

Mendonça, Mário Jorge; Pereira, Amaro Olimpio; Aylmer, Rodrigo R. de Bragança

**Working Paper**

## Decomposição estrutural do consumo de energia elétrica no Brasil

Texto para Discussão, No. 2786

**Provided in Cooperation with:**

Institute of Applied Economic Research (ipea), Brasília

*Suggested Citation:* Mendonça, Mário Jorge; Pereira, Amaro Olimpio; Aylmer, Rodrigo R. de Bragança (2022) : Decomposição estrutural do consumo de energia elétrica no Brasil, Texto para Discussão, No. 2786, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, <https://doi.org/10.38116/td2786>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/269154>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



<https://creativecommons.org/licenses/by/2.5/br/>

TEXTO PARA DISCUSSÃO

2786

**DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL  
DO CONSUMO DE ENERGIA  
ELÉTRICA NO BRASIL**

**MÁRIO JORGE MENDONÇA  
AMARO OLÍMPIO PEREIRA JR.  
RODRIGO R. DE BRAGANÇA AYLMER**



**DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL  
DO CONSUMO DE ENERGIA  
ELÉTRICA NO BRASIL**

**MÁRIO JORGE MENDONÇA<sup>1</sup>  
AMARO OLÍMPIO PEREIRA JR.<sup>2</sup>  
RODRIGO R. DE BRAGANÇA AYLMER<sup>3</sup>**

---

1. Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Dirur/Ipea). *E-mail*: <mario.mendonca@ipea.gov.br>.

2. Professor adjunto do Programa de Planejamento Energético, no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ). *E-mail*: <amaro@ppe.ufrj.br>.

3. Doutorando do Coppe/UFRJ. *E-mail*: <alymer@ppe.ufrj.br>.

**Governo Federal**

**Ministério da Economia**  
**Ministro** Paulo Guedes

**ipea** Instituto de Pesquisa  
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério da Economia, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

**Presidente**

**ERIK ALENCAR DE FIGUEIREDO**

**Diretor de Desenvolvimento Institucional**

**ANDRÉ SAMPAIO ZUVANOV**

**Diretor de Estudos e Políticas do Estado, das  
Instituições e da Democracia**

**FLÁVIO LYRIO CARNEIRO**

**Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas**  
**MARCO ANTÔNIO FREITAS DE HOLLANDA CAVALCANTI**

**Diretor de Estudos e Políticas Regionais,  
Urbanas e Ambientais**

**NILO LUIZ SACCARO JUNIOR**

**Diretor de Estudos e Políticas Setoriais de  
Inovação e Infraestrutura**

**JOÃO MARIA DE OLIVEIRA**

**Diretor de Estudos e Políticas Sociais**  
**HERTON ELLERY ARAÚJO**

**Diretor de Estudos e Relações Econômicas e  
Políticas Internacionais**

**PAULO DE ANDRADE JACINTO**

**Assessor-chefe de Imprensa e  
Comunicação (substituto)**

**JOÃO CLÁUDIO GARCIA RODRIGUES LIMA**

**Ouvidoria:** <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>  
**URL:** <http://www.ipea.gov.br>

## Texto para Discussão

Publicação seriada que divulga resultados de estudos e pesquisas em desenvolvimento pelo Ipea com o objetivo de fomentar o debate e oferecer subsídios à formulação e avaliação de políticas públicas.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2022

Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica  
Aplicada.- Brasília : Rio de Janeiro : Ipea , 1990-

ISSN 1415-4765

1. Brasil. 2. Aspectos Econômicos. 3. Aspectos Sociais.  
I. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CDD 330.908

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos).  
Acesse: <http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério da Economia.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

JEL: C67; D57; C80.

DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2786>

# SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO .....	6
2 CONDIÇÕES DE ATENDIMENTO DE ENERGIA DO SIN .....	7
3 A MATRIZ INSUMO-PRODUTO HÍBRIDA DO BRASIL COMO FERRAMENTA PARA CÁLCULO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA .....	10
4 RESULTADOS .....	21
5 CONCLUSÃO .....	24
REFERÊNCIAS .....	25
APÊNDICE A .....	27
APÊNDICE B .....	31
APÊNDICE C .....	32

## SINOPSE

O objetivo deste trabalho é analisar os setores com maior potencial de contribuição para a redução do consumo de energia, ao considerar suas intensidades energéticas. Para isso, são feitas as análises do multiplicador do consumo de eletricidade e da decomposição estrutural da matriz insumo-produto (MIP) híbrida entre 2015 e 2018, que combina dados do *Balanco Energético Nacional* da Empresa de Pesquisa Energética (BEN/EPE) e das Contas Nacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os resultados mostram que muitos setores tiveram ganhos expressivos de eficiência energética no período analisado. Pode-se notar também que a implementação de medidas de eficiência energética na atualidade pode ser mais complexa do que foi em 2001. O setor de transportes possui relevante conexão de consumo elétrico com os setores de serviços e energético, além de apresentar maior multiplicador de demanda energética (MDE). A prioridade para medidas de eficiência deve ser dada ao setor *outras indústrias, papel e celulose e agropecuário*. Atenção especial também deve ser dada aos setores de *mineração e pelotização, minerais não metálicos, indústria de alumínio* (não ferrosos) e *siderurgia* (aço e derivados).

**Palavras-chave:** racionamento; matriz insumo-produto híbrida; intensidade energética; decomposição estrutural; efeito multiplicador.

## ABSTRACT

The goal of this paper is to identify the sectors with the greatest potential to contribute to reducing electricity consumption. To this end, we apply the analysis consumption multiplier and the structural decomposition on the hybrid Input-Output Matrix between which combines data from the National Energy Balance and the National Accounts, are performed. The results for the period 2015-2018 show that many sectors had significant energy efficiency gains. It can also be noted that the implementation of energy efficiency measures today may be more complex than it was in 2001. The transport sector has a relevant connection of electrical consumption with the service and energy sectors, and has a higher multiplier energy demand. Priority for efficiency measures should be given to the Other Industries, Pulp and Paper and Agriculture sectors. Special attention should also be given to the Mining and Pelletizing, Non-metallic Minerals, Aluminum Industry (non-ferrous) and Steel Industry (steel and derivatives) sectors.

**Keywords:** rationing; hybrid input-output matrix; energy intensity; structural decomposition and multiplier effect.



## 1 INTRODUÇÃO

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é caracterizado pela forte presença de usinas hidrelétricas, cuja geração é complementada por termelétricas convencionais e nucleares, usinas eólicas e solares. Esse perfil, entretanto, vem mudando ao longo dos anos. Em 2000, a geração proveniente de usinas hidráulicas no SIN, segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), representava 94% do total e agora está em 67%.<sup>1</sup>

Se, por um lado, as mudanças trouxeram benefícios para o sistema, uma vez que diversificação das fontes de geração reduz a vulnerabilidade do SIN, por outro, causa preocupação porque o potencial hidrelétrico está se esgotando e, com este, a capacidade de regularização do sistema também está tendo o mesmo destino.<sup>2</sup> Assim sendo, quando há uma condição hidrológica desfavorável no Brasil, o risco de um racionamento de energia cresce.

Os eventos de secas prolongadas estão ficando cada vez mais frequentes. Na história recente, destaca-se o racionamento em 2001, em que os consumidores foram obrigados a reduzir 20% do consumo em relação à média dos três anos anteriores. Em 2008, as vazões afluentes dos rios voltaram a preocupar, mas o sistema estava mais preparado e não gerou grandes efeitos adversos. No entanto, em 2014, as afluições, assim como nível dos reservatórios, caíram abaixo do patamar de 2001; isso obrigou o ONS a despachar as termelétricas na sua capacidade máxima, o que elevou demasiadamente as tarifas de energia.

Em 2021, as vazões afluentes e os níveis dos reservatórios voltaram a cair, trazendo uma combinação de consequências ruins para o consumidor: risco de racionamento e tarifas elevadas. Em agosto, o SIN atingiu simultaneamente o recorde histórico de maior geração termelétrica e a menor geração hidrelétrica desde 2001 (Amato, 2021). A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), responsável pelas bandeiras tarifárias, acionou a tarifa de escassez hídrica, que aumentou R\$ 14,20/100kWh consumido, prevista para durar até abril de 2022 (Sant’Ana, 2021).

Caso seja confirmada a necessidade de racionamento, será necessário elaborar planos de contingência para que os impactos sobre os consumidores e a economia sejam minimizados, sabendo-se que uma redução de 20% no consumo não seja tão fácil de ser alcançada como

---

1. Disponível em: <<https://bit.ly/3b2C8dc>>.

2. A capacidade de regularização do sistema é dada pela relação entre a geração hidrelétrica e a demanda máxima.

**TEXTO para DISCUSSÃO**

ocorreu em 2001, quando havia muito desperdício de energia. Agora será necessário implementar medidas de eficiência energética mais contundentes.

