

XXI ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL

BRASIL NO ACORDO DE PARIS: ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO-ESTUFA

Mariza de Almeida¹
Jéssica Pellenz²
Talita Araujo³
Jéssica Natany Dantas⁴

Resumo: Desde que as nações começaram a perseguir intensivamente o crescimento econômico através do aumento da demanda interna e externa, intensificaram-se também suas emissões de gases poluentes, com seus consequentes impactos negativos sobre o meio ambiente. Até 1970, no entanto, os modelos de insumo-produto, propostos por Leontief, ocupavam-se apenas da contabilização das transações econômicas e da análise da interação das variáveis da economia. Assim, a partir da análise e identificação das interdependências dos setores de atividade econômica, podiam-se contornar os hiatos de produção. Essa preocupação, contudo, não se estendia à poluição, até que os modelos de insumo-produto recebessem uma versão ampliada, para contemplar os impactos (ou gargalos) econômicos causados pelos danos da poluição ambiental. O objetivo deste estudo é, portanto, avaliá-los com base nas metas de redução (37%) de gases de efeito-estufa (CO₂, CH₄, N₂O) propostas pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris, assinado em 2015. Um modelo de insumo-produto ampliado será utilizado para examinar, através dos encadeamentos intersetoriais, o realismo econômico dessas metas. Os resultados apontam que, mantendo-se o atual modelo de produção, a redução proposta para as emissões só será alcançada em caso de decréscimo no produto interno bruto.

Palavras-chave: Acordo de Paris. Modelo de Insumo-produto Ampliado. Emissões. Efeito Estufa.

Abstract: Since nations set out for intensively chasing demand-driven economic growth, their harmful emissions of pollutants have increased, thereby bringing about negative impacts onto the environment. Yet, until 1970, input-output models, put forward by Leontief, had only been concerned with the accountancy of economic transactions and the across-the-board analysis of the economy's interactions. Hence, by identifying and analysing intersectoral dependences throughout the economy, production gaps could be overcome. Such a concern, however, did not spill over pollution damages, until input-output models were extended to account for them. Therefore, the objective of this study is to evaluate them based on greenhouse gases (CO₂, CH₄, N₂O) reduction (37%) targets put forward by Brazil within the Paris Agreement, signed in 2015. An augmented input-output model will be used to gauge, through intersectoral linkages, the economic realism of such targets. The result shows that, if the current production model remains, the proposed emission reduction will only be achieved in case of a decrease in gross domestic product.

Keywords: Paris Agreement. Extended Input-output. Emissions. Greenhouse Effects.

¹ Mestranda em Economia e Desenvolvimento - Universidade Federal de Santa. E-mail: mariza.de.almeida@hotmail.com

² Mestranda em Economia e Desenvolvimento - Universidade Federal de Santa. E-mail: jessipellenz@gmail.com

³ Mestranda em Economia e Desenvolvimento - Universidade Federal de Santa. E-mail: araujo-talita@hotmail.com

⁴ Mestranda em Economia e Desenvolvimento - Universidade Federal de Santa. E-mail: jessica_natany15@hotmail.com

JEL: C67, Q51, Q52.

1 INTRODUÇÃO

A instituição da Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC)⁵, do Plano ABC⁶ e da Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) tem como principais objetivos combater o aquecimento global, a elevação da temperatura e os desequilíbrios ambientais, os quais estão sendo intensificados em decorrência da emissão de gases de efeito estufa (GEE). Essa emissão acontece por obra de alguns setores que aumentaram a produção, dentre os quais se destacam o agropecuário, a indústria, e a geração de energia (BRASIL, 2016b).

Segundo Bates et al. (2008), os principais gases de efeito estufa presentes na atmosfera são o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), ozônio (O₃) e os vapores de água (H₂O). No entanto, os três primeiros são os mais propícios à ação humana, por essa razão foram escolhidos para a presente análise.

O Brasil está entre as dez economias mais importantes do mundo e, embora tenha características urbano-industriais, se destaca mundialmente no setor agropecuário⁷, reconhecido emissor de CH₄ e de N₂O (BRASIL, 2016b). Além disso, está entre os países que mais produzem artigos manufaturados (alumínio, produtos químicos, dentre outros), cuja fabricação, através da queima de combustíveis fósseis, emite CO₂. No mais, as emissões industriais no país se devem à queima de combustíveis fósseis e se espalham pelas cadeias de produção, transformação, distribuição e consumo (OLIVEIRA, 2011; BITTENCOURT et. al., 2014). Analogamente, no setor de energia, as emissões também resultam da extração de recursos, da produção, da transformação e do consumo de energia.

