

**EMISSIONS OF CO<sub>2</sub> AND ENERGY CONSUMPTION IN PARANÁ: A SURVEY OF  
INPUT-OUTPUT**

**Daniela Carla Monteiro**

Mestranda em Economia Regional na Universidade Estadual de Londrina (UEL)

E-mail: danielamonteiro31@yahoo.com.br

**Fernanda Campanha Rejani**

Mestranda em Economia Regional na Universidade Estadual de Londrina (UEL)

E-mail: fernandarejani@hotmail.com

**Ricardo L. Lopes**

Professor Doutor do Departamento de Economia da Universidade Estadual de Maringá (UEM)

E-mail: rllopes@uem.br

**Rossana Lott Rodrigues**

Professora Doutora do Departamento de Economia da Universidade Estadual de Londrina (UEL)

E-mail: rlott@uel.br

**RESUMO:** O objetivo geral deste estudo foi verificar as emissões de CO<sub>2</sub> e o consumo de energia na economia paranaense a partir da matriz insumo-produto estadual estimada e do Balanço Energético Estadual, ambos de 2006. Os métodos adotados foram o campo de influência, a análise de impacto e o multiplicador e gerador de energia. Os resultados mostraram que, quando expostos a uma melhora tecnológica de 10%, os principais elos da economia do Estado, em termos de impactos nas emissões de CO<sub>2</sub>, foram dominados pelos setores transporte, armazenagem e correio (41), eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana (38) e outros produtos de minerais não metálicos (23). Sequencialmente, submetidos a uma redução de 10%, no consumo das fontes de energia, verificou-se que os principais elos são dominados, pelas seguintes fontes de energia: óleo combustível (10), gás liquefeito de petróleo (12) e óleo diesel (9). Quanto ao volume de energia resultante do aumento de uma unidade monetária na demanda final, o setor outros produtos de minerais não metálicos (23), foi o setor que mais se destacou. Por fim, quando foram calculadas as variações do volume de energia gerada pela economia, observou-se que o setor álcool (13), foi o setor que provocou maior geração de energia pelo sistema econômico como um todo, para cada 1.000 tep de energia direta usada.

**Palavras-chave:** Dióxido de Carbono; Energia; Insumo-Produto.

**Classificação JEL:** Q54; Q41; R15.

**ABSTRACT:** The overall aim of this study was to verify CO<sub>2</sub> emissions and energy consumption in Parana's economy, from the estimated state input-output matrix and the State Energy Balance, both from 2006. The adopted methods were those of the influence field, the impact analysis and the energy multiplier and generator. Results show that, when exposed to a 10% technological improvement, the main links of the state economy in terms of impact in CO<sub>2</sub> emissions were dominated by transportation, storage and post office sectors (41), gas and electricity, water, sewage and urban sanitation (38) and other non-mineral products (23). Sequentially subjected to a 10% reduction in the consumption of energy sources, it was found that the main links are dominated by the following power sources: fuel oil (10), liquefied petroleum gas (12) and diesel (9). As to the energy volume resultant from the increase of a monetary unit in the final demand, the other non-metallic minerals sector (23) was the one which stood out more. Finally, when the energy volume variations generated by the economy were calculated, it was possible to observe that the alcohol sector (13) was the one to cause greater energy generation by the economic system as a whole, for each 1.000 tep (42.000 GJ) of direct energy used.

**Keywords:** Carbon Dioxide; Energy; Input-Output.

**JEL Code:** Q54; Q41; R15.

## 1. Introdução

A partir dos anos de 1970, a economia paranaense por profundas transformações. Tornou-se uma economia industrial e de serviços, em detrimento de uma economia agropecuária, economia essa caracterizada por forte dinamismo e crescente diversificação (TRINTIN, 2006).

Nessa década, de acordo com o IPARDES (1991), o Produto Interno Bruto (PIB) real cresceu a uma taxa média de 13% ao ano, superando o crescimento médio de 8,6% da economia brasileira e elevando sua contribuição na geração da renda interna do país de 5,5% em 1970, para 6,3% em 1980. A composição do valor adicionado do PIB em 1970 era de 25,6% na agropecuária, 23,6% na indústria e 50,8% nos serviços (KURESKI e DELGADO, 2010).