O objetivo deste trabalho é analisar as mudanças ocorridas no consumo de eletricidade na economia brasileira entre 2015 e 2018, com o intuito de identificar os *drivers* responsáveis por essa mudança, no tocante aos diversos setores da economia brasileira. Para tal, são feitas as análises do multiplicador do consumo de eletricidade e da decomposição estrutural, com base na matriz insumo-produto (MIP) híbrida (Mu, Xia e Kang, 2010), que utiliza para sua construção os dados do *Balço Energético Nacional* da Empresa de Pesquisa Energética (BEN/EPE) e das Contas Nacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), relativos a esses anos. A identificação dos *drivers* permite também conhecer, para cada setor, as fontes com maior potencial de contribuição para a redução do consumo de eletricidade energia, ao considerar suas intensidades energéticas.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma. A seção 2 faz uma descrição da composição das fontes de energia usadas para a produção de eletricidade no Brasil. A seguir, a seção 3 descreve sucintamente toda a metodologia empregada na construção no modelo de matriz insumo-produto híbrida composta de dados das Contas Nacionais e do BEN. Os resultados obtidos das análises do multiplicador e da decomposição estrutural aplicadas sobre a MIP híbrida são apresentados e discutidos na seção 4. Por fim, a seção 5 apresenta as conclusões do estudo.

## **2 CONDIÇÕES DE ATENDIMENTO DE ENERGIA DO SIN**

Entre 2000 e 2020, o consumo de energia no Brasil cresceu em termos anuais em média 2,5%, enquanto a capacidade instalada do parque de geração de energia elétrica aumentou 3,1%, segundo dados do OSN.<sup>3</sup> Isso mostra que o país atraiu investimentos para a expansão do setor de forma adequada. Entretanto, conforme mencionado anteriormente, o sistema é dependente das condições climáticas por conta da predominância de usinas hidrelétricas.

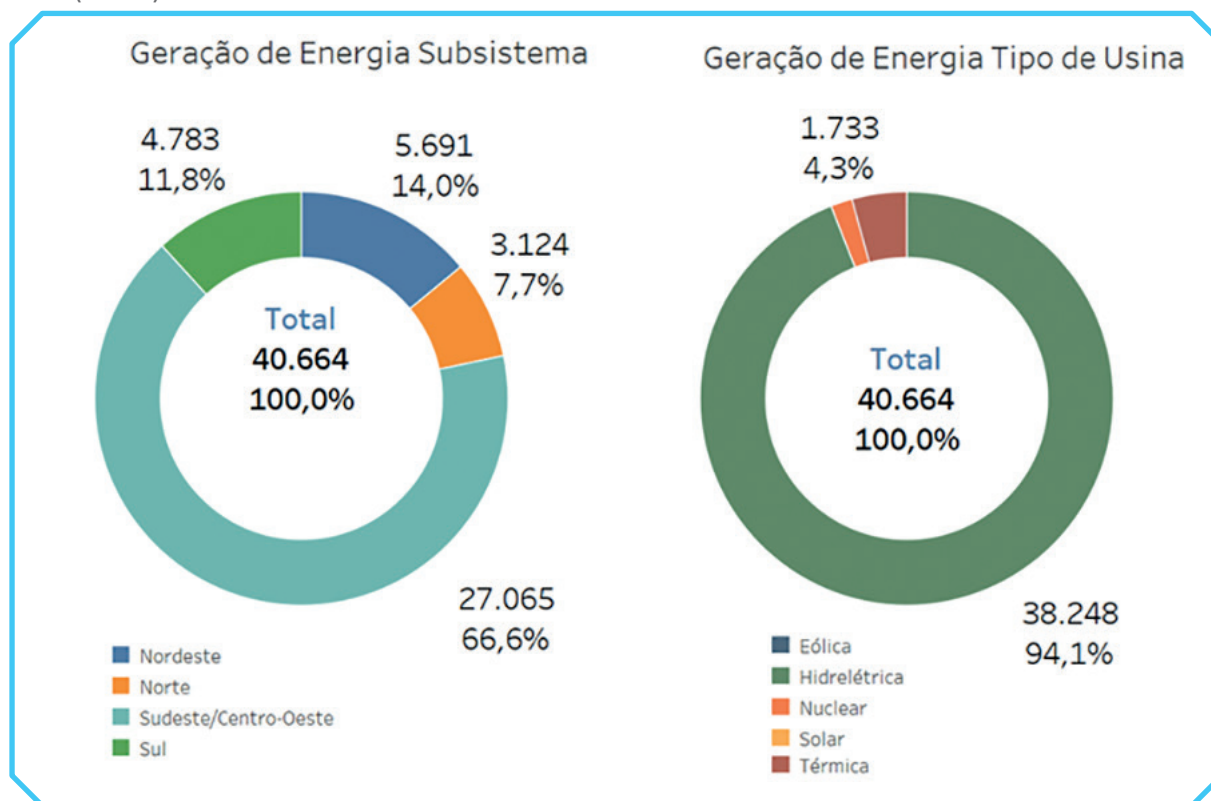
Em 2000, às vésperas do racionamento, a maior parte da energia era gerada no subsistema Sudeste/Centro-Oeste, e a geração hidrelétrica representava 94% do total, não havendo usinas eólicas ou solares, conforme ilustra o gráfico 1.

3. Disponível em: <<https://bit.ly/3b2C8dc>>.



**GRÁFICO 1****Estrutura de geração de energia do SIN (2000)**

(Em %)



Fonte: ONS.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

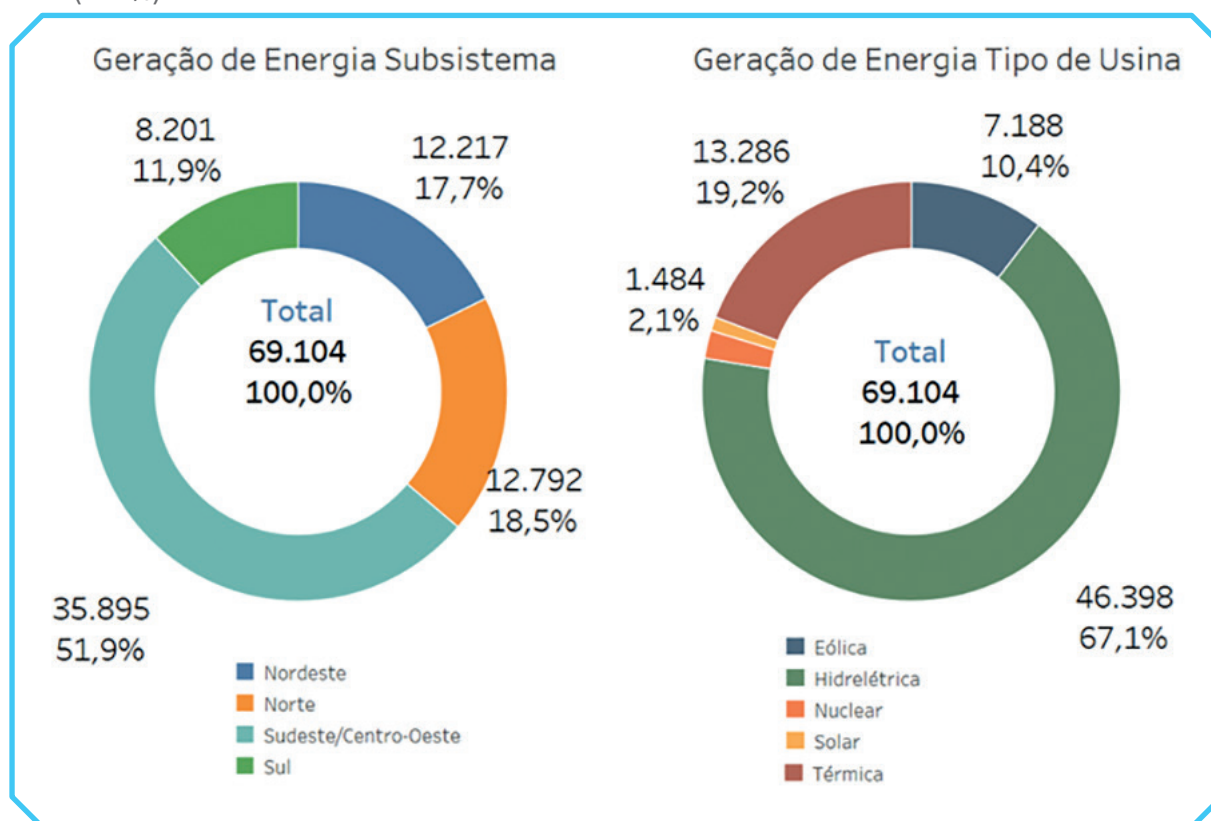
No final de 2020, em que as condições hidrológicas voltaram a ficar desfavoráveis, a participação do subsistema Sudeste/Centro-Oeste caiu para 52%, e a geração hidrelétrica passou a representar 67% do total produzido pelo SIN, com destaque para a expansão das usinas eólicas e solares, conforme ilustra o gráfico 2.

## TEXTO para DISCUSSÃO

### GRÁFICO 2

#### Estrutura de geração de energia do SIN (2020)

(Em %)



Fonte: ONS.

Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

As condições de atendimento da demanda de energia não se alteraram muito, em função da ainda grande dependência de geração hidráulica. O subsistema Sudeste/Centro-Oeste abriga 70% da capacidade de armazenamento. E a energia natural afluente (ENA)<sup>4</sup> aos reservatórios das hidrelétricas neste subsistema tem se reduzido, quando comparada à média de longo termo (MLT), que chegou ao patamar de 80%.

As baixas afluências refletem-se no nível dos reservatórios, ou no nível de energia armazenada (EAR), que voltou ao patamar de 2001.

4. A ENA é a quantidade de água que chega em uma usina e que é capaz de ser transformada em energia.

Tal situação eleva o risco de racionamento, o que exige a implementação de planos de contingências. Neste trabalho, serão avaliados os setores produtivos com prioridades para adoção de medidas de eficiência energética. Para isso, a intensidade energética dos setores da economia será decomposta do efeito estrutura e do efeito renda, a partir de técnicas de decomposição derivadas da MIP híbrida, que agrega componentes monetários e energéticos, conforme descrito na metodologia a seguir.

### 3 A MATRIZ INSUMO-PRODUTO HÍBRIDA DO BRASIL COMO FERRAMENTA PARA CÁLCULO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA

Embora a metodologia original de insumo-produto de Leontief tenha sido desenvolvida para uma contabilidade física de fluxos; por exemplo, toneladas de carvão ou aço (Leontief, 1991), Miller e Blair (2009) apontam que a multiplicidade de unidades físicas consideradas, associada ao fato de que estudos comparativos de diferentes unidades seriam truncados, levou à adoção do equivalente em dólar de cada unidade física comerciada como modelo hegemônico. Essa harmonização permitiu que novas frentes da teoria de insumo-produto surgissem e, depois, retornassem à análise de fluxos físicos de energia (Miller e Blair, 2009).

As crises geopolíticas dos anos 1960 e 1970, com o Oriente Médio e a dependência americana do óleo árabe produzido pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep) revelada pelos cortes no fornecimento, realçaram a relevância de estudos que versassem sobre a dependência energética da economia, especialmente em relação ao petróleo (Miller e Blair, 2009). A partir dessas crises, foram desenvolvidas múltiplas metodologias de estudos híbridos econômico-energéticos.

O objetivo desta seção é descrever o processo de montagem da MIP híbrida, com base nas informações disponibilizadas das Contas Nacionais e do BEN.

Na subseção 3.1, apresenta-se a estrutura básica do modelo de insumo-produto, para, em seguida, na subseção 3.2, ser mostrado que a MIP pode ser obtida com base nas matrizes de uso de produtos pelos setores como insumos (matriz  $U$ ) e a produção dos setores dos diferentes produtos (matriz  $V$ ). A subseção 3.3 revela que o BEN contém dados energéticos para categorias setoriais diferentes das categorias setoriais da MIP. Esta deve então ser compatibilizada com os dados do BEN, no qual está inserida a produção de energia elétrica nacional, a ser tratada na subseção 3.4, que, por sua vez, apresenta a metodologia para a construção da matriz insumo-produto híbrida. Por fim, as metodologias para análise da decomposição estrutural e do multiplicador, capazes de identificar os *drivers* da mudança de consumo de eletricidade, são apresentadas na subseção 3.5.

## TEXTO para DISCUSSÃO

### 3.1 Estrutural básica da MIP

Uma economia funciona de forma a equacionar o equilíbrio entre a oferta e a demanda em uma vasta rede de atividades que se relacionam. Nos processos produtivos, certos elementos são criados a partir de outros elementos, que são, por sua vez, usados e consumidos em outros processos produtivos, de maneira que existem múltiplas relações causais simultâneas (Leontief, 1991).

A MIP é uma representação do sistema econômico em tabelas que descrevem o fluxo de bens e serviços entre os setores de uma economia por intermédio de entradas-saídas. Nessa tabela, temos como relações fundamentais as transações entre  $n$  setores e o consumo final dos produtos dos setores. As linhas de uma MIP descrevem a estrutura da saída do que é produzido por cada setor, enquanto as colunas denotam uma estrutura de entrada do que é consumido pelos setores. Formalmente, uma MIP pode ser definida da seguinte maneira:

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} + y_i = x_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Nesse sistema, temos que:

- $x_i$  é a produção total do setor  $i$ ;
- $z_{ij}$  é a produção do setor  $i$  vendida ao setor  $j$ ;
- a submatriz quadrada  $Z = [z_{ij}]$  de ordem  $n$  do sistema (1) é o núcleo da matriz IO. Esta reflete o fluxo intermediário de mercadorias entre todos os setores; e
- $y_i$  representa a produção do setor  $i$  vendida para a demanda final.

Tomando-se  $x' = [x_1, \dots, x_j, \dots, x_n]$  como um vetor linha e definindo-se  $a_{ij} = z_{ij}/x_j$ , pode-se reescrever (1) em função do coeficiente  $a_{ij}$  e da produção total, da seguinte maneira:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + y_i = x_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

O sistema de equações em (2) pode ser reescrito na forma matricial:

$$AX + Y = X \quad (3'), \quad (2.1)$$

em que:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

$$X = [x_1, \dots, x_n]'$$

$$Y = [y_1, \dots, y_n]'$$

Resolvendo em  $X$ , temos que:

$$X = (I - A)^{-1}Y. \quad (3)$$

A equação (3) mostra a intrínseca relação entre a produção e a demanda final  $Y$ . Assim, ao aumentar-se a demanda final de um setor qualquer  $y_n$ , é possível determinar a forma como a produção total de cada setor da economia muda, por meio de  $L = (I - A)^{-1}$ .  $L$  é a matriz dos coeficientes diretos e indiretos da variação da demanda final como um todo (Guilhoto, 2011), também conhecida como matriz de Leontief. Cada elemento  $l_{ij}$  da matriz  $L$  deve ser interpretado como sendo a produção total do setor  $i$  que é necessária para produzir uma unidade de demanda final no setor  $j$  (Owen, 2017).

### 3.2 Elaboração da MIP por meio de tabela e quadros de recursos e usos

A teoria básica da matriz insumo-produto apresentada anteriormente não é passível de ser obtida diretamente das informações divulgadas pelos órgãos oficiais. Isso ocorre porque, entre as hipóteses da MIP, cada produto é produzido por apenas um setor e cada setor produz apenas um produto (Miller e Blair, 2009). Contudo, isso não é o que ocorre na prática: a título de exemplo, a indústria automobilística produz carros e autopeças; dois produtos distintos. Uma MIP que considere cada produto individualmente, a fim de que haja somente um  $z_{ij}$  para cada relação setorial, cresce em complexidade matemática por causa do cálculo da matriz  $L$ , uma matriz inversa. Assim, um modelo que aborde individualmente todos os produtos da economia seria inviável, e algum nível de agregação é necessário.

Tomando por base a metodologia da Organização das Nações Unidas – ONU (UN, 1993) para elaboração das Contas Nacionais, Guilhoto e Sesso Filho (2005; 2010) estabeleceram uma metodologia capaz de gerar a MIP usando dados das matrizes de produção e de usos e recursos, disponibilizados pelo IBGE.

A tabela 1 mostra que a matriz de produção  $V$  informa o que cada setor da indústria produz de cada produto. Por sua vez, a matriz de usos e recursos  $U$  fornece a quantidade de produtos que cada setor emprega na sua produção; ou melhor, seu conjunto de produtos usados como insumos. A obtenção de uma estrutura de insumo-produto dá-se pela combinação dessas duas matrizes, o que gera um sistema nos moldes da forma original de Leontief (Miller e Blair, 2009; Guilhoto, 2011; Guilhoto e Sesso Filho, 2005).

## TEXTO para DISCUSSÃO

**TABELA 1**

**Estrutura de apresentação das Contas Nacionais**

	Produtos	Setores	Demanda final	Produção total
Produtos	-	U	e	q
Setores	V	Z	y	x
Valor adicionado		W	-	-
	q'	x'	-	-

Fonte: Miller e Blair (2009).

Assumindo-se que existam  $n$  setores e  $m$  produtos na economia, temos as análises descritas a seguir:

- $V$  é uma matriz de produção de dimensão  $n \times m$ , em que o elemento  $v_{ij}$  corresponde ao bem  $j$  produzido pelo setor  $i$ ;
- $U$  é a matriz de usos de dimensão  $m \times n$ , em que cada elemento  $u_{ij}$  é o valor do produto  $i$  utilizado pelo setor  $j$ ;
- $e$  é o vetor de demanda final, por produto, de dimensão  $m \times 1$ ;
- $W$  é o vetor do total do valor adicionado à produção gerado em cada setor, de dimensão  $1 \times n$ ;
- $q$  é o vetor de produção total, por produto, de dimensão  $m \times 1$ ; e
- $x$  é o vetor de produção total, por setor, de dimensão  $n \times 1$ .

