores que merecem maiores preocupações são aqueles que estão acima da mediana em ambos os critérios, ou seja, “Energético”, “Resíduos”, “Transportes” e “Não Metálicos” e “Metalurgia”. Por outro lado, não são prioritários os setores “Comercial e Outros”, “Alimentos e Bebidas”, “Têxtil”, “Papel e Celulose” e “Florestas”, que estão abaixo da mediana em ambos os critérios.

### 3.2. Análise por subsistemas

Do ponto de vista dos subsistemas, o Gráfico 2 (produzido conforme Tabelas 11, 12 e 13 do

Anexo III dos Dados Suplementares, disponível com o autor) mostra que os principais responsáveis pela geração de gases de efeito estufa em 1995 foram os subsistemas “Alimentos e Bebidas” (35,7% das emissões de GEE), “Florestas” (21,2%), “Agropecuário” (15,7%) e “Comercial e Outros” (11,2%). Já em 2012, o líder de emissões é o subsistema “Alimentos e Bebidas” (24,4%), seguido pelos subsistemas “Agropecuário” (23,6%) e “Comercial e Outros” (15,2%). O subsistema “Florestas” teve a sua participação reduzida a 1,1% do total.

**Gráfico 2**– Emissão de Gases de Efeito Estufa por Subsistemas no Brasil de 1995 a 2012 (em Gg de CO<sub>2</sub>eq)



Fonte: cálculos do autor a partir de Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010) e MCTI (2013).

Como mostra a **Tabela 2** (produzida conforme Tabelas 11, 12 e 13 do Anexo III dos Dados Suplementares, disponível com o autor), os subsistemas “Alimentos e Bebidas” e “Florestas” foram os grandes responsáveis pela redução da emissão de GEE no período de 1995 a 2012, respectivamente 6,6% (de 928,9 Tg de CO<sub>2</sub> para 293,3 Tg de CO<sub>2</sub>) e 19,5% (de 552,1 Tg de CO<sub>2</sub>

para 13,7 Tg de CO<sub>2</sub>) ao ano. Nesse período, além desses subsistemas, “Química” e “Têxtil” também tiveram uma redução expressiva, de 5,7% e 5,2% ao ano, respectivamente. Em contrapartida, alguns subsistemas tiveram crescimento expressivo na geração de GEE entre 1995 e 2012: “Extrativa Mineral” (7,2% ao ano) e “Energético” (6,2% ao ano).





**Tabela 2** – Emissão de GEE por Subsistemas no Brasil de 1995 a 2012 (em Tg de CO<sub>2</sub>eq)

Subsistemas	1995		2012		Δ%
	Tg de CO <sub>2</sub> eq	%	Tg de CO <sub>2</sub> eq	%	a.a.
ENE	24,8	1,0%	69,0	5,7%	6,2%
RES	12,4	0,5%	20,4	1,7%	3,0%
COM	304,9	11,7%	182,4	15,2%	-3,0%
TRA	58,4	2,2%	82,7	6,9%	2,1%
EXT	6,4	0,2%	20,9	1,7%	7,2%
NÃO	9,6	0,4%	8,3	0,7%	-0,9%
MET	21,3	0,8%	33,0	2,7%	2,6%
QUÍ	74,3	2,9%	27,3	2,3%	-5,7%
ALI	928,9	35,7%	293,3	24,4%	-6,6%
TÊX	42,4	1,6%	17,1	1,4%	-5,2%
PAP	14,9	0,6%	7,5	0,6%	-4,0%
OUT	141,5	5,4%	143,4	11,9%	0,1%
AGR	408,7	15,7%	284,5	23,6%	-2,1%
FLO	552,1	21,2%	13,7	1,1%	-19,5%
<b>TOTAL</b>	<b>2.600,5</b>	<b>100,0%</b>	<b>1.203,4</b>	<b>100,0%</b>	<b>-4,4%</b>

Fonte: cálculos do autor a partir de Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010) e MCTI (2013).

Para priorizar as políticas para reduzir a geração de GEE com foco no consumo, os subsistemas foram classificados segundo a sua importância na geração de GEE em 2012 (abaixo e acima da

mediana de 30,2 Tg de CO<sub>2</sub>) e a mediana da taxa de crescimento da geração de GEE entre 1995 e 2012, -1,5% ao ano.