Ao longo do tempo, com a maturação de importantes investimentos na área de petróleo, energia, agroindústria e metal-mecânica e a consolidação do processo de urbanização do Estado, verificou-se a alteração da estrutura do PIB. A composição deste em 2009, conforme IPARDES (2012) era de 7,7% na agropecuária, 28,2% na indústria e 64,1% nos serviços.

Atualmente, a economia paranaense é a quinta maior do País, respondendo por 6,1% do PIB nacional em 2011, registrando uma renda per capita de R\$ 21,6 mil em 2010, acima do valor de R\$ 19,7 mil referente ao Brasil (IPARDES, 2012).

Central no debate atual de mudanças ambientais globais, o consumo de energia tem sido objeto de grandes discussões no que se refere ao desenvolvimento dos países. O consumo de energia, base das atividades produtivas, ocasiona, inevitavelmente, impactos sobre o meio ambiente. Assim, se no passado a energia era tratada como sendo meramente um problema de fornecimento de insumos para a produção, atualmente, tem se tornado uma questão fortemente ligada a preservação do meio ambiente. A crescente ligação entre energia e meio ambiente, em parceria com a ciência e a tecnologia, tem possibilitado resolver o problema de melhorar a eficiência na transformação (produção e consumo final), no transporte e na distribuição, e na disposição dos resíduos (COHEN, 2003).

Portanto, as recentes discussões sobre o *trade-off* entre crescimento econômico e preservação ambiental, decorrentes, principalmente, do consumo crescente e constante de energia, tem sido uma importante ferramenta para a tomada de decisão no que se refere ao melhor planejamento energético (ALMEIDA, 2009).

Segundo Cohen (2003), o nível de consumo de energia depende de modalidades que se verificam em sua produção, transformação e utilização final. Nesse sentido, espera-se compreender as necessidades energéticas que, por sua vez, dependem das finalidades a que se destina essa energia. Essas questões não levam em consideração quais os beneficiários do consumo de energia e de quem dependem as decisões envolvidas ao longo do processo. Assim, o estreito relacionamento entre estilos energéticos e estilos de desenvolvimento mostra que não há necessariamente apenas um caminho a trilhar para atingir um patamar ideal de bem-estar para a sociedade.

Nesse sentido, tem-se como perspectiva, contribuir para estudos que visem o melhor planejamento da matriz energética do estado, uma vez que o mesmo é detentor da quinta maior economia do país, pelo fato de nenhum estudo sobre o tema ter sido, ainda, desenvolvido para o Paraná, embora exista a preocupação do Estado. Exemplo disso são as políticas públicas anunciadas para o Paraná que incentivam a busca pela liderança global na produção de energia sustentável (COPEL, 2009).

Detentor de um complexo hidrográfico com grande potencial energético, o Estado vem investindo na construção da Usina Hidrelétrica de Mauá, no rio Tibagi. Além disso, detém 18% de cobertura florestal natural bem conservada, onde se encontram Florestas de Araucária, Atlântica e Estacional. Graças a esse potencial, os governos vêm estudando a geração de energia elétrica oriunda da biomassa (COPEL, 2009).

Encontra-se em andamento, também, os projetos condomínio cooperativo para propriedades rurais de agricultura familiar, cujo objetivo é realizar o tratamento dos dejetos de suínos e de bovinos para geração de biogás a ser utilizado como combustível para motogeradores e para produzir energia

elétrica, e a construção de uma usina de biodiesel no Oeste do Estado utilizando a soja como matéria prima. O governo do Estado acredita que o futuro está na descentralização da geração de energia e na sua distribuição (COPEL, 2009).

Dentre os efeitos/riscos desse *trade-off*, pode-se destacar a contenção do crescimento econômico, bem como as alterações climáticas decorrentes do efeito estufa, causado por gases lançados na atmosfera, sendo o mais importante deles o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que é produzido, principalmente, pela queima de combustíveis fósseis. O acúmulo de CO<sub>2</sub> e de outros gases na atmosfera retém a radiação solar nas proximidades da superfície terrestre, provocando o aquecimento do planeta (ALMEIDA, 2009).

Para Pereira e May (2003), quando consideramos todas as mudanças que a civilização vem impondo aos ecossistemas, não há dúvida de que a que mais impacto causa à infra-estrutura de serviços ambientais tem relação com a emissão dos gases causadores do efeito estufa e, por consequência, do aquecimento global.