Definida originalmente no sistema de Leontief, a matriz  $Z$ , referente ao consumo intermediário setor por setor e ao vetor  $Y$  relacionado à demanda final setorial, não é usualmente apresentada pelos órgãos estatísticos e precisa ser obtida mediante as combinações das outras matrizes disponíveis (Guilhoto e Sesso Filho, 2005). Portanto, pode-se chegar a uma forma semelhante ao sistema de Leontief, baseando-se na premissa de que a participação de dado setor no mercado se mantém constante (Guilhoto, 2011).

Partindo-se da matriz de uso  $U$ , é possível definir uma matriz  $B$  de coeficientes de setor por produto semelhante à matriz  $A$ , tal que cada elemento  $b_{ij}$  representa a matriz de coeficientes técnicos de cada setor em relação a cada produto utilizado como insumo (Guilhoto, 2011); ou seja, a participação do produto  $i$  na produção total do setor  $j$ :

$$B = U\hat{X}^{-1} \rightarrow b_{ij} = \frac{u_{ij}}{x_i}, \quad (4)$$

em que  $\hat{X}^{-1}$  representa a matriz de produção total por setor  $X$  diagonalizada, na qual cada elemento foi elevado à -1 – isto é:

$$\hat{X}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{x_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{x_2} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{x_n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

De maneira semelhante, define-se a matriz  $D$ , em que o elemento  $d_{ij}$  simboliza a o quanto da produção total de  $j$  foi realizada pelo setor  $i$ :

$$D = V\hat{Q}^{-1} \rightarrow d_{ij} = \frac{v_{ij}}{q_i}, \quad (6)$$

em que  $\hat{Q}^{-1}$  representa a matriz de produção total por produto  $Q$  diagonalizada, em que cada elemento foi elevado à -1, como ocorre à  $\hat{X}^{-1}$  em (5). A partir das equações (4) e (6), é possível manipular algebricamente o sistema insumo- produto e, resolvendo em  $X$ , chegar à estrutura de Leontief setor por setor:

$$X = (I - DB)^{-1}Y. \quad (7)$$

Assim, partindo-se das Contas Nacionais, é possível elaborar a MIP setor por setor. É importante colocar que nesse enfoque o produto matricial  $DB$  equivale à matriz de coeficientes técnicos  $A$ , uma vez que a matriz  $D$  relaciona setor por produto e a matriz  $B$ , produto por setor.

Ao se observar as unidades de  $B$  e  $D$ , fica visível que outro enfoque destacando a relação produto por produto depende somente da inversão do produto matricial  $DB$  por  $BD$ . Entretanto, a abordagem expressa pela equação (7) é o padrão para transformar as matrizes de produção e de usos e recursos no modelo de Leontief (Guilhoto, 2011). Uma discussão mais aprofundada dessa metodologia foge do escopo deste trabalho e pode ser encontrada em Guilhoto e Sesso Filho (2005; 2010) e em Miller e Blair (2009).

### 3.3 O Balanço Energético Nacional

O BEN é um documento publicado pela EPE<sup>5</sup> que reporta detalhadamente, em base anual, os fluxos físicos de comercialização, consumo e produção do setor energético brasileiro (Montoya, Lopes e Guilhoto, 2014; EPE, 2020). Os dados apresentados explicitam tanto a oferta e a demanda

5. Disponível em: <<https://bit.ly/3OK4aJl>>. Acesso em: set. 2021



## TEXTO para DISCUSSÃO

de energia por fonte, quanto o consumo de energia por setor da economia, o comércio externo de energia, o balanço dos centros de transformação,<sup>6</sup> os recursos e as reservas energéticas e os balanços estaduais (EPE, 2020)

A matriz energética brasileira é classificada no BEN em fontes de energia primárias e secundárias, segundo o quadro 1. O quadro 2, por sua vez, mostra a classificação dos setores da economia.

### QUADRO 1

#### Vetores energéticos do BEN

Fontes primárias de energia	Fontes de energia secundária	
Petróleo	Biodiesel	Urânio contido no UO2
Gás natural	Óleo diesel	Eletricidade
Carvão vapor	Óleo combustível	Carvão vegetal
Carvão metalúrgico	Gasolina	Álcool etílico anidro e hidratado
Urânio U308	GLP <sup>1</sup>	Outras fontes secundárias de petróleo
Energia hidráulica	Nafta	Produtos não energéticos de petróleo
Lenha	Querosene	Alcatrão
Produtos de cana	Gás de cidade e coqueria	
Outras fontes primárias	Gás de carvão natural	

Fonte: EPE (2020).

Nota: <sup>1</sup> Gás liquefeito de petróleo.

### QUADRO 2

#### Setores da economia, segundo o BEN

Setores	
Setor energético	Indústria - total
Residencial	Indústria – cimento
Comercial	Indústria – ferro-gusa e aço
Público	Indústria – ferro-ligas
Agropecuário	Indústria – mineração e pelotização
Transporte total	Indústria – não ferrosos e outros da metalurgia
Transporte – rodoviário	Indústria – química

(Continua)

6. Tais como: centrais elétricas, refinarias, destilarias etc.

(Continuação)

Setores	
Transporte – ferroviário	Indústria – alimento e bebidas
Transporte – aéreo	Indústria – têxtil
Transporte – hidroviário	Indústria – papel e celulose
	Indústria - cerâmica
	Outros

Fonte: EPE (2020).

Embora o BEN seja uma das bases de dados mais completas e sistematizadas sobre energia no país, para a análise energética integrada da economia, existem duas barreiras relevantes (Montoya, Lopes e Guilhoto, 2014), conforme descrito adiante.

- 1) O BEN não apresenta um balanço desagregado do consumo setorial energético, em unidades físicas. Uma base de dados desse tipo permitiria a análise integrada de fluxos e transferências de produtos energéticos entre os setores e dos setores para a demanda final.
- 2) Conforme mostra o quadro 2, o nível de agregação setorial do BEN é de dezenove setores,<sup>7</sup> o que difere da estrutura que é apresentada os dados econômicos na MIP brasileira provenientes das Contas Nacionais. Essa categorização reduzida tanto impede uma compatibilização direta dos dados econômicos da MIP com os dados energéticos do bem, quanto limita o nível de detalhamento dos estudos energéticos da economia aos setores do BEN.

Apesar desses desafios, é possível compatibilizar os dados do consumo energético do BEN com os dados econômicos da MIP brasileira, com o objetivo de realizar estudos dos impactos ambientais do consumo energético da economia, como será visto na subseção 3.4. A MIP híbrida é uma formulação consistente para mapear os fluxos energéticos do consumo intersetorial da atividade econômica (Miller e Blair, 2010).

### 3.4 A MIP híbrida

O objetivo desta seção é a montagem da matriz de insumo-produto híbrida com base nas informações disponibilizadas pelo IBGE (Contas Nacionais) e pela EPE (Balanço Energético Nacional). A MIP deve ser compatibilizada com os dados BEN, no qual está inserido a produção de energia elétrica nacional. A partir da compatibilização das duas fontes de dados, a metodologia de Mu, Xia e Kang (2010) foi usada para criar a MIP energética e elétrica.

7. Os totais do transporte e da indústria não foram contabilizados, uma vez que são somente a soma dos demais setores explicitados.

## TEXTO para DISCUSSÃO

Conforme visto na subseção 3.4, no Brasil, embora o BEN e a MIP apresentem setores consumidores compatíveis com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0), a forma como a agregação dos setores se dá é diferente. A matriz energética é composta por dezenove setores e expressa em unidades físicas, e a MIP possui 68 setores,<sup>8</sup> sendo expressa em unidades monetárias.

A subseção 3.3 mostrou que a MIP pode ser obtida com base nas matrizes de uso de produtos pelos setores como insumos (matriz  $U$ ) e a produção dos setores dos diferentes produtos (matriz  $V$ ). Essas matrizes são obtidas pelo site do IBGE,<sup>9</sup> na matriz de uso e recursos (quadro 2) e na matriz de produção (tabela 1).

A correspondência dos produtos para os setores foi feita com base em Montoya, Lopes e Guilhoto (2014). Nas últimas versões da MIP (2010 e 2015) divulgadas pelo IBGE, as 67 atividades não são mais as mesmas que a da versão de 2008, utilizada no trabalho de Montoya, Lopes e Guilhoto (2014). Por essa razão, a classificação mostrada no quadro 1 foi feita de maneira adaptada e resultou em treze setores da economia. No apêndice A, apresentamos como a compatibilização entre os setores do BEN e a MIP foi elaborada.

A partir da MIP nacional compatibilizada com o bem, aplicou-se a nossa metodologia para previsão setorial do consumo de energia elétrica. Essa metodologia tem por base o modelo desenvolvido por Mu, Xia e Kang (2010) que é chamado de matriz de insumo-produto de eletricidade (Mipe). Esta descreve as inter-relações do consumo de eletricidade entre vários setores de uma economia.