**Quadro 2** – Prioridades de Políticas para os Subsistemas

	<b>GEE em 2012 &lt; 30,2 Tg de CO<sub>2</sub></b>	<b>GEE em 2012 &gt; 30,2 Tg de CO<sub>2</sub></b>
<b>taxa de crescimento &lt; -1,5% a.a</b>	QUÍ, TÊX, PAP, FLO	COM, ALI, AGR
<b>taxa de crescimento &gt; -1,5% a.a</b>	RES, EXT, NÃO	ENE, TRA, MET, OUT

Fonte: cálculos do autor a partir de Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010) e MCTI (2013).

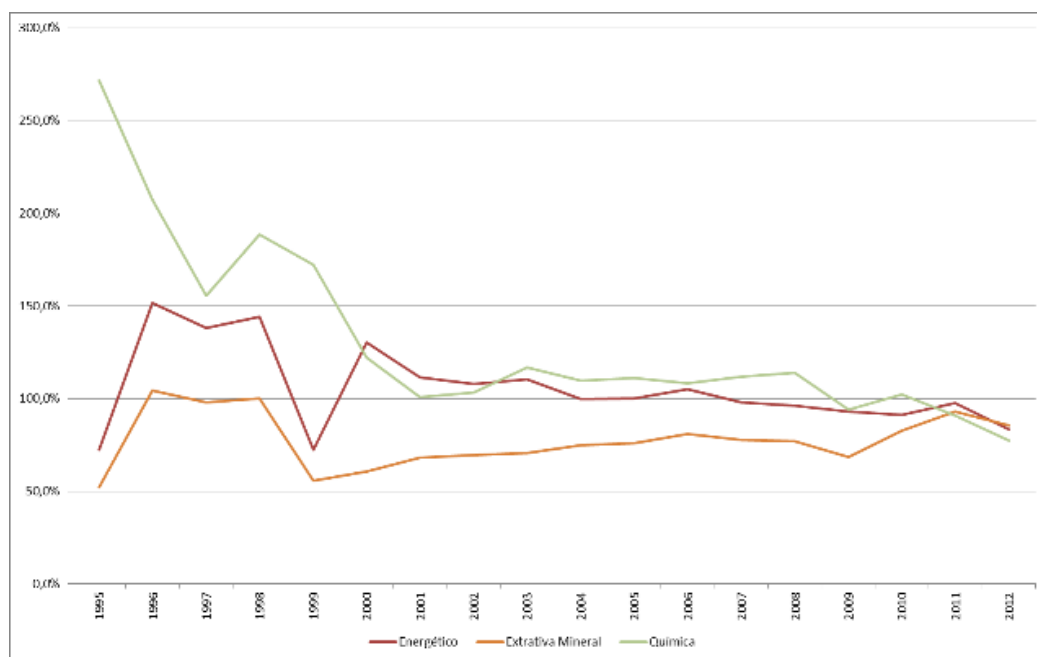


Os subsistemas que merecem maiores preocupações são aqueles que estão acima da mediana em ambos os critérios, ou seja, “Energético”, “Transportes”, “Metalurgia” e “Outras Indústrias”. Por outro lado, não são prioritários os subsistemas “Química”, “Têxtil”, “Papel e Celulose” e “Florestas”

### 3.3. Análise comparativa

As abordagens por setores e por subsistemas se complementam. A abordagem por setores destaca a geração de GEE pela produção dos bens e serviços. Já a abordagem por subsistemas destaca a geração de GEE pelo consumo de bens e serviços. A política pública deve atentar para ambos os aspectos.