Segundo Almeida (2009), há um consenso internacional indicativo de que será preciso tomar medidas para estabilizar a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera em cerca de 550 ppm (partes por milhão) até 2050. Isso implica aumentar a eficiência econômica em 1,5% ao ano. Além disso, será preciso que a emissão dióxido de carbono pelas atividades de geração de energia seja 45% menor do que vem sendo.

Dado o desenvolvimento e a consolidação da base produtiva paranaense e considerando a preocupação do Estado com a produção de energia sustentável, o presente artigo tem por objetivo analisar as emissões de CO<sub>2</sub> e o consumo de energia no estado do Paraná em 2006. Especificamente pretende-se a) verificar os impactos da melhora tecnológica e de reduções no consumo das fontes de energia sobre as emissões de CO<sub>2</sub>; b) estimar o volume de energia resultante do aumento de uma unidade monetária na demanda final e c) quantificar o volume de energia gerado pela economia para cada 1.000 tep usada de energia direta na economia paranaense no ano 2006.

Esse artigo está dividido em quatro seções, além da introdução. Na segunda seção, aborda-se produção e consumo de energia no Brasil e no Paraná. Seqüencialmente, na terceira seção, apresenta-se a metodologia adotada. Posteriormente, na quarta seção são discutidos os principais resultados obtidos. Por fim, encerra-se o trabalho com as considerações finais.

## 2. Produção e consumo de energia no Brasil e no Paraná

A energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna. Ela é imprescindível ao desenvolvimento social e econômico de um país. Nesse sentido, o desenvolvimento social e econômico, que está atrelado à produção constante de bens e serviços, necessita de um abastecimento adequado e confiável de energia, que se faz cada vez maior. Em outras palavras, os suprimentos de energia são fatores limitantes do desenvolvimento econômico (HINRICHS e KLEINBACH, 2003).

Segundo Goldemberg e Villanueva (2003):

A energia usada pelo homem tem origem em quatro fontes distintas: a energia radiante emitida pelo Sol; a energia das marés, proveniente da energia gravitacional Lua – Terra – Sol; a energia geotérmica, que se origina no interior da Terra e a energia nuclear. Há ainda a contribuição de outras fontes renováveis, que inclui energia eólica, solar, geotérmica minihidroelétricas e biomassa usada com tecnologias modernas como etanol (GOLDEMBERG e VILLANUEVA, 2003, p.47).

O modelo energético mundial baseia-se, em sua maioria, nos combustíveis fósseis. Essa dependência compromete a qualidade de vida na Terra, causando danos ao meio ambiente. Nesse sentido, a constante exploração das referidas fontes tem causado interferências nos processos naturais, resultando em poluição atmosférica, alagamento de áreas, aquecimento do ambiente entre outros (HINRICHS e KLEINBACH, 2003).

Nesse ciclo constante, o mundo busca por fontes renováveis de energia, as quais deverão ser a base do novo modelo energético. O grande desafio consiste em ampliar as fontes renováveis e obter auto suficiência, substituindo, em grande escala os combustíveis fósseis nos mesmos níveis de

consumo, com baixa emissão de gases e segurança energética (GOLDEMBERG e VILLANUEVA, 2003).

Da energia elétrica produzida mundialmente, aproximadamente 60% advém do carvão utilizado nas termelétricas e somente 7% são provenientes de fontes renováveis. A queima dessa fonte de energia provoca a emissão de gases, tais como gás carbônico (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), todos responsáveis pelo aquecimento global (COPEL, 2010).

Segundo a *Internacional Energy Agency* (IEA, 2012), de 2007 a 2030, haverá um aumento na demanda global de todas as fontes de energia primária, oriundas, principalmente, dos países não membros da OCDE<sup>1</sup>. A China, que detém as maiores reservas de carvão do planeta, responderá por cerca de 65% do aumento mundial da utilização de carvão, sendo que o restante virá da Índia e de outros países. Para a América do Norte o crescimento será modesto.