Podemos calcular a intensidade de eletricidade do setor  $i$  ( $g_i$ ), definido pela razão entre o consumo de eletricidade em unidades físicas e a produção expressa em unidades monetárias:

$$g_i = \frac{E_i^x}{x_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (8)$$

em que  $E_i^x$  é o consumo de eletricidade do setor  $i$ . Podemos também definir o consumo direto de eletricidade ( $c_{ij}$ ), de modo que:

$$c_{ij} = \frac{E_{ij}^x}{E_j^x}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (9)$$

8. O Nereus disponibiliza as MIPs em 42 setores, 56 setores e 68 setores. Para esse estudo, utilizou-se a versão com 68 setores, visto que essa versão possui os dados mais recentes.

9. Disponível em <<https://bit.ly/3OtBPXu>>. Acesso em: 23 set. 2021.

em que:

$E_{ij}^x = z_{ij}g_i$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ) representa a eletricidade consumida nos processos produtivos do setor  $i$ , que foi entregue ao setor  $j$  de maneira embutida nas transações setoriais;

$E_i^y = z_i g_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) representa a eletricidade usada pelo setor  $i$  para atender à demanda final; e

$E_j^x = X_j g_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) representa a eletricidade total consumida pelo setor  $j$  na produção total.

Com base na intensidade de eletricidade do coeficiente direto  $c_{ij}$ , podemos multiplicar a equação (1) por  $g_i$ ,

$$\sum_{j=1}^n z_{ij}g_i + y_i g_i = x_i g_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (10)$$

Podemos reescrever a equação X da seguinte forma:

$$\sum_{j=1}^n E_{ij}^x + E_i^y = E_i^x, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

Substituindo-se (9) em (11), tem-se que

$$\sum_{j=1}^n c_{ij}E_{ij}^x + E_i^y = E_i^x, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (12)$$

que pode ser reescrita da seguinte forma matricial:

$$CE^X + E^y = E^X, \quad (13)$$

em que:

$$\begin{aligned} E^X &= [E^{X_1}, E^{X_2}, \dots, E^{X_n}]' \\ E^y &= [E^{y_1}, E^{y_2}, \dots, E^{y_n}]' \\ C &= \begin{pmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & \cdots & c_{nn} \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (14)$$

O elemento  $c_{ij}$  funciona de maneira semelhante ao coeficiente técnico  $a_{ij}$  e descreve a quantidade de eletricidade consumida pelo setor  $j$ , que é diretamente derivada da quantidade de eletricidade consumida pelo setor  $i$ , a cada unidade do consumo total de eletricidade do setor  $j$  (Mu, Xia e Kang, 2010). Em outras palavras,  $c_{ij}$  é o elemento que descreve o grau de inter-relação

## TEXTO para DISCUSSÃO

do consumo elétrico dos setores e aponta para a relevância do setor  $i$  como fornecedor implícito de eletricidade ao setor  $j$ .<sup>10</sup>

Por fim, resolvendo em  $E^X$ , temos que

$$E^X = Q \cdot E^Y \rightarrow Q = (I - C)^{-1} . \quad (15)$$

De modo semelhante à matriz inversa de Leonfief, o elemento  $q_{ij}$  calcula o quanto o setor  $i$  demandará de eletricidade para atender ao acréscimo de uma unidade de demanda final elétrica no setor  $j$ . De  $q_{ij}$ , pode-se derivar o multiplicador de demanda de eletricidade – MDE ( $m_j$ ), definido como:

$$m_j = \frac{1}{q_{jj}} \sum_{i=1}^n q_{ij} . \quad (16)$$

O MDE pode ser visto como o total que todos os setores da economia demandarão de eletricidade em resposta ao aumento do consumo elétrico da demanda final do setor  $j$ . Quanto maior for o MDE, mais a economia como um todo precisará consumir eletricidade para atender à demanda final do setor  $j$ , e, portanto, um setor com alto MDE é um setor estratégico para abordagens de eficiência energética, visto que são setores dominantes do consumo de eletricidade – ou seja, uma pequena alteração do consumo dos produtos desses setores eleva em muito a demanda elétrica global da economia (Mu, Xia e Kang, 2010).

A metodologia até aqui descrita permite elaborar uma fotografia do consumo elétrico para um ano-base. Entretanto, a evolução do consumo de energia e eletricidade demanda uma ferramenta que consiga explicar os fatores que levam às alterações no consumo. A análise de decomposição estrutural (SDA) é uma ferramenta que permite tal análise e será objeto da próxima subseção.

### 3.5 Análise de decomposição estrutural

De acordo com Ferreira (2016), existem duas abordagens principais para a decomposição estrutural energética: a análise de decomposição estrutural e a análise de decomposição de índice (IDA). A principal diferença entre as duas abordagens está no fato de a IDA utilizar dados mais agregados que a SDA. Tal fato dificulta o uso da MIP com a abordagem IDA, o que não acontece com a SDA. Assim, sendo, optou-se neste estudo pela abordagem SDA.

10. Ao falar-se de eletricidade fornecida pelo setor  $i$  ao setor  $j$ , entende-se isso como o conteúdo de energia elétrica embutido no comércio intersetorial entre  $i$  e  $j$ , o que está expresso na equação  $x$  – equação que fala da intensidade elétrica da economia. Assim, o critério de transferência de eletricidade entre os setores não depende do setor  $i$  ser *per se* produtor de eletricidade, mas sim demandante de eletricidade para seu processo produtivo.

A análise de decomposição estrutural é um instrumento de que visa decompor as mudanças observadas na produção total por meio de efeitos observáveis. O SDA é aplicado como meio de desagregar a mudança de determinada quantidade dessa economia nos seus diversos componentes, quando existem dois ou mais conjuntos de dados de MIP – ou seja, dois ou mais anos (Miller e Blair, 2009; Cabral e Perobelli, 2012).

Em abordagem simplificada, a variação total da produção bruta entre dois períodos pode ser decomposta nas parcelas referentes à mudança no consumo intermediário – ou seja, na estrutura produtiva – e àquela relacionada com a mudança na demanda final (Cabral e Perobelli, 2012):

$$\Delta E^X = \frac{1}{2} \Delta L^* (E^y(0) + E^y(1)) + \frac{1}{2} (L^*(0) + L^*(1)) \Delta E^y . \quad (17)$$

Em (17), o primeiro termo da soma simboliza as mudanças na estrutura produtiva e o segundo termo, na composição da demanda final (Miller e Blair, 2009). Para a aplicação da SDA no modelo IO de Leontief hibridizada, a forma original do método SDA deve passar por certas manipulações algébricas, de modo que o objetivo de determinar os fatores responsáveis pela mudança no padrão de consumo de eletricidade das atividades econômicas possa ser atingido.

Outra maneira de abordar a decomposição estrutural considera que é possível quantificar o montante de eletricidade embutido no consumo final ( $w_c$ ) da seguinte forma:

$$w_c = W * L * y , \quad (18)$$

em que  $W$  é uma matriz diagonal na qual cada elemento desta é a intensidade de eletricidade  $g_i$ , termo já definido em (8). Pode ser mostrado que a variação de  $w_c$  entre dois períodos é expressa por:

$$\begin{aligned} \Delta w_c &= w_c(1) - w_c(0) \\ &= \frac{1}{2} \Delta W (L(0)y(0) + L(1)y(1))_{\text{efeito intensidade}} \\ &\quad + \frac{1}{2} \Delta L (W(0)y(0) + W(1)y(1))_{\text{efeito estrutural}} + \\ &\quad + \frac{1}{2} y (W(0)L(0) + W(1)L(1))_{\text{efeito do consumo final}}. \end{aligned} \quad (19)$$

A equação (17) nos dá que a variação do consumo elétrico embutida no consumo final pode ser expressa pela soma de três efeitos, conforme descrito a seguir.

- 1) O efeito intensidade, que expressa a variação do uso de eletricidade por produção total do setor – ou seja, a intensidade elétrica do setor.

## TEXTO para DISCUSSÃO

- 2) O efeito estrutura, causado por variações tecnológicas na estrutura produtiva, que, por sua vez, mudam a forma como os setores demandam dos insumos em seus processos produtivos.
- 3) O efeito consumo final, ou efeito renda, que mostra como a estrutura da demanda final por produtos da economia se alterou no período considerado.

A esses efeitos, conforme sugestão de Cabral e Perobelli (2012), adicionou-se o efeito volume da demanda final, que representa o impacto direto no consumo de energia, o qual a variação da demanda final  $\Delta E^y$  entre 2015 e 2018 causou. Esse efeito difere do efeito consumo final, uma vez que o primeiro considera apenas as alterações quantitativas da demanda final, enquanto o segundo abrange as mudanças da estrutura, que vêm do perfil de consumo de bens e serviços da economia. O efeito direto é obtido com base na análise do multiplicador, explicitada a seguir.