**Gráfico 3**—Comparativo da Emissão de GEE (relação entre Subsistemas/Setores) no Brasil de 1995 a 2012 (em percentual)



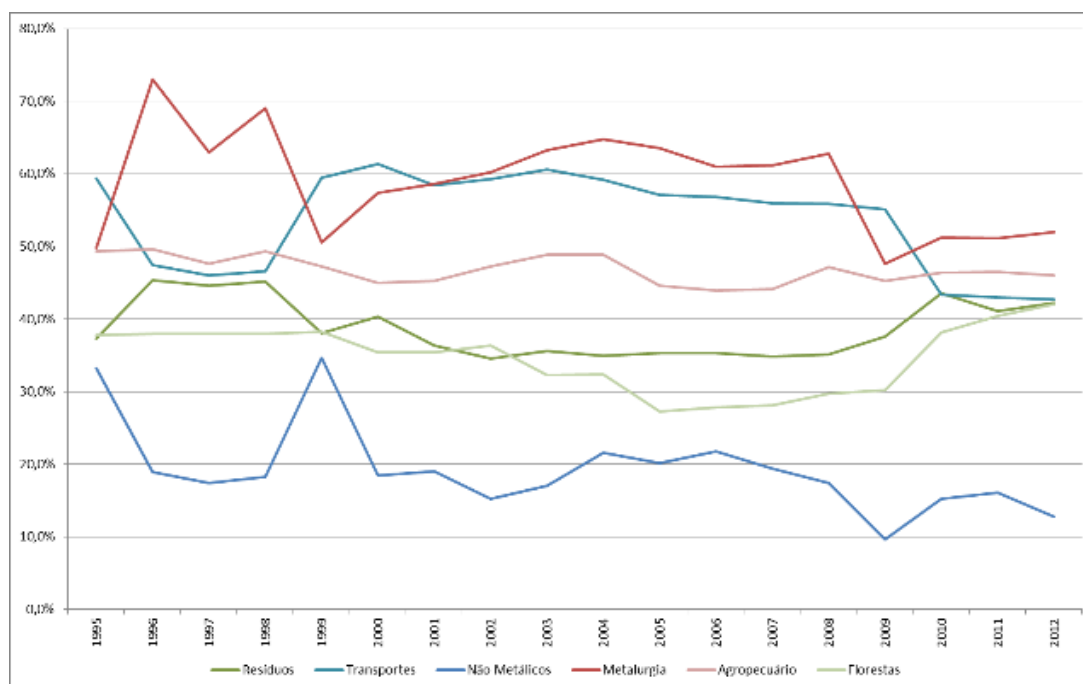
Fonte: cálculos do autor a partir de Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010) e MCTI (2013).

Conforme Gráfico 3, existem apenas três subsistemas / setores em que a geração de GEE pelo consumo e a geração pela produção ficou próxima (ou seja, a relação subsistemas / setores ficou, na maioria dos anos, entre 50% e 200%): “Extrativa Mineral” (o subsistema gerou 85,6% dos GEE gerados pelo setor em 2012, mas variou de 52,2% em 1995 a 104,3% em 1996);

“Energético” (83,5% em 2012 – seu ponto mais baixo -, mas chegou a 151,7% em 1996); e, “Química” (77,4% em 2012 – seu ponto mais baixo -, mas chegou a 271,8% em 1995), sendo que este último convergiu para uma geração de GEE na produção e absorção no consumo mais próximo ao longo do período de 1995 a 2012.



**Gráfico 4**—Comparativo da Emissão de GEE (relação entre Subsistemas/Setores) no Brasil de 1995 a 2012 (em percentual)



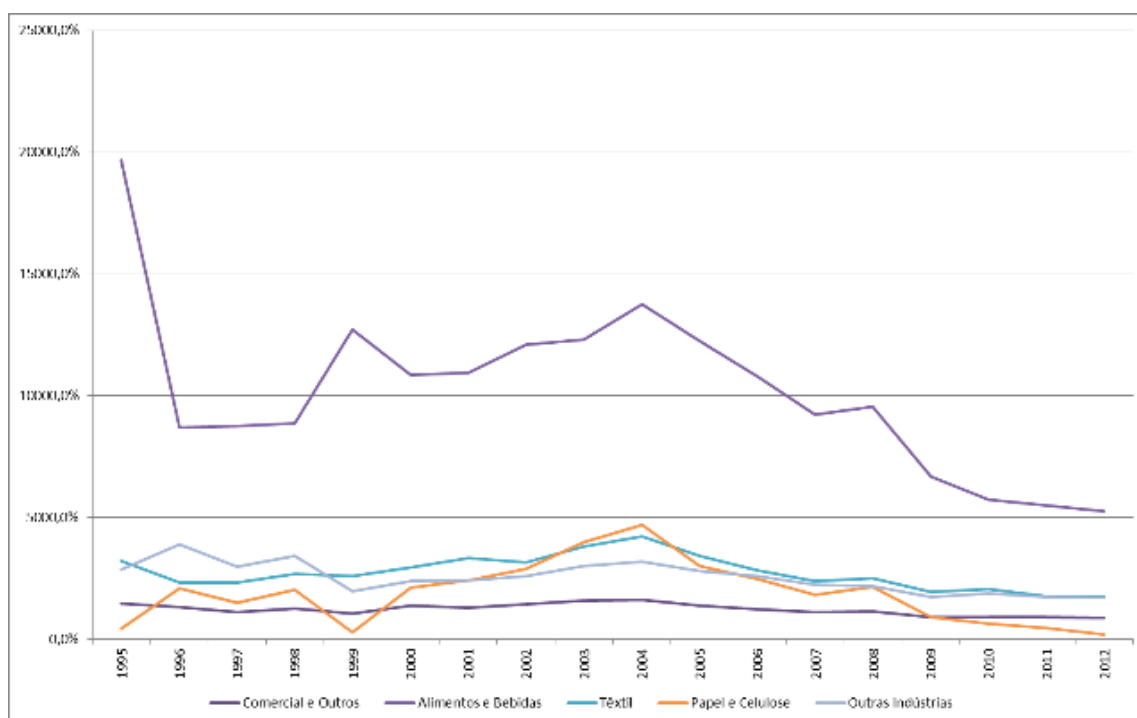
Fonte: cálculos do autor a partir de Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010) e MCTI (2013).