De acordo com a Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2016a), o setor de energia foi, nos anos de 2005 a 2010, o segundo maior emissor de CO₂, passando de 19,7% das emissões em 2005 para 47% em 2010. Esse setor exerce importante impacto na economia local, regional e nacional, entretanto, se suas emissões não forem reduzidas, juntamente com as dos demais setores, os custos gerados ao meio ambiente refletirão em problemas como uma possível interrupção/redução da produção, custos indiretos avaliados por meio das ligações das cadeias produtivas, perda de produto potencial acarretada pelas enchentes, dentre outros (MMA, 2017b).

O setor de processos industriais do Brasil emite gases do efeito estufa (GEE) tanto pela transformação química de seus produtos, quanto pela queima de combustíveis. Esse processo pode ser encontrado nas indústrias de minerais, química, de produção de metais, siderúrgica e de cimento (OLIVEIRA, 2011; BITTENCOURT et. al., 2014). A redução das emissões no setor industrial, conforme o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (MMA, 2017b), primeiramente, tem aspectos relativos à mitigação das emissões de gases de efeito estufa nos processos das indústrias de alumínio, cimento, papel e celulose, química, dentre outros. Em um segundo momento, busca fazer com que as indústrias se adaptem, e, assim, tenham benefícios, como mais eficiência no uso da energia e materiais.

O setor agropecuário proporciona o aumento das emissões dos GEE através da expansão da produção de *commodities* agrícola e da pecuária. Alguns dos determinantes para a emissão de GEE são: o solo agrícola, manejo de dejetos de animais, a fermentação entérica, cultivo do arroz e queima de resíduos agrícolas (BITTENCOURT et. al., 2014; OLIVEIRA,

⁵ Lei no 12.187/2009, decreto nº 7.390/2010.

⁶ Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura.

⁷ Setor com maior participação nas exportações, o que torna a balança comercial brasileira superavitária (BRASIL, 2017a).

2011). Esse setor foi considerado em 2010, o maior emissor de CH₄ e N₂O, causado, principalmente, pela fermentação entérica (66,9%) e solos agrícolas (80,8%), respectivamente (Brasil 2016a). Além disso, o produtor, inicialmente, tem um benefício ao produzir um determinado bem emitindo GEE, porém, com o passar do tempo, a vulnerabilidade acarretada pelas mudanças climáticas gera maiores custos de adaptação à nova realidade ambiental (MMA, 2017b).

A tabela 1 apresenta a participação dos setores agropecuário, industrial e de produção e distribuição de energia nas emissões de gases de efeito estufa referentes à matriz de insumo-produto brasileira de 2010.

Tabela 1 – Percentual de emissões dos setores

Setores	Quantidade percentual de emissões		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Agropecuário	0%	66,9%	80,8%
Industrial	10,9%	0,3%	0,4%
Energia	47%	0%	0%

Fonte: Elaborado pelos autores de acordo com Brasil (2016a).

O estímulo à produção, através de aumentos na demanda interna e externa, faz com que os setores fiquem mais interligados, ou seja, o crescimento verificado em cada setor pode estimular a expansão de outros setores. Esse efeito é medido pelo índice de encadeamento para trás, que assim identifica o(s) setor(es) mais dependente(s) dos insumos fornecidos pelos demais setores da economia. Em contraste, o índice de encadeamento para frente, aponta o(s) produto(s) (ou subproduto(s)) mais utilizado(s) (ou disseminado(s)) na economia (HIRSCHMAN, 1958).

Desde que uma expansão da produção implique um aumento das emissões de gases de efeito-estufa (GEE), estabelece-se uma estreita relação entre a cadeia produtiva e o meio ambiente. Para manter a produção, reduzir as emissões e se adaptar a essas mudanças climáticas, os países vêm desenvolvendo uma série de negociações. Na conferência das Partes (COP) realizada desde 1995 para discutir os tratados ambientais das Nações Unidas, criou-se o Protocolo de Quioto, que entrou em vigor no ano de 2005, que buscava reduzir as emissões de GEE inicialmente em 5% e, depois, em pelo menos 18% em relação aos níveis de emissão de 1990 (MMA, 2017a). Após 2005, o Brasil criou planos, leis e regras para auxiliar na redução de suas emissões.

Adotaram-se medidas de caráter financeiro, enfatizando a responsabilidade ambiental dos bancos, que passaram, por exemplo, a restringir o crédito rural ao infrator ambiental. Paralelamente, empregaram-se também instrumentos fiscais, como o imposto ecológico sobre a circulação de mercadorias e serviços (ICMS ecológico) (BRASIL, 2016b).

No ano de 2015, um novo acordo global, o Acordo de Paris, foi firmado na 21^a Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), COP 21. Esse acordo tem por objetivo manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais e exortar os países signatários a buscar, em conjunto, soluções eficazes urgentes e cientificamente orientadas para as ameaças das mudanças do clima (MMA, 2017a).