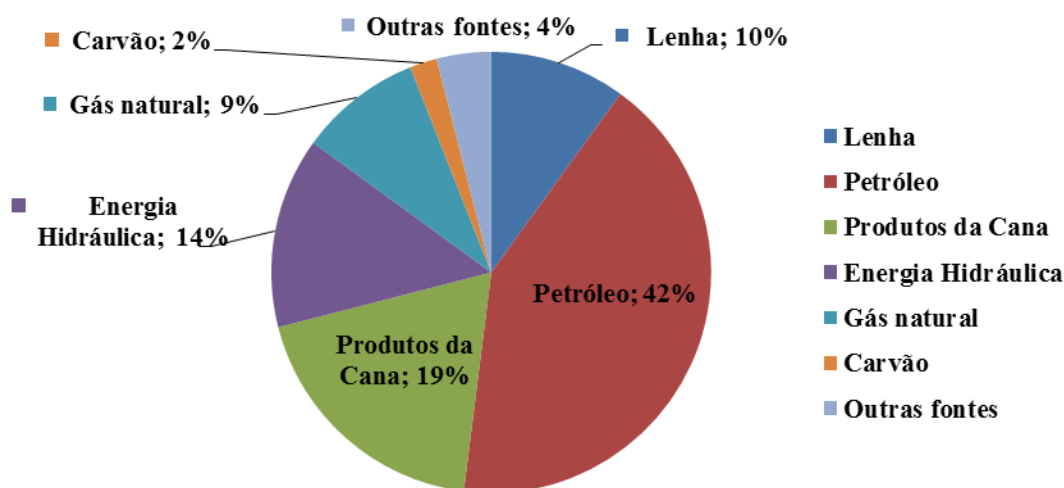
No mesmo período, os países não pertencentes a OCDE também serão responsáveis pela elevação no consumo das fontes energéticas derivadas do petróleo. O rápido crescimento econômico e os subsídios sobre os produtos petrolíferos farão com que China, Índia e Oriente Médio aumentem a procura por esse insumo. O crescimento pela demanda de gás natural ficará com o Oriente Médio, que detém a maioria das reservas privadas do mundo. Em relação ao uso de energias renováveis, os países da OCDE serão responsáveis por 43% do aumento global (IEA, 2012).

Tratando-se da produção e do consumo da energia nacional, vale destacar que o Brasil possui grande potencial energético, com um importante aproveitamento hidrelétrico e de biomassa para obtenção de energia, conforme demonstram as Figuras 1 e 2. Nesse quesito, o Brasil, possui um potencial de geração semelhante à posição de países como a Arábia Saudita e o Iraque em relação ao petróleo. Com uma vantagem: “mais de 90% da capacidade brasileira de geração é baseada em dois elementos gratuitos: a água e a força da gravidade” (VICHI e MELLO, 2003 p. 490).

Do total de energia primária produzida, 42% vêm do petróleo, 19% dos produtos da cana e 14% energia hidráulica. Quanto ao consumo global de energia primária, o Brasil apresenta a seguinte composição: 37,9% vêm do petróleo, 18,2% são provenientes dos produtos da cana e 15,2% da energia hidráulica.

Em relação à geração de eletricidade no Brasil, os empreendimentos hidrelétricos somam 74% da capacidade instalada do sistema interligado brasileiro, sendo que o restante vem da geração térmica<sup>2</sup>, com registros de aumentos na produção de combustíveis fósseis, especificamente de petróleo e gás natural (HINRICHS e KLEINBACH, 2003).

**Figura 1 – Produção nacional de energia primária, Brasil, 2009**



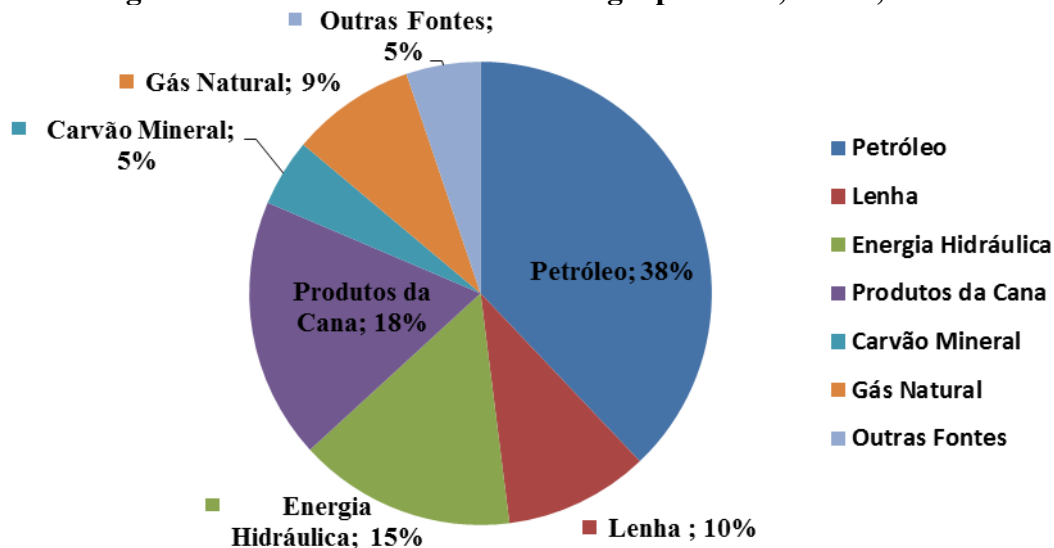
Fonte: EPE (2010).