No Gráfico 4, observa-se que outros seis subsistemas / setores têm foco na produção: “Metalurgia” (o subsistema gerou 51,9% dos GEE gerados pelo setor em 2012, mas variou de 47,6% em 2009 a 73,0% em 1996), “Transportes” (42,7% em 2012 – seu ponto mais baixo -, mas chegou a 61,3% em 2000), “Agropecuário”

(46,0% em 2012, mas variou de 43,9% em 2006 a 49,3% em 1995), “Resíduos” (42,2% em 2012, mas variou de 34,6% em 2002 a 45,3% em 1996), “Florestas” (42,0% em 2012 – seu ponto mais alto -, mas chegou a 27,3% em 2005) e, em especial, “Não Metálicos” (12,7% em 2012, mas variou de 9,7% em 2009 a 34,7% em 1999).



**Gráfico 5**—Comparativo da Emissão de GEE (relação entre Subsistemas/Setores) no Brasil de 1995 a 2012 (em percentual)



Fonte: cálculos do autor a partir de Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010) e MCTI (2013).

Finalmente, no Gráfico 5, os demais cinco subsistemas / setores têm um foco no consumo, ou seja, a geração de GEE pelo subsistema é muito maior do que a geração pelo setor: “Comercial e Outros” (8,7 vezes mais no consumo do que na produção em 2012, mas chegou a 16,2 vezes em 2004), “Papel e Celulose” (de forma bastante errática, 2,0 vezes mais em 2012, mas 47,0 vezes em 2004), “Outras Indústrias” (17,1 vezes em 2012, mas 34,4 vezes em 1998), “Têxtil” (17,7 vezes em 2012, mas 42,3 vezes em 2004) e, principalmente, “Alimentos e Bebidas” (52,8 vezes em 2012, mas 196,8 vezes em 1995).

Chama a atenção que a relação de geração de GEE na produção e absorção no consumo de GEE nos setores com foco na produção - com exceção do subsistema / setor “Não Metálicos” - não é tão baixa, variando de 34,6% (ou 2,9 vezes mais GEE gerado na produção do que absorvido no consumo), para o subsistema / setor “Resíduos” em 2002, até 73,0% (ou 1,4 vezes

mais GEE gerado na produção do que absorvido no consumo) para o subsistema / setor “Metalurgia” em 1996.

É um contraste com os setores com foco no consumo – com exceção do subsistema / setor “Papel e Celulose” – no qual essa relação é significativamente mais alta, variando de 8,7 vezes mais GEE absorvido no consumo do que gerado na produção, para o subsistema / setor “Comercial e Outros” em 2012, até 196,8 vezes mais GEE absorvido no consumo do que gerado na produção para o subsistema / setor “Alimentos e Bebidas”.

A comparação entre a geração de GEE pelo setor e pelo subsistema correspondente fornece uma indicação útil para o foco da política pública. Políticas para reduzir a geração de GEE focadas na produção tendem a ser mais eficazes para os setores “Metalurgia”, “Transportes”, “Agropecuário”, “Resíduos”, “Florestas” e, em especial, “Não Metálicos”. Políticas para reduzir a geração de GEE focadas no consumo tendem a



serem mais eficazes para os subsistemas: “Comercial e Outros”, “Papel e Celulose”, “Outras Indústrias”, “Têxtil” e, principalmente, “Alimentos e Bebidas”.

### 3.4. Relação entre geração e absorção de GEE

A matriz **G**, apresentada nas Tabelas 3 e 4, mostra como se deu a geração de GEE por subsistemas / setores na economia brasileira em 2012. Cada linha representa um setor e cada coluna, um subsistema.