### 3.6 Multiplicador de demanda de eletricidade

Adicionalmente, foi analisado o efeito direto do consumo de energia elétrica, que contempla o aumento do consumo da demanda final. Esse cálculo foi feito a partir do efeito MDE referente ao setor  $j$  e é medido pelo somatório do aumento ocorrido no consumo de todos os setores devido ao aumento de uma unidade nesse setor, o qual é representado por  $m_j$ . Definindo-se  $q_{ij}$  como um elemento da matriz  $(I_n - C)^{-1}$ , tem-se que  $q_{ij}$  representa o aumento no consumo de eletricidade no setor  $i$  devido a um aumento de uma unidade no consumo de energia do setor  $j$ . Portanto, a soma dos elementos de uma mesma coluna,  $\sum_{i=1}^n q_{ij}$ , aponta o consumo total de energia em todos os setores advindo da elevação de uma unidade no consumo de eletricidade do setor  $j$ .

Quanto maior for a MDE do setor  $j$ , maior será o impacto sobre o consumo de eletricidade de todos os setores. Os setores com maiores MDEs são identificados como setores dominantes. Assim, uma pequena alteração no consumo de eletricidade desses setores pode ter significativo impacto sobre o consumo de eletricidade da economia.

A seção seguinte mostra os resultados obtidos a partir da elaboração da MIP híbrida e da decomposição estrutural com quatro termos: efeito renda (consumo final); efeito demanda final; efeito estrutura; e efeito intensidade.

## 4 RESULTADOS

Os resultados da decomposição estrutural são mostrados nos gráficos 3 e 4 e indicam que a mudança no consumo de energia elétrica entre 2015 e 2018 é explicada, na maior parte, por três efeitos: o efeito renda; o efeito intensidade; e o efeito estrutura. Conforme se observa, o efeito direto não é tão significativo. Os três principais efeitos estão associados a mudanças na renda, na estrutura produtiva e na intensidade energética.

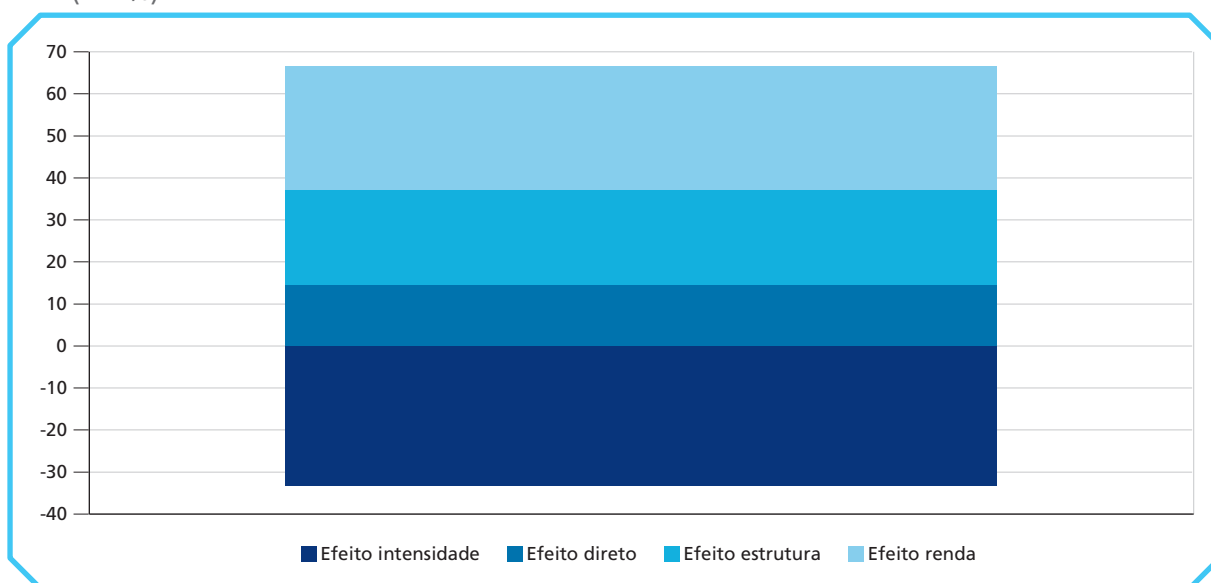


A análise desses três fatores deve levar em consideração os seguintes fatos. Primeiro, entre 2015 e 2018, o crescimento econômico foi basicamente nulo.<sup>11</sup> Em 2016, a taxa foi negativa e em torno de -3,0%. Nos dois anos seguintes que se seguiram, a taxa de crescimento foi de aproximadamente 1,0% em cada ano. Em 2015, houve elevação significativa na tarifa de energia, o que incentivou a redução da intensidade energética – ou seja, houve ganho de eficiência energética, como mostra o gráfico 3. Cabe lembrar que a intensidade energética é definida como o consumo de energia do setor dividido pelo consumo total dos setores. Os resultados da decomposição estrutural para todos os setores são mostrados no gráfico 4. Com base, nos resultados, podemos tecer as seguintes considerações.

### GRÁFICO 3

#### Decomposição total (2015-2018)

(Em %)



Elaboração dos autores.

Com relação ao efeito intensidade, temos que os setores agropecuário, de minerais não metálicos e de outras indústrias apresentaram um efeito intensidade positivo, ao passo que todos os demais apresentaram melhoria na eficiência energética. Isso indica que no plano geral houve aumento da eficiência energética. Tendo-se em vista que no setor de outras indústrias estão inseridas as indústrias automotiva e de equipamentos eletroeletrônicos, ambas altamente demandantes de eletricidade, é possível que se possa implementar medidas para redução da intensidade energética nesses setores.

11. Foi utilizado o deflator implícito do produto interno bruto (PIB) para 2015.

## TEXTO para DISCUSSÃO

Em grande parte dos setores em que houve elevação do consumo de energia, este foi impulsionado pelo efeito renda. Destaca-se nessa situação os setores agropecuário e de alimentos e bebidas. No setor agropecuário, cujo aumento no consumo de eletricidade foi de cerca de 14.0%, a maior parte desse aumento foi devida ao efeito renda. Considerando-se que nesse setor está incluso o agronegócio, atividade fortemente exportadora, presumimos que o expressivo valor do efeito renda tenha como fato gerador as exportações, que, por sua, pertencem à demanda final.

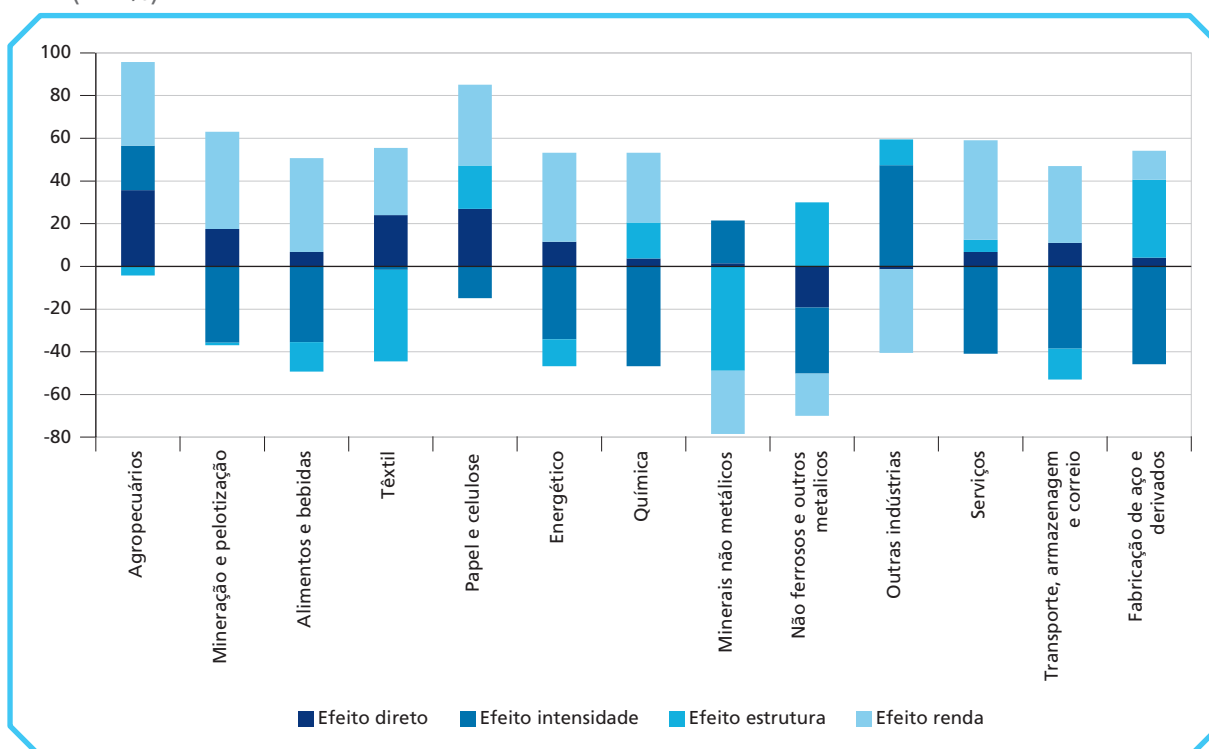
Quanto ao setor de alimentos, uma possível explicação para o tamanho do efeito renda, apesar da recessão no período pós 2015, deu-se por conta da reorientação dos gastos das famílias para insumos necessários. Foi observado forte efeito renda no setor de serviços, ao passo que a indústria pesada, representada em parte pelo setor de minerais não metálicos e não ferrosos, apresentou efeito renda negativo e, no caso dos não ferrosos, redução no consumo direto.