Para atingir o objetivo do Acordo de Paris, os países, entre eles o Brasil, buscam frear a emissão de alguns gases, como CO₂, N₂O e CH₄. Para tanto, o Brasil se propôs a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, até 2025. Para isso acontecer, o governo brasileiro pretende implementar as medidas expostas na Contribuição

Nacionalmente Determinada (iNDC), que procura cortar as emissões e, ao mesmo tempo, garantir desenvolvimento econômico (MMA, 2017a), por meio do:

- (a) Aumento da participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira;
- (b) Fortalecimento do cumprimento do Código Florestal em âmbito federal, estadual e municipal;
- (c) Fortalecimento de políticas e medidas voltadas para alcançar desmatamento ilegal zero até 2030;
- (d) Alcance de uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030;
- (e) Desenvolvimento de planos setoriais de mitigação e adaptação nos âmbitos local, regional e nacional;
- (f) Estímulo à adoção de atividades e tecnologias de baixas emissões de gases-estufa;
- e,
- (g) Padrões sustentáveis de produção e consumo, dentre outras.

Diante disso, o governo brasileiro busca garantir o desenvolvimento sustentável, ou seja, um modelo de desenvolvimento econômico e social (que gere emprego, segurança energética, criação de infraestrutura e transferência de tecnologia) aliado à preservação ambiental e ao equilíbrio climático.

Nesse contexto, este trabalho utiliza um modelo ampliado de insumo-produto para avaliar qual deve ser o Valor Bruto da Produção para que o Brasil alcance a meta de redução das emissões de gases de efeito estufa conforme o Acordo de Paris. Os impactos setoriais são medidos através dos índices de encadeamento de três setores da economia, identificando qual setor é mais dependente da emissão de GEE e qual é o poluente que mais se espalha pela economia. Os dados econômicos foram obtidos da matriz insumo-produto do Brasil para o ano de 2005 e 2010 e os das emissões de gases de efeito estufa foram extraídos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).

Na próxima seção, descreve-se a metodologia subjacente ao modelo estendido da matriz insumo-produto, partindo-se da estrutura tradicional proposta por Leontief. Em seguida, especifica-se o modelo matemático resultante que demonstra a interação dos setores e dos gases poluentes. Por fim, analisam-se os resultados do modelo aplicado, levando em consideração as intenções do Brasil no Acordo de Paris e apresentam-se as conclusões.

2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da análise empírica, foram utilizados dados do consumo intermediário das atividades e da demanda final (valores correntes em R\$1.000.000,00) dos setores, retirados das matrizes de insumo-produto de 2005 e 2010, disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). Os dados sobre gases poluentes foram obtidos através do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2017), transformados para mega toneladas (Mt).

2.1 MODELO INSUMO-PRODUTO

A matriz de insumo-produto foi desenvolvida a partir de um modelo de equilíbrio geral, criado pelo economista francês Leon Walras na década de 1870. Através desse modelo

de equilíbrio geral, Walras tinha o intuito de resolver simultaneamente as condições de oferta e demanda para todos os setores da economia. Entretanto, devido à falta de dados abrangentes sobre as transações econômicas dos países além da ausência de métodos computacionais para processá-los, seu modelo não pode ser operacionalizado efetivamente (DAVAR, 2000).

Na primeira metade do século XX, as matrizes de insumo-produto ganham visibilidade a partir de sua aplicação por Wassily Leontief à economia dos Estados Unidos. O modelo insumo-produto foi apresentado pela primeira vez por Leontief no seu livro *The Structure of the American Economy*, publicado em 1941 (DAVAR, 2000). Leontief, portanto, é conhecido como o fundador da análise de insumo-produto moderna e, assim como Walras e os economistas clássicos, considera que o principal objetivo da matriz insumo-produto é descrever a realidade econômica.

O economista russo, naturalizado estadunidense, estava interessado em identificar as interdependências industriais na economia estadunidense e em desenvolver um modelo matemático em que todas as ligações poderiam ser estimadas estatisticamente. A análise de insumo-produto seria então capaz de determinar o nível de produto de cada setor da economia nacional em termos de suas relações com os níveis correspondentes de atividades de todos os demais setores. Para isso, Leontief simplificou o modelo de equilíbrio geral de Walras, de modo que as equações poderiam ser estimadas com base em dados disponíveis para a economia (SILVA, 2001).

2.2 ESTRUTURA TRADICIONAL DA MATRIZ DE INSUMO-PRODUTO

A matriz insumo-produto (MIP), conhecida também como análise interindustrial, possibilita a análise da interdependência das indústrias em uma dada economia. O produto refere-se às atividades industriais, que produzem bens e serviços, e a relação entre os insumos e o consumo de produtos e serviços. A análise insumo-produto viabiliza exames em escalas de níveis distintos, como nacionais, regionais e locais (MILLER; BLAIR, 2009). Trata-se de uma análise quantitativa capaz de mensurar fluxos econômicos, energéticos e ambientais em um sistema econômico para um dado período.