Assim, tudo que um setor gera de GEE é representado pela soma da linha correspondente àquele setor, sendo que cada célula dessa linha discrimina o montante de GEE gerado, direta e indiretamente, por esse setor para satisfazer a demanda final de cada subsistema. O setor “Não Metálicos”, por exemplo, gerou 64.755 Gg de CO<sub>2</sub>eq em 2012, a maior parte, 41.302, para atender o subsistema “Outras Indústrias”, e o subsistema “Comercial e Outros” foi atendido com a geração de tanta GEE, 7.272, quanto o próprio subsistema “Não Metálicos”, 7.218.

Da mesma forma, tudo que um subsistema necessita de GEE para atender a demanda final é representado pela soma da coluna correspondente àquele subsistema, sendo que cada célula dessa coluna discrimina o montante de GEE necessário para esse subsistema atender à demanda que é gerada por cada setor. Por exemplo, o subsistema “Comercial e Outros” necessitou de 182.416 Gg de CO<sub>2</sub>eq em 2012, gerados principalmente pelo setor “Agropecuário”, 58.926, e “Transportes”, 47.760; o setor “Comercial e Outros” é apenas o quarto maior gerador de GEE para o próprio subsistema, 17.810, atrás do setor “Resíduos”, 18.170.

A matriz **G** é uma ferramenta útil para a formulação das políticas de emissão de GEE porque orienta - tanto pela ótica da produção, quanto pela ótica do consumo - as suas prioridades ao mostrar, para cada setor que gera GEE, os subsistemas que estão sendo atendidos, e para cada subsistema que tem sua demanda atendida por aquela geração de GEE, os setores que a estão gerando esses GEE.

**Tabela 3** – Composição da Emissão de GEE no Brasil em 2012 (em Gg de CO<sub>2</sub>eq)

Setores/Subsistemas	ENE	RES	COM	TRA	EXT	NÃO	MET
Energético	43.152	287	14.046	4.291	914	184	1.065
Resíduos	527	19.022	18.170	495	216	81	1.719
Comercial e Outros	248	19	17.810	177	61	12	95
Transportes	7.171	245	47.760	74.188	2.476	312	3.038
Extrativa Mineral	209	44	917	64	15.604	121	1.872
Não Metálicos	1.226	305	7.272	444	271	7.218	408
Metalurgia	1.130	130	5.391	369	348	57	23.188
Química	591	71	4.808	397	284	77	334
Alimentos e Bebidas	71	1	565	14	5	1	6
Têxtil	2	0	39	2	1	0	1
Papel e Celulose	43	4	1.319	30	12	8	32
Outras Indústrias	62	14	564	54	32	3	39
Agropecuário	14.265	189	58.926	2.058	605	134	812
Florestas	282	22	4.830	136	69	44	434

Fonte: cálculos do autor a partir de Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010) e MCTI (2013).



**Tabela 4** – Composição da Emissão de GEE no Brasil em 2012 (em Gg de CO<sub>2</sub>eq) – continuação

Setores/Subsistemas	QUÍ	ALI	TÊX	PAP	OUT	AGR	FLO
Energético	2.089	5.396	805	394	7.837	2.118	71
Resíduos	710	1.689	310	181	4.833	284	8
Comercial e Outros	174	689	156	44	1.320	126	4
Transportes	4.510	21.346	2.569	1.287	25.655	3.043	152
Extrativa Mineral	373	470	54	27	4.478	165	3
Não Metálicos	692	3.564	299	147	41.302	1.583	24
Metalurgia	601	2.440	244	159	29.168	389	12
Química	14.272	4.084	886	310	6.538	2.598	24
Alimentos e Bebidas	28	4.672	32	5	77	78	3
Têxtil	3	7	872	1	32	3	0
Papel e Celulose	74	291	73	1.155	751	43	1
Outras Indústrias	23	69	22	12	7.495	14	1
Agropecuário	2.462	245.038	10.271	791	10.221	272.170	384
Florestas	1.290	3.537	475	2.979	3.702	1.845	13.051

Fonte: cálculos do autor a partir de Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010) e MCTI (2013).

A matriz **G** também permite que os impactos das políticas de emissão de GEE sejam mensurados. Aumento, redução ou mudanças na produção podem ser avaliados na forma como os setores afetam a destinação de GEE para atender à demanda dos subsistemas. Por exemplo, um aumento ou redução da geração de GEE do setor “Energético” faz com que 52,21% desse efeito impacte sobre o subsistema “Energético”, 16,99% sobre o subsistema “Comercial e Outros”, 9,48% sobre o subsistema “Outras Indústrias”, e assim por diante. Da mesma forma, aumento, redução ou mudanças no consumo podem ser avaliados na forma como os subsistemas afetam a geração de GEE pelos setores. Por exemplo, um aumento ou redução de GEE do subsistema “Comercial e Outros” faz com que 32,30% desse efeito impacte sobre o setor “Agropecuário”, 26,18% sobre o setor “Transportes”, 9,96% sobre o setor “Resíduos”, e assim por diante.