Nota-se um efeito estrutura positivo, em algumas indústrias energo-intensivas como papel e celulose, fabricação de aço e derivados e não ferrosos, que ainda têm grande importância na economia. No entanto, cabe frisar que, como no caso do setor de minerais não metálicos, houve melhoria no efeito estrutura, possivelmente relacionada com mudanças no processo produtivo poupadoras de energia.

### GRÁFICO 4

#### Decomposição setorial (2015-2018)

(Em %)



Elaboração dos autores.

Os resultados mostram ainda que a implementação de medidas de eficiência energética na atualidade pode ser mais complexa do que foi em 2001, pois a atividade econômica encontra-se em nível bem retraído. No entanto, cabe notar que a implementação de medidas visando aumentar a eficiência no uso da eletricidade se tornará mais difícil, na medida em que houve acentuada queda da intensidade do consumo de eletricidade na maior parte dos setores.

A prioridade deve ser no setor de outras indústrias, papel e celulose e agropecuário. O elevado efeito renda no caso dos dois últimos pode indicar espaço para tarifação, caso tal efeito tenha como principal origem as exportações. No caso do primeiro, pode haver espaço para melhoria da eficiência energética.

Atenção especial também deve ser dada aos setores de mineração e pelotização, minerais não metálicos, indústria de alumínio (não ferrosos) e siderurgia (aço e derivados). Os setores que impulsionaram com maior escala o consumo energético da economia foram: agropecuário; papel e celulose; outras indústrias; e mineração e pelotização. Os que menos influenciaram o consumo de eletricidade no restante da economia foram: transporte; minerais não metálicos e não ferrosos; e outros da metalurgia.

O setor de transportes, entretanto, possui o maior MDE e a maior intensidade elétrica do seu produto; isso mostra que a eficiência energética na indústria de transportes pode representar um recurso com impactos relevantes em cadeia. A conexão entre a demanda elétrica do setor energético e o setor de transporte mostrou-se mais sensível ao acréscimo da demanda final, como era de se esperar, uma vez que o setor energético é fornecedor de energia para o setor de transportes. Foi observado também uma relação semelhante entre o setor de serviços e o de transporte.

Entre 2015 e 2018, foi observado um aumento no MDE dos setores de mineração, alimentos, energético, química, minerais não ferrosos, serviços, transporte e fabricação de aço e derivados, sendo o setor de transportes o que contabilizou maior acréscimo. O forte efeito renda da decomposição estrutural indica que o aumento do consumo energético do setor de transporte está associado a um aquecimento da economia de serviços e a uma maior demanda por transporte privado, o que explica a forte conexão entre os setores de transporte e energético.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, procurou-se avaliar os setores com maior potencial de absorver medidas de eficiência energética para atenuar os efeitos de um racionamento. Os resultados mostraram que tal

## TEXTO para DISCUSSÃO

tarefa pode ser bem mais complexa comparado a 2001, pois a intensidade energética dos setores é bem menor, por conta do período recessivo em 2015 e da elevação de tarifas.

Não foi avaliado neste estudo o efeito das medidas nos setores residencial e governamental, pois a MIP é limitada para captar os efeitos nesses setores. Nesse caso, seria necessária uma análise com bases de dados mais detalhadas, tal como a Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) do IBGE.

Setores com maior MDE devem ser priorizados em ações de eficiência energética, como o setor de transportes, alimentos e bebidas e outras indústrias. Em especial destaque, os vínculos setoriais de consumo elétrico do setor energético e do setor de serviços com o setor de transportes são relevantes, e um estudo futuro pode aprofundar a análise desse trabalho, ao identificar pontos-chave de consumo elétrico, a fim de propor medidas de eficiência.

## REFERÊNCIAS

AMATO, F. Crise hídrica: Brasil tem em agosto recorde de geração de energia térmica, solar e eólica, diz ONS. **G1**, 29 set. 2021. Disponível em: <<http://glo.bo/3N0aZVK>>. Acesso em: set. 2021.

CABRAL, J. A.; PEROBELLI, F. S. Análise de decomposição estrutural para o setor de saúde brasileiro: 2000-2005. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, n. 42, n. 3, p. 363-402, dez. 2012.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2019**. Rio de Janeiro: EPE, 2020.

FERREIRA, D. V. **Determinantes da evolução do consumo de diesel no Brasil entre 2000 e 2008**. 2016. Dissertação (mestrado) – Programa de Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

GUILHOTO, J. J. M. **Análise de insumo-produto: teoria e fundamentos**. Munich: Aug. 2011. (MPRA Paper n. 32566).

GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimção da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das Contas Nacionais. **Economia Aplicada**, v. 9, n. 1, p. 277-299, abr./jun. 2005.

\_\_\_\_\_. Estimção da matriz insumo-produto utilizando dados preliminares das Contas Nacionais: aplicação e análise de indicadores econômicos para o Brasil em 2005. **Economia & Tecnologia**, v. 23, n. 6, out./dez. 2010.

LEONTIEF, W. The economy as a circular flow. **Structural change and economic dynamics**, v. 2, n. 1, p. 181-212, June 1991.

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

MONTOYA, M. A.; LOPES, R. L.; GUILHOTO, J. J. M. Desagregação setorial do Balanço Energético Nacional a partir dos dados da matriz insumo-produto: uma avaliação metodológica. **Economia Aplicada**, v. 18, n. 3, p. 379-419, set. 2014.

MU, T.; XIA, Q.; KANG, C. Input-output table of electricity demand and its application. **Energy**, v. 35, n. 1, p. 326-331, Jan. 2010.

OWEN, A. (Ed.). **Techniques for evaluating the differences in multiregional input-output databases**. Berlin: Elsevier, 2017.

SANT'ANA, J. Governo anuncia bandeira tarifária 'escassez hídrica'; custo será de R\$ 14,20 a cada 100 kWh. **G1**, 31 ago. 2021. Disponível em: <<https://is.gd/MfOevU>>. Acesso em: set. 2021.

UN – UNITED NATIONS. **System of National Accounts**. New York: UN, 1993.

## BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2010**: ano-base 2009. Rio de Janeiro: EPE, 2010.

# TEXTO para DISCUSSÃO

## APÊNDICE A

### QUADRO A.1

**Compatibilização dos setores da matriz de insumo produto (MIP) e o *Balço Energético Nacional (BEN)***

Código dos produtos	Código para agregação	Nome do setor
0191 Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e à pós-colheita	1	Agropecuários
0192 Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	1	Agropecuários
0280 Produção florestal; pesca e aquicultura	1	Agropecuários
0580 Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos	2	Mineração e pelotização
0680 Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio	2	Mineração e pelotização
0791 Extração de minério de ferro, inclusive os beneficiamentos e a aglomeração	2	Mineração e pelotização
0792 Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos	2	Mineração e pelotização
1091 Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	3	Alimentos e bebidas
1092 Fabricação e refino de açúcar	3	Alimentos e bebidas
1093 Outros produtos alimentares	3	Alimentos e bebidas
1100 Fabricação de bebidas	3	Alimentos e bebidas
1200 Fabricação de produtos do fumo	3	Alimentos e bebidas
1300 Fabricação de produtos têxteis	4	Têxtil
1400 Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	4	Têxtil
1500 Fabricação de calçados e de artefatos de couro	4	Têxtil

(Continua)

(Continuação)

Código dos produtos	Código para agregação	Nome do setor
1600 Fabricação de produtos da madeira	5	Papel e celulose
1700 Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	5	Papel e celulose
1800 Impressão e reprodução de gravações	5	Papel e celulose
1991 Refino de petróleo e coquearias	6	Energético
1992 Fabricação de biocombustíveis	6	Energético
2091 Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	7	Química
2092 Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos	7	Química
2093 Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal	7	Química
2100 Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	7	Química
2200 Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	7	Química
2300 Fabricação de produtos de minerais não metálicos	8	Minerais não metálicos
2491 Produção de ferro-gusa/ferro-ligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	13	Fabricação de aço e derivados
2492 Metalurgia de metais não ferrosos e fundição de metais	9	Não ferrosos e outros metálicos
2500 Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	9	Não ferrosos e outros metálicos
2600 Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	10	Outras indústrias
2700 Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos	10	Outras indústrias
2800 Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos	10	Outras indústrias
2991 Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças	10	Outras indústrias

(Continua)



# TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

Código dos produtos	Código para agregação	Nome do setor
2992 Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores	10	Outras indústrias
3000 Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	10	Outras indústrias
3180 Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas	10	Outras indústrias
3300 Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	10	Outras indústrias
3500 Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	6	Energético
3680 Água, esgoto e gestão de resíduos	6	Energético
4180 Construção	10	Outras indústrias
4580 Comércio por atacado e varejo	11	Serviços
4900 Transporte terrestre	12	Transporte, armazenagem e correio
5000 Transporte aquaviário	12	Transporte, armazenagem e correio
5100 Transporte aéreo	12	Transporte, armazenagem e correio
5280 Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	12	Transporte, armazenagem e correio
5500 Alojamento	11	Serviços
5600 Alimentação	11	Serviços
5800 Edição e edição integrada à impressão	11	Serviços
5980 Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem	11	Serviços
6100 Telecomunicações	11	Serviços
6280 Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação	11	Serviços

(Continua)

(Continuação)

Código dos produtos	Código para agregação	Nome do setor
6480 Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	11	Serviços
6800 Atividades imobiliárias	11	Serviços
6980 Atividades jurídicas, contábeis, de consultoria e de sedes de empresas	11	Serviços
7180 Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e pesquisa e desenvolvimento (P&D)	11	Serviços
7380 Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	11	Serviços
7700 Aluguéis não imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual	11	Serviços
7880 Outras atividades administrativas e serviços complementares	11	Serviços
8000 Atividades de vigilância, segurança e investigação	11	Serviços
8400 Administração pública, defesa e seguridade social	11	Serviços
8591 Educação pública	11	Serviços
8592 Educação privada	11	Serviços
8691 Saúde pública	11	Serviços
8692 Saúde privada	11	Serviços
9080 Atividades artísticas, criativas e de espetáculos	11	Serviços
9480 Organizações associativas e outros serviços pessoais	11	Serviços
9700 Serviços domésticos	11	Serviços

Elaboração dos autores.

APÊNDICE B

TABELA B.1  
Matriz de Leontief modificada (2015)

INV (I-C)	Agropecuários	Mineração e pelotização	Alimentos e bebidas	Têxtil	Papel e celulose	Energético	Química	Minerais não metálicos	Não ferrosos e outros metálicos	Outras indústrias	Serviços	Transporte, armazenagem e correio	Fabricação de aço e derivados
Agropecuários	1,063669	0,010055	0,515035	0,081696	0,019019	0,070565	0,018265	0,005764	0,003686	0,012682	0,029532	0,184628	0,005207
Mineração e pelotização	0,014816	1,049246	0,023034	0,01047	0,005864	0,208847	0,02658	0,03138	0,0222	0,030106	0,013786	0,430056	0,040154
Alimentos e bebidas	0,029757	0,008678	1,156355	0,020025	0,003779	0,030698	0,01931	0,003518	0,002332	0,008257	0,030205	0,115415	0,001977
Têxtil	0,001781	0,002281	0,002567	1,228747	0,000712	0,001794	0,003002	0,000674	0,000554	0,005056	0,002733	0,022155	0,000323
Papel e celulose	0,024456	0,020388	0,091263	0,067128	1,183634	0,023445	0,061885	0,036797	0,01646	0,08408	0,073017	0,259612	0,005271
Energético	0,077243	0,094639	0,112772	0,053096	0,025727	1,406318	0,099029	0,053251	0,033362	0,063402	0,075853	2,76636	0,03567
Química	0,16555	0,057795	0,140732	0,096952	0,033135	0,045174	1,280639	0,039436	0,01601	0,087953	0,035958	0,418488	0,010882
Minerais não metálicos	0,027721	0,014686	0,036922	0,009027	0,005172	0,02542	0,019308	1,090763	0,004802	0,145393	0,014291	0,144548	0,005784
Não ferrosos e outros metálicos	0,022444	0,068901	0,092988	0,023098	0,017024	0,055348	0,055365	0,017549	1,154132	0,261574	0,030233	0,313799	0,040102
Outras indústrias	0,01097	0,080465	0,030262	0,026503	0,015742	0,055767	0,02533	0,021045	0,019632	1,20166	0,047885	0,756214	0,024015
Serviços	0,076889	0,148415	0,233504	0,16772	0,043936	0,145323	0,156363	0,062446	0,041937	0,173979	1,266079	1,756309	0,033916
Transporte, armazenagem e correio	0,003078	0,009709	0,011542	0,00462	0,002324	0,005693	0,006428	0,002604	0,001849	0,005548	0,005312	1,159515	0,002418
Fabricação de aço e derivados	0,013861	0,084214	0,032916	0,01345	0,009117	0,037165	0,030999	0,028648	0,180972	0,256313	0,020935	0,243057	1,116545
CDEC	0,29425	0,341449	0,843675	0,454389	0,235957	0,582314	0,445504	0,23945	0,331013	0,801001	0,358634	3,432571	0,200606
EDM	1,532236	1,649471	2,479892	1,802532	1,365187	2,111556	1,802503	1,393874	1,497927	2,336002	1,645819	8,570154	1,322264

Elaboração dos autores.

APÊNDICE C

TABELA C.1

Matriz de Leontief modificada (2018)

INV (I-C)	Agropecuários	Mineração e pelotização	Alimentos e bebidas	Têxtil	Papel e celulose	Energético	Química	Minerais não metálicos	Não ferrosos e outros metálicos	Outras indústrias	Serviços	Transporte, armazenagem e correio	Fabricação de aço e derivados
Agropecuários	1,063669	0,010055	0,515035	0,081696	0,019019	0,070565	0,018265	0,005764	0,003686	0,012682	0,029532	0,184628	0,005207
Mineração e pelotização	0,014816	1,049246	0,023034	0,01047	0,005864	0,208847	0,02658	0,03138	0,0222	0,030106	0,013786	0,430056	0,040154
Alimentos e bebidas	0,029757	0,008678	1,156355	0,020025	0,003779	0,030698	0,01931	0,003518	0,002332	0,008257	0,030205	0,115415	0,001977
Têxtil	0,001781	0,002281	0,002567	1,228747	0,000712	0,001794	0,003002	0,000674	0,000554	0,005056	0,002733	0,022155	0,000323
Papel e celulose	0,024456	0,020388	0,091263	0,067128	1,183634	0,023445	0,061885	0,036797	0,01646	0,08408	0,073017	0,259612	0,005271
Energético	0,077243	0,094639	0,112772	0,053096	0,025727	1,406318	0,099029	0,053251	0,033362	0,063402	0,075853	2,76636	0,03567
Química	0,16555	0,057795	0,140732	0,096952	0,033135	0,045174	1,280639	0,039436	0,01601	0,087953	0,035958	0,418488	0,010882
Minerais não metálicos	0,027721	0,014686	0,036922	0,009027	0,005172	0,02542	0,019308	1,090763	0,004802	0,145393	0,014291	0,144548	0,005784
Não ferrosos e outros metálicos	0,022444	0,068901	0,092988	0,023098	0,017024	0,055348	0,055365	0,017549	1,154132	0,261574	0,030233	0,313799	0,040102
Outras indústrias	0,01097	0,080465	0,030262	0,026503	0,015742	0,055767	0,02533	0,021045	0,019632	1,20166	0,047885	0,756214	0,024015
Serviços	0,076889	0,148415	0,235504	0,16772	0,043936	0,145323	0,156363	0,062446	0,041937	0,173979	1,266079	1,756309	0,033916
Transporte, armazenagem e correio	0,003078	0,009709	0,011542	0,00462	0,002324	0,005693	0,006428	0,002604	0,001849	0,005548	0,005312	1,159515	0,002418
Fabricação de aço e derivados	0,013861	0,084214	0,032916	0,01345	0,009117	0,037165	0,030999	0,028648	0,180972	0,256313	0,020935	0,243057	1,116545
CDEC	0,29425	0,341449	0,843675	0,454389	0,235957	0,582314	0,445504	0,23945	0,331013	0,801001	0,358634	3,432571	0,200606
EDM	1,532236	1,649471	2,479892	1,802532	1,365187	2,111556	1,802503	1,393874	1,497927	2,336002	1,645819	8,570154	1,322264

Elaboração dos autores.

# Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

## EDITORIAL

### **Chefe do Editorial**

Aeromilson Trajano de Mesquita

### **Assistentes da Chefia**

Rafael Augusto Ferreira Cardoso

Samuel Elias de Souza

### **Supervisão**

Camilla de Miranda Mariath Gomes

Everson da Silva Moura

### **Revisão**

Alice Souza Lopes

Amanda Ramos Marques

Ana Clara Escórcio Xavier

Clícia Silveira Rodrigues

Idalina Barbara de Castro

Olavo Mesquita de Carvalho

Regina Marta de Aguiar

Reginaldo da Silva Domingos

Brena Rolim Peixoto da Silva (estagiária)

Nayane Santos Rodrigues (estagiária)

### **Editoração**

Anderson Silva Reis

Cristiano Ferreira de Araújo

Danielle de Oliveira Ayres

Danilo Leite de Macedo Tavares

Leonardo Hideki Higa

### **Capa**

Aline Cristine Torres da Silva Martins

### **Projeto Gráfico**

Aline Cristine Torres da Silva Martins

*The manuscripts in languages other than Portuguese  
published herein have not been proofread.*

## **Missão do Ipea**

Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.



**ipea** Instituto de Pesquisa  
Econômica Aplicada