A estrutura da matriz de insumo-produto é baseada em equações lineares, segundo as quais o total de vendas de um setor i ao longo de um ano tem dois destinos: o mercado de insumos dos demais setores e o mercado de demanda final do setor. Os componentes da demanda final são chamados autônomos e incluem as exportações, investimentos, consumo das famílias e consumo da administração pública. Segundo Miller e Blair (2009) a demanda total pelo produto do setor i é representada pela equação (1).

$$Y_i = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{ij} + x_{in} + F_i \quad (1)$$

Em que,

$i = 1, \dots, n$ setores produtivos;

Y_i é o valor da produção do setor i ;

x_{ij} é o consumo intermediário do bem produzido pelo setor i (bem i) pelo setor j ; e,

F_i é a demanda final pelo bem i .

Há, portanto, um sistema de n equações lineares, apresentadas na matriz (2).

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_1 = x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1i} + x_{1n} + F_1 \\ Y_2 = x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2i} + x_{2n} + F_2 \\ \dots \\ Y_i = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{ii} + x_{in} + F_i \\ \dots \\ Y_n = x_{n1} + x_{n2} + \dots + x_{ni} + x_{nn} + F_n \end{array} \right. \quad (2)$$

Supõe-se que o consumo intermediário dos bens produzidos no setor i pelos demais setores são proporções fixas do valor da produção de cada um dos deles (MILLER; BLAIR, 2009). A razão entre x_{ij} e Y_{ij} é chamada coeficiente técnico de produção (equação (3)), que é tida como uma representação fixa das relações existentes entre os setores, ou, em outras palavras, indica o quanto um setor pode adquirir de insumos de outro setor para determinado nível de produção.

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{Y_{ij}} \quad (3)$$

A matriz A , de ordem n por n , formada por esses coeficientes representa os requisitos diretos das relações intersetoriais. Isolando-se x_{ij} na equação (3) e substituindo-a na equação (1), a equação (2) pode, em termos matriciais, ser resumida pela equação (4).

$$AY + F = Y \quad \text{ou} \quad (I - A)Y = F \quad (4)$$

Multiplicando ambos os lados por $(I - A)^{-1}$, tem-se a equação (5).

$$Y = (I - A)^{-1}F \quad (5)$$

A matriz $(I - A)^{-1}$, de ordem n por n , é denominada matriz de impacto intersetorial de Leontief (MILLER; BLAIR, 2009). O produto dessa matriz pelo vetor-coluna F , de demanda final, resulta no vetor Y (ambos de ordem n) dos requisitos de produção diretos e indiretos necessários para o atendimento dessa demanda (equação (5)).

Como a demanda final corresponde à soma dos vários componentes autônomos, é possível, pela mesma metodologia, encontrar os requisitos de produção necessários para atender à demanda de cada um deles: exportações, consumo das famílias, consumo da administração pública e investimento. Por exemplo, $Y_c = (I - A)^{-1}F_c$, onde o subscrito c representa o vetor específico do consumo das famílias (MILLER; BLAIR, 2009).

2.3 MODELO INSUMO-PRODUTO AMBIENTAL

O modelo ampliado de insumo-produto inclui as informações de emissões de poluentes para cada setor estudado e leva em conta a inter-relação das variáveis econômicas e ambientais. A Tabela 2 demonstra as relações entre a demanda final por bens e serviços específicos e o nível de poluentes, em um exemplo genérico com dois setores.

Segundo Giacomelli Sobrinho (2013), a estrutura matemática do modelo aumentado de insumo produto consiste em um conjunto de equações no qual a demanda (X) de um setor j por insumos de outros setores se relaciona com a demanda final (F), com a remuneração dos fatores (V) e com a geração de poluição (R).

Tabela 2 – Modelo estendido de insumo-produto

Setores vendedores	Setores compradores		Demanda Final	Produção Final	Resíduo Ambiental
	A	B			
A	X_{11}	X_{12}	F_1	Y_1	W_1
B	X_{21}	X_{22}	F_2	Y_2	W_2
Remunerações	V_{11}	V_{22}			

Produção Final	Y_1	Y_2
Geração de Poluição	R_{11}	R_{12}

Fonte: Adaptado de Perman *et al* (2003) e Giacomelli Sobrinho (2013).

Utilizando a mesma mecânica da matriz A , constrói-se outra matriz, B , que contém a proporção de g resíduos (representada na matriz ψ), em unidades de peso ou volume para cada unidade produzida pelos setores da economia (GIACOMELLI SOBRINHO, 2013). Obtêm-se, assim, unidades híbridas expressas em megatoneladas por reais (Mt/R\$).