#### 4. Conclusões

O impacto do consumo na emissão de GEE no Brasil no período 1995 a 2012 foi analisado sob duas óticas distintas: a abordagem dos setores, que privilegia como os GEE são gerados pela

produção, e a abordagem dos subsistemas ou setores verticalmente integrados, que privilegia como os GEE são absorvidos pelo consumo. Os resultados mostraram que o setor mais relevante ao longo desse período foi o “Agropecuário” e que o setor “Florestas” perdeu importância na geração de GEE para outros setores, como “Transportes”, que passaram a ter um peso maior. Já os subsistemas mais relevantes entre 1995 e 2012 foram “Agropecuário” e “Alimentos e Bebidas”, sendo que “Florestas” perdeu importâncias para outros subsistemas, como “Comercial e Outros”.

Esta análise mostrou ainda que devem ser priorizadas políticas públicas sob a ótica da produção para os setores “Energético”, “Resíduos”, “Transportes”, “Não Metálicos” e “Metalurgia”, e políticas públicas sob a ótica do consumo para os subsistemas “Energético”, “Transportes”, “Metalurgia” e “Outras Indústrias”. Em suma, os setores/subsistemas “Energético” e “Transportes” são prioridades tanto do ponto de vista da produção quanto do consumo.

Outro aspecto importante que essa análise comparativa mostrou foi a sensibilidade dos setores/subsistemas às políticas públicas com foco na produção ou consumo: o setor “Não



Metálicos” é muito mais sensível a políticas públicas voltadas à produção, enquanto o subsistema “Alimentos e Bebidas” é muito mais sensível a políticas públicas voltadas ao consumo.

A matriz com a composição da emissão de GEE se mostra bastante útil para mostrar a relação entre geração e destinação de GEE, facilitando a identificação de prioridades das políticas e o cálculo de seus impactos. Um aprofundamento da análise por subsistema / setor, além de estender a análise em nível agregado produzida nesse artigo, pode se beneficiar dos resultados gerados por essa matriz.

Portanto, a combinação da abordagem dos setores e dos subsistemas (ou setores verticalmente integrados) pode ser uma ferramenta muito útil para formulação, implementação e avaliação de políticas públicas relativas à geração de GEE. Todavia, essas abordagens provavelmente se beneficiariam de uma maior desagregação em alguns setores (por exemplo, “Agropecuário”, “Transportes” e “Energético”) ou subsistemas (por exemplo, “Comercial e Outros”, “Alimentos e Bebidas” e “Outras Indústrias”), mas que estão limitadas pelas restrições metodológicas e disponibilidade de dados das matrizes insumo-produto e dos inventários de emissões de GEE.

Finalmente, uma extensão bastante interessante desse artigo é a análise da geração de GEE utilizando a metodologia proposta em outros países e períodos, ou mesmo a aplicação da metodologia proposta para analisar outros insumos com impacto ambiental, como a geração de energia ou o uso de recursos hídricos.

### Agradecimentos

Os Prof. Joanilio Rodolpho Teixeira, Danielle Sandi Pinheiro e Pedro Celso Rodrigues Fonseca, da Universidade de Brasília (UnB), e os consultores Joaquim Maia Neto (Senado Federal) e José Alberto Gonçalves Pereira (free lancer) fizeram críticas e sugestões a uma versão preliminar desse artigo. O autor recebeu apoio

institucional do Ministério do Planejamento para apresentar esse artigo no XII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, em Uberlândia (MG), de 19 a 22 de setembro de 2017. No Encontro, o autor pode se beneficiar das críticas e sugestões dos participantes, em especial dos coordenadores da mesa “Meio ambiente, macroeconomia e desenvolvimento econômico”, Prof. Carlos F. Young e Ademar R. Romeiro. A Sra. Silvia Helena Machado Drummond ajudou a revisar a versão final do artigo. Por fim, o autor agradece aos pareceristas que revisaram o artigo para a publicação, mas assume a responsabilidade por eventuais erros e omissões remanescentes. Esse artigo é parte do projeto do grupo de pesquisa “Crescimento e Distribuição” do CNPq.