A formalização matemática utilizada para possibilitar a análise a que se propõe este trabalho está relacionada nas equações abaixo, adaptadas de Giacomelli Sobrinho (2013). Além disso, apresentam-se, também, os resultados obtidos.

Os coeficientes da matriz B são expressos pela equação (6).

$$b_{gj} = \psi_{gj}/Y_j \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0,000039155 & 0,001929331 \\ 0,000000002 & 0,000000015 & 0,000000166 \\ 0,000057441 & 0,000000035 & 0,000004360 \end{pmatrix}$$

Vetor de proporção de emissões por setor (equação (7)).

$$\psi_{gj} = b_{gi}Y_j \quad (7)$$

O vetor de demanda final é apresentado pela equação (8).

$$Y = (I - A)^{-1}F \quad (8)$$

$$Y = \begin{pmatrix} 215138 \\ 1654418 \\ 151531 \end{pmatrix}$$

Já o vetor de resíduo ambiental, é construído por meio da equação (9), extraída a partir da equação (7).

$$W = BY \quad (9)$$

Substituindo-se a Eq. 5 na Eq. 9, chega-se à Eq. 10.

$$W = B(I - A)^{-1}F \quad (10)$$

Coefficientes da Matriz W (equação (11)).

$$W_g = \psi_{gj} = b_{gi}Y_j \quad (11)$$

$$W = \begin{pmatrix} 357 \\ 0,04991260 \\ 13,07631980 \end{pmatrix}$$

O efeito multiplicador dos insumos é definido por:

$$\frac{dY}{dF} = L = (I - A)^{-1} \quad (12)$$

$$L = \begin{pmatrix} 1,146405 & 0,134253 & 0,022733 \\ 0,506677 & 1,643349 & 0,276227 \\ 0,035153 & 0,081306 & 1,362228 \end{pmatrix}$$

E, o efeito multiplicador das emissões é calculado pela equação (13).

$$\frac{dW}{dF} = K = B(I - A)^{-1} \quad (13)$$

$$K = \begin{pmatrix} 0,000087 & 0,000221 & 0,002639 \\ 0,000000 & 0,000000 & 0,000000 \\ 0,000066 & 0,000008 & 0,000007 \end{pmatrix}$$

A matriz L representa a variação na demanda intermediária ocasionada por alterações na demanda final (F). Da mesma forma, a matriz W mostra o quanto de poluição é gerado para cada alteração na demanda final. Segundo Giacomelli Sobrinho (2013), quando os efeitos da matriz L são desconsiderados, os insumos serão insuficientes para o apropriado rendimento econômico, gerando um “hiato da produção”. Da mesma forma, quando desconsiderada a matriz W , os poluentes podem ser descartados em maior quantidade do que o ambiente é capaz de absorver, criando o “hiato da poluição”.

2.4 EFEITOS DE ENCADEAMENTO

Segundo Hirschman (1958), o desenvolvimento da economia depende do nível de encadeamento, ou dos *linkages*, dos insumos e produtos. Esses encadeamentos podem ocorrer em duas direções: para trás (*backward linkages*), rastreando os efeitos do fornecimento de insumos para os demais setores; e para frente (*forward linkages*), registrando os efeitos provocados pelos setores compradores de insumos e mensurando quanto da produção de um setor é utilizada como insumo para os demais. Alto índice de encadeamento para trás significa que o setor tem alto poder de demanda por insumos; alto índice de encadeamento para frente indica que o produto fabricado pelo setor é muito demandado na economia. Em termos ambientais, por um raciocínio semelhante, os encadeamentos para frente demonstram o tipo de emissão que mais se espalha pela economia, enquanto os encadeamentos para trás revelam o setor que é mais dependente das emissões.

A formalização matemática do cálculo dos índices de encadeamento, semelhante à realizada por Giacomelli Sobrinho (2013) e Firme e Perobelli (2012), está disposta da seguinte maneira:

Matriz L é expressa pela equação (14).

$$L = (I - A)^{-1} \quad (14)$$

$$L = \begin{pmatrix} 1,146405 & 0,134253 & 0,022733 \\ 0,506677 & 1,643349 & 0,276227 \\ 0,035153 & 0,081306 & 1,362228 \end{pmatrix}$$

Através da matriz L , obtém-se o índice de encadeamento para trás dos insumos (*backward*), que é obtido pela equação (15) e apresentado na Tabela (3)

$$U_j = \frac{\frac{1}{N}Z_j}{\frac{1}{N \times j} \sum_{j=1}^j Z_j} \quad (15)$$

Tabela 3 - Índice de encadeamento para trás dos insumos

Média linha	0,43446	0,80875	0,49289
Backward	0,7508	1,3975	0,8517

Fonte: Elaborado pelos autores.

Por meio da equação (16) obtém-se a matriz K.

$$K = B(I - A)^{-1} \quad (16)$$

$$K = \begin{pmatrix} 0,000087 & 0,000221 & 0,002639 \\ 0,000000 & 0,000000 & 0,000000 \\ 0,000066 & 0,000008 & 0,000007 \end{pmatrix}$$

Após a transformação de a^* (equação (17a)), é obtida a matriz A^* . Além disso, tomando em consideração a análise horizontal da Tabela 2 ao invés da vertical e realizando uma dedução semelhante à equação (5), pode-se chegar à equação (17c).

$$a_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{Y_{ij}} \quad (17a)$$

$$A^* = \begin{pmatrix} 0 & 0,568490 & 0,000079 \\ 0,036135 & 0,362619 & 0,011413 \\ 0,009608 & 0,394526 & 0,258468 \end{pmatrix}$$

$$Y_i a_{ij}^* = x_{ij} \quad (17b)$$

$$Y' = Y' A^* + V \quad (17c)$$

$$Y' = V(I - A^*)^{-1} \quad (17d)$$

$$Y = (I - A^*)^{-1} V' \quad (17e)$$

$$W' = Y' B' \quad (18a)$$

$$W' = V(I - A^*)^{-1} B' \quad (18b)$$

Fazendo a derivação das equações anteriores, define-se a matriz L^* , por meio da equação (19) e define-se, também, a matriz K^* , através da equação (20).

$$\frac{dY'}{dV} = L^* = (I - A^*)^{-1} \quad (19)$$

$$L^* = \begin{pmatrix} 1,146405 & 1,032411 & 0,016012 \\ 0,065887 & 1,643349 & 0,025300 \\ 0,049909 & 0,0887710 & 1,362228 \end{pmatrix}$$

$$\frac{dW'}{dV} = K^* = B(I - A^*)^{-1} \quad (20)$$

$$K^* = \begin{pmatrix} 0,000098 & 0,001777 & 0,002629 \\ 0,000000 & 0,000000 & 0,000000 \\ 0,000066 & 0,000063 & 0,000006 \end{pmatrix}$$

Com os resultados da matriz K^* , calcula-se o índice de encadeamento para trás das emissões (backward), por meio da equação (21), apresentado na Tabela 4.

$$U_{ig^*} = \frac{\frac{1}{j}Z_j}{\frac{1}{N \times j} \sum_{i,g=1}^N Z_{ig^*}} \quad (21)$$

Tabela 4 - Índice de encadeamento para trás das emissões

Média linha	0,00098	0,00000	0,00002
Backward	2,9191	0,0003	0,0806

Fonte: Elaborado pelos autores.

Através dos resultados da matriz L^* , tem-se a equação (22), que apresenta o índice de encadeamento para frente dos insumos (forward), em que os resultados são mostrados na Tabela 5.

$$V_j = \frac{\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i,g=1}^N (Z_{i,g,j} - \frac{1}{N}Z_j)^2}}{\frac{1}{N}Z_j} \quad (22)$$

Tabela 5 - Índice de encadeamento para frente dos insumos

Média linha	Forward	Desvio-padrão	Índ. Variação
0,73160	1,057	0,50813	0,694549
0,57817	0,835	0,75337	1,303007
0,76661	1,107	0,54255	0,707722

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a formação do índice de encadeamento para frente das emissões (forward) (Tabela 6), utiliza-se a equação (23) através da matriz K^* .

$$V_{i,g}^* = \frac{\sqrt{\frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (Z_{i,g,j}^* - \frac{1}{N}Z_{i,g}^*)^2}}{\frac{1}{N}Z_{i,g}^*} \quad (23)$$

Tabela 6 - Índice de encadeamento para frente das emissões

Média linha	Forward	Desvio-padrão	Índ. Variação
0,00150	2,911	0,00105	0,6999
0,00000	0,000	0,00000	0,6666
0,00004	0,088	0,00002	0,6007

Fonte: Elaborado pelos autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 7 apresenta os dados utilizados para as análises. A medida do consumo intermediário dos setores está em milhões de reais (R\$ 10⁶) em valores correntes. Para os gases de efeito estufa, a unidade estabelecida é a de mega toneladas (Mt = 10⁶).

Tabela 7 – Tabela insumo-produto ambiental (2005)

SETORES	Agrop.	Ind.	Prod. e dist.	F	Y
Agrop.	12700	137485	17	72372	215138
Ind.	52535	699410	18882	975828	1654418
Prod. e dist.	7504	34413	44132	51126	151531
Y	215138	1654418	151531		
CO ₂ (Mt)	0	64,77865	292,3534172		
N ₂ O(Mt)	0,0004275	0,024272	0,025213281		
CH ₄ (Mt)	12,3577	0,058017	0,660602458		

Fonte: Adaptado de IBGE (2005).