### Referências

- Alcántara, V. e E. Padilla., 2009. Input-Output Systems and Pollution: an Application to the Service Sector and CO<sub>2</sub> Emissions in Spain. *Ecological Economics* Vol. 68: 905-914. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.010>
- Butnar, I. e M. Llop., 2011. Structural decomposition analysis and input-output subsystems: Changes in CO<sub>2</sub> emissions of Spanish service sectors (2000–2005). *Ecological Economics* Vol. 70: 2012–2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.05.017>
- Cadarso, M.-Á.; López; L.-A.; Gómez. N. e M.-Á. Tobarra., 2010. CO<sub>2</sub> emissions of international freight transport and offshoring: Measurement and allocation. *Ecological Economics* Vol. 69: 1682–1694. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.03.019>
- Cadarso, M.-Á.; López; L.-A.; Gómez. N. e M.-Á. Tobarra., 2012. International trade and shared environmental responsibility by sector. An application to the Spanish economy. *Ecological Economics* Vol. 83: 221–235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.05.009>
- Christensen, P. P., 1989. Historical roots for ecological economics - Biophysical versus





allocative approaches. *Ecological Economics* Vol. 1: 17-36. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(89\)90022-0](https://doi.org/10.1016/0921-8009(89)90022-0)

Costa Junior, L. e J. R. Teixeira., 2010. Mudança Estrutural e Crescimento Econômico no Brasil: uma Análise do Período de 1990-2003 Usando a Noção de Setor Verticalmente Integrado. *Nova Economia* Vol. 20: 85-116.

De Juan, O. e E. Febrero., 2000. Measuring Productivity from Vertically Integrated Sectors. *Economic Systems Research* Vol. 12: 65-82. <https://doi.org/10.1080/095353100111281>

Duarte, R.; Sánchez-Chóliz. J. e J. Bielsa., 2002. Water use in the Spanish economy: an input-output approach. *Ecological Economics* Vol. 43: 71-85 [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00183-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00183-0)

Elmslie, B. T., 1988. Theory and Evidence of the Relationship Between International Trade and Technological Change: a Cambridge Contribution. Salt Lake City, Utah, EUA: The University of Utah. (Ph. D. Dissertation).

Esteves, E. G. Z., Alves, A. F. e U. A. Sesso Filho., 2017. Análise da decomposição estrutural da emissão de CO<sub>2</sub>: 1995 a 2009. *Espacios (Caracas)* Vol. 38: 22.

Gowdy, J. M., 1991. Bioeconomics and post Keynesian economics: a search for common ground. *Ecological Economics* Vol. 3: 77-87. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(91\)90049-K](https://doi.org/10.1016/0921-8009(91)90049-K)

Guilhoto, J. J. M. e U. A. Sesso Filho., 2005. Estimación da Matriz Insumo-Produto a Partir de Dados Preliminares das Contas Nacionais. *Economia Aplicada* Vol. 9: 277-299.

Guilhoto, J. J. M. e U. A. Sesso Filho., 2010. Estimación da Matriz Insumo-Produto Utilizando Dados Preliminares das Contas Nacionais: Aplicação e Análise de Indicadores Econômicos para o Brasil em 2005. *Economia e Tecnologia* Vol. 6: 53-62. <http://dx.doi.org/10.5380/ret.v6i4.26912>

Judson, D. H., 1989. The convergence of Neo-Ricardian and embodied energy theories of value

and price. *Ecological Economics* Vol. 1: 261-281 . [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(89\)90009-8](https://doi.org/10.1016/0921-8009(89)90009-8)

Mayumi, K.. 2002. Embodied energy analysis, Sraffa's analysis, Georgescu-Roegen's flow-fund model and viability of solar technology. In: Mayumi, Kozo. *The Origins of Ecological Economics: the Bioeconomics of Georgescu-Roegen*. London: Routledge.

Milberg, W. S., 1987. Innovation and International Trade: Theory and Application. New Brunswick, New Jersey, EUA: The State University of New Jersey. (Ph. D. Dissertation).

Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação (MCTI)., 2013. Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. Brasília.

Momigliano, F. e D. Siniscalco., 1982a. The growth of service employment: a reappraisal. *BNL Quarterly Review* Vol. 142: 269-306.

Momigliano, F. e D. Siniscalco., 1982b. Note in tema di terziarizzazione e deindustrializzazione. *Moneta e Credito* Vol. 138: 143-181.

Morishima, M., 1964. Equilibrium, stability and growth: a multi-sectoral analysis. London: Oxford University Press.

Ochoa, E. M., 1986. An Input-Output Study of Labor Productivity in the U.S. Economy, 1947-1972. *Journal of Post Keynesian Economics* Vol. 9: 111-137.