Com base nos dados da Tabela 7, foram calculados os coeficientes técnicos puros (matriz *A*) – que se referem apenas aos dados da matriz de demanda intermediária dos setores – e os coeficientes técnicos naturais (matriz *B*) – extraídos das emissões de gases por setor. Os resultados são apresentados abaixo (matrizes (24) e (25)).

$$A = \begin{pmatrix} 0,04811 & 0,06258 & 0,00008 \\ 0,19901 & 0,31835 & 0,09547 \\ 0,02842 & 0,01566 & 0,22314 \end{pmatrix} \quad (24)$$

$$B = \begin{pmatrix} 0,00000 & 0,00003 & 0,00192 \\ 0,00000 & 0,00000 & 0,00000 \\ 0,00005 & 0,00000 & 0,00000 \end{pmatrix} \quad (25)$$

A matriz *A* contém os coeficientes técnicos puros, calculados conforme equação (3). Na matriz *B* encontram-se os coeficientes técnicos naturais, que descrevem os processos tecnológicos vigentes, determinados pela quantidade de poluentes emitidos dividida pelo valor bruto da produção de cada setor (matriz (25)). Os resultados apresentados na Tabela 8 mostram que, utilizando o modelo de insumo-produto ambiental, é possível determinar o poluente que mais se espalha na economia através do índice de encadeamento para frente, e o setor que é mais dependente de gases poluentes através do índice de encadeamento para trás.

Tabela 8 – Resultados da pesquisa

	SETORES	Agrop.	Ind.	Prod. e dist.	Forward	Índ. Variação
Insumo	Agrop.	12700	137485	17		
	Ind.	52535	699410	18882		
	Prod. e dist.	7504	34413	44132		
	Backward	0.75075362	1.39752180	0.85172456		
Produto	Agrop.	12700	137485	17	1.05703334	0.69454982
	Ind.	52535	699410	18882	0.83535583	1.30300712

	Prod. e dist.	7504	34413	44132	1.10761081	0.70772226
Poluidor	CO ₂ (Mt)	0	64.7786530	292.353417		
	N ₂ O(Mt)	0.00042751	0.02427180	0.02521328		
	CH ₄ (Mt)	12.3577004	0.05801693	0.66060245		
	Backward	2.91911351	0.00028145	0.08060503		
Poluente	CO ₂ (Mt)	0	64.7786530	292.353417	2.91173045	0.69999643
	N ₂ O(Mt)	0.00042751	0.02427180	0.02521328	0.00026659	0.66669254
	CH ₄ (Mt)	12.3577004	0.05801693	0.66060245	0.088002952	0.60078471

Fonte: Elaborado pelos autores.

Verifica-se que, na matriz insumo-produto de 2005, com agregação de três setores, o setor industrial foi o que apresentou maior índice de ligações para trás (1,39), seguido do setor de produção e distribuição de eletricidade, gás e água (0,85). O setor industrial, portanto, é o setor mais dependente e com grande poder de demanda de insumo. Os índices de encadeamento para frente revelam que o setor agropecuário (1,057) é aquele cujo produto é o mais demandado. Logo, os produtos agropecuários são os que estão mais extensamente distribuídos pela economia.

Quanto às emissões, o índice de encadeamento para frente do poluente demonstra que a emissão de CO₂ é a que mais se espalha pela economia, enquanto o índice de encadeamento para trás revela que o setor mais dependente das emissões é o agropecuário.

Relacionando os dados das matrizes insumo-produto de 2005 e 2010, as intenções do Brasil no Acordo de Paris (as quais preveem uma redução das emissões de GEE até 2025 tendo como base a matriz insumo-produto de 2005) e considerando constantes o processo técnico e a participação de cada setor no PIB, realizou-se uma simulação de quanto deveria ser o Valor Bruto da Produção (VBP) setorial para que a redução declarada de GEE seja satisfeita. Na Tabela 9, apresentam-se os resultados, que são comparados com os valores observados nas matrizes insumo-produto do Brasil de 2005 e 2010.

Tabela 9 – Simulação de redução dos poluentes e VBP

SETORES	VBP 2005 (R\$ 10 ⁶)	VBP 2010 (R\$ 10 ⁶)	VBP* 2025 (R\$ 10 ⁶)
Agrop.	215.138,00	221.398,02	135.581,89
Ind.	1.654.418,00	1.713.702,60	1.047.160,76
Prod. e dist.	151.531,00	124.798,04	95.364,87
POLUENTES	W 2005 (Mt)	W 2010 (Mt)	W* 2025 (Mt)
CO ₂ (Mt)	357,13	427,92	224,9919
N ₂ O(Mt)	0,05	0,50	0,0315
CH ₄ (Mt)	13,08	13,07	8,2404

Fonte: Elaborado pelos autores.

Percebe-se que o VBP dos setores agropecuário e industrial apresentou crescimento de 2005 a 2010, enquanto que apenas o de produção e distribuição de eletricidade, gás e água teve seu VBP reduzido. Todavia, para que o país alcance a meta estabelecida de 37% de redução dos GEE, os VBPs de todos os setores necessariamente sofreriam uma redução até 2025. O VBP agropecuário deveria ser reduzido para R\$135.581,89 (milhões), embora, em 2010 tenha aumentado em relação a 2005. O mesmo ocorre para os demais setores.

4 CONCLUSÃO

Embora as discussões ambientais tenham adquirido destaque nas reuniões entre as lideranças mundiais, as implicações econômicas das variáveis ambientais, aparentemente, não estão sendo levadas em consideração para a formulação das propostas de mitigação dos danos climáticos. É indispensável que as questões ambientais sejam estudadas, também, sob a perspectiva da economia positiva, ou seja, devem ser analisadas de forma técnica, aplicando metodologias que permitam observar se as propostas realizadas são, de fato, viáveis do ponto de vista econômico. Dessa forma, é possível que o engajamento dos países nas ações ambientais ocorra de forma mais responsável e menos retórica.

Nesse sentido, a análise da matriz-insumo produto ambiental brasileira demonstra como estimar a quantidade de emissões de GEE associada às alterações no produto final da economia brasileira. Mais que isso, evidencia que as variáveis ambientais não podem estar dissociadas das políticas macroeconômicas, já que a produção de bens depende, mais ou menos intensivamente, das emissões de GEE. A metodologia utilizada pode facilmente estendida para qualquer tipo de impacto ambiental gerado pela produção e consumo de bens nos diversos setores da economia.

O que se pode projetar da análise realizada é que, apesar da boa intenção brasileira, a proposta de redução de GEE estabelecida no Acordo de Paris não é economicamente viável, já que a política econômica brasileira dedica-se ao crescimento econômico via aumento da produção. Para que haja o decréscimo das emissões sem que o crescimento econômico seja comprometido, é necessário que sejam realizadas mudanças nos processos produtivos (por exemplo, maior eficiência) dos setores, de maneira que a produção possa ser realizada com menor potencial poluidor. Porém, essa é uma análise que foge do escopo deste artigo, e deve ser retomada em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

BATES, B. C., et al.. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, **IPCC Secretariat**, Geneva, 210 pp. Disponível em <https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_technical_papers.shtml>. Acesso em 06 mar. 2018.

BITTENCOURT, F. et al.. Inventário de Emissões por Fontes de Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Distrito Federal. **Secretaria de Estado de Agricultura e Desenvolvimento Rural**. Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/wp-content/uploads/2016/06/inventario-de-emissoespor-fontes-e-remocoes-por-sumidouros-de-gases-de-efeito-estufa-do-df.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

BRASIL. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume III**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016a. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/publicacoes>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

_____. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Sumário Executivo**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016b. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/publicacoes>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

DAVAR, E.. Leontief and Walras: input-output and reality. **13º International Conference on Input-Output Techniques**, Mecerata, Itália, 21-25 August, 2000. Disponível em: <https://www.iioa.org/conferences/13th/files/Davar_Leontief&Walras.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2017.

FIRME, V. A. C.; PEROBELLI, F. S.. O Setor Energético Brasileiro: Uma análise via indicadores de Insumo-Produto e o Modelo Híbrido para os anos de 1997 e 2002. **Planejamento e Políticas Públicas**, v. 39, p. 123-153, 2012.

GIACOMELLI SOBRINHO. Before Green Growth Goes Brown: Polluters, Waste and the Linkage Hypothesis. In: ISWA World Congress Vienna 2013, Viena. **ISWA Congress Kit**. Viena: City of Vienna MA48 and ISWA.

HIRSCHMAN, A., 1958. The strategy of economic development. **New Haven**: Yale university Press. Disponível em: <<http://www.rrojasdatabank.info/pioneers4.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Matriz de Insumo-Produto**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D., 2009. **Input-output analysis: foundations and extensions**. Cambridge University Press.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Mudança do Clima**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 02 dez. 2017a.

_____. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao>>. Acesso em: 04 dez. 2017b.

OLIVEIRA, M. S. **Análise da Intensidade de Emissão de Efeito Estufa na Demanda Final Brasileira Através do Modelo de Insumo-Produto**. Dissertação- Curso de Ciências Econômicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9011/1/2011_MarileneSilvadeOliveira.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2017.

PERMAN, R.; Ma, Y.; MCGILVRAY, J.; COMMON, M., 2003. **Natural Resource and Environmental Economics**, Pearson Education Ltd. Harlow, UK.

SILVA, M.A.S. **Environmental Input-Output Analysis: Application to Portugal**. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão de Tecnologia, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2001.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Base de dados**. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/>>. Acesso em: 02 dez. 2017.