Pasinetti, L. L., 1973. The Notion of Vertical Integration Economic Analysis. *Metroeconomica* Vol. 25: 1-29. <https://doi.org/10.1111/j.1467-999X.1973.tb00539.x>

Patterson, M., 1998. Commensuration and theories of value in ecological economics. *Ecological Economics* Vol. 25: 105-125. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00166-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00166-3)

Patterson, M. G., 2002. Ecological production based pricing of biosphere processes. *Ecological Economics* Vol. 41: 457-478. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00094-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00094-0)

Patterson, M.; G. McDonald e D. Hardy., 2017. Is there more in common than we think? Convergence of ecological footprinting, emergy





analysis, life cycle assessment and other methods of environmental accounting. *Ecological Modelling* Vol. 362: 19–36.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.07.022>

Perdigão, C.; T. F. Faiao; R. L. Rodrigues; E. G. Z. Esteves; U. A. Sesso Filho e I. D. Zaparolli., 2017. Decomposição estrutural das emissões de CO<sub>2</sub> do BRIC. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos* Vol. 11: 293-313.

Proops, J. L. R., 1989. Ecological economics: Rationale and problem areas. *Ecological Economics* Vol. 1: 59-76.

[https://doi.org/10.1016/0921-8009\(89\)90024-4](https://doi.org/10.1016/0921-8009(89)90024-4)

Rampa, G., 1982. “Commento a Momigliano e Siniscalco”. *Moneta e Credito* Vol. 35: 475–479.

Roca, J. e M. Serrano., 2007. Income growth and atmospheric pollution in Spain: An input–output approach. *Ecological Economics* Vol. 63: 230–242.

<http://dx.doi.or/10.1016/j.ecolecon.2006.11.012>

Rymes, T. K., 1983. More on the measurement of total factor productivity. *The Review of Income and Wealth* Vol. 29: 297-316.

<https://doi.org/10.1111/j.1475-4991.1983.tb00646.x>

Sánchez-Choliz, J. e R. Duarte., 2003. Analysing Pollution by Way of Vertically Integrated Coefficients, with an Application to the Water Sector in Aragon. *Cambridge Journal of Economics* Vol. 27: 433-448.

<https://doi.org/10.1093/cje/27.3.433>

Sánchez-Choliz, J. e R. Duarte., 2005. Water pollution in the Spanish economy: analysis of sensitivity to production and environmental constraints. *Ecological Economics* Vol. 53: 325-338.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.09.013>

Soares, F. A. R.; L. Costa Junior; A. C. G. Souza e E. R. Toledo Neto., 2014. Mudanças estruturais na economia brasileira e seus impactos sobre as emissões de gases de efeito estufa. *Caderno de Finanças Públicas* Vol. 14: 289-325.

Souza, A. M.; I. D. Zaparolli; U. A. Sesso Filho e P. R. A. Brene., 2015. Estrutura produtiva do Brasil, Rússia, Índia e China (BRIC) e seus impactos nas emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). *Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPR)* Vol. 34: 25-48.

<http://dx.doi.org/10.5380/dma.v34i0.37800>

Sraffa, P. 1960 [1985]. *Produção de Mercadorias por meio de Mercadorias: Prelúdio a uma Crítica da Teoria Econômica*. Apresentação de Mario Luiz Possas. Tradução de Elizabeth Machado de Oliveira. 2ª edição. São Paulo: Abril Cultural.

Wang, Y.; W. Wang; G. Mao; H. Cai; J. Zuo; L. Wang e P. Zhao., 2013. Industrial CO<sub>2</sub> emissions in China based on the hypothetical extraction method: Linkage analysis. *Energy Policy* Vol. 62: 1238-1244.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.045>

Yuan, R. e T. Zhao., 2016. Changes in CO<sub>2</sub> emissions from China's energy-intensive industries: a subsystem input-output decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production* Vol. 117: 98-109.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.081>

Zafrilla, J. E.; L. A. López; M. Á. Cadarso e Ó. Dejuán., 2012. Fulfilling the Kyoto protocol in Spain: A matter of economic crisis or environmental policies? *Energy Policy* Vol. 51: 708–719.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.011>

Zaparolli, I. D.; A. M. Souza; U. A. Sesso Filho; P. R. A. Brene; M. R. G. Camara., 2018. Análise dos transbordamentos nas emissões de dióxido de carbono: Brasil, Rússia, Índia e China - BRIC. *Revista Econômica do Nordeste* Vol. 49: 149-164.