<sup>1</sup>Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

<sup>2</sup> Gás natural, petróleo, óleo diesel, carvão mineral e energia nuclear.

Fica evidente que o Brasil precisa de uma matriz energética mais limpa, primando, assim, pelas questões ambientais. Por isso, a grande conquista nos próximos anos consistirá na possibilidade de aumentar a oferta de energia limpa a ponto de acompanhar o crescimento do PIB (COPEL, 2010).

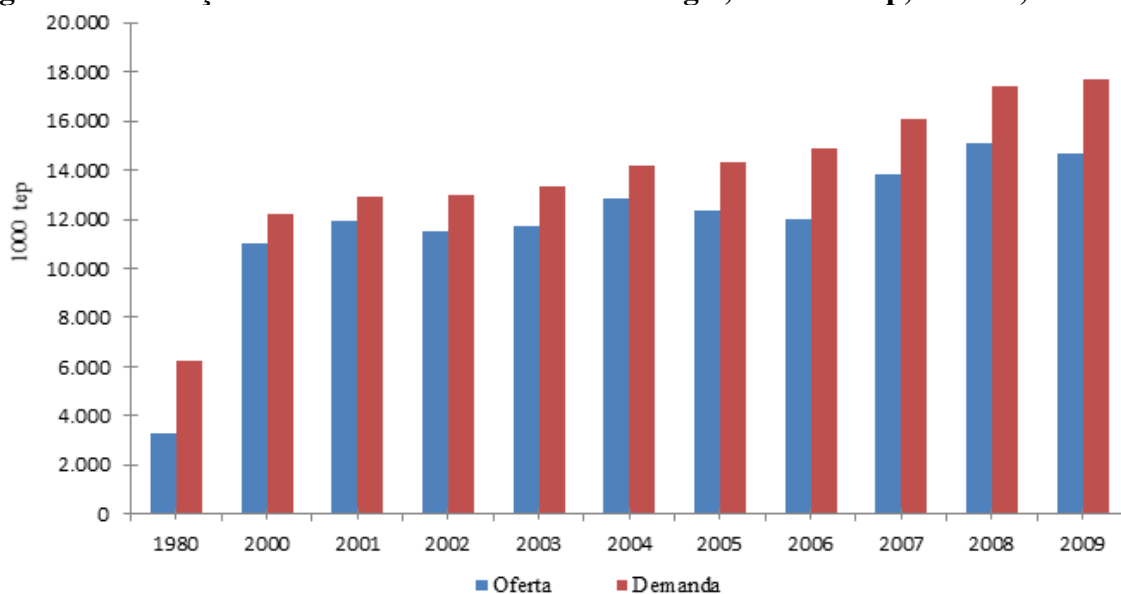
**Figura 2 – Consumo nacional de energia primária, Brasil, 2009**



Fonte: EPE (2010).

Quanto a energia que move o Estado do Paraná, a mesma é proveniente do trabalho da refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR), da Superintendência de Industrialização do Xisto (SIX) e da Companhia Carbonífera Cambuí. As fontes renováveis de energia ficam por conta da Associação de Produtores de Bioenergia do Estado do Paraná – ALCOPAR, da Usina Binacional de Itaipu, da Companhia Paranaense de Energia – COPEL e das indústrias de iniciativa privada (COPEL, 2010).

**Figura 3 – Evolução da oferta e da demanda de energia, em 1000 tep, Paraná, 1980-2009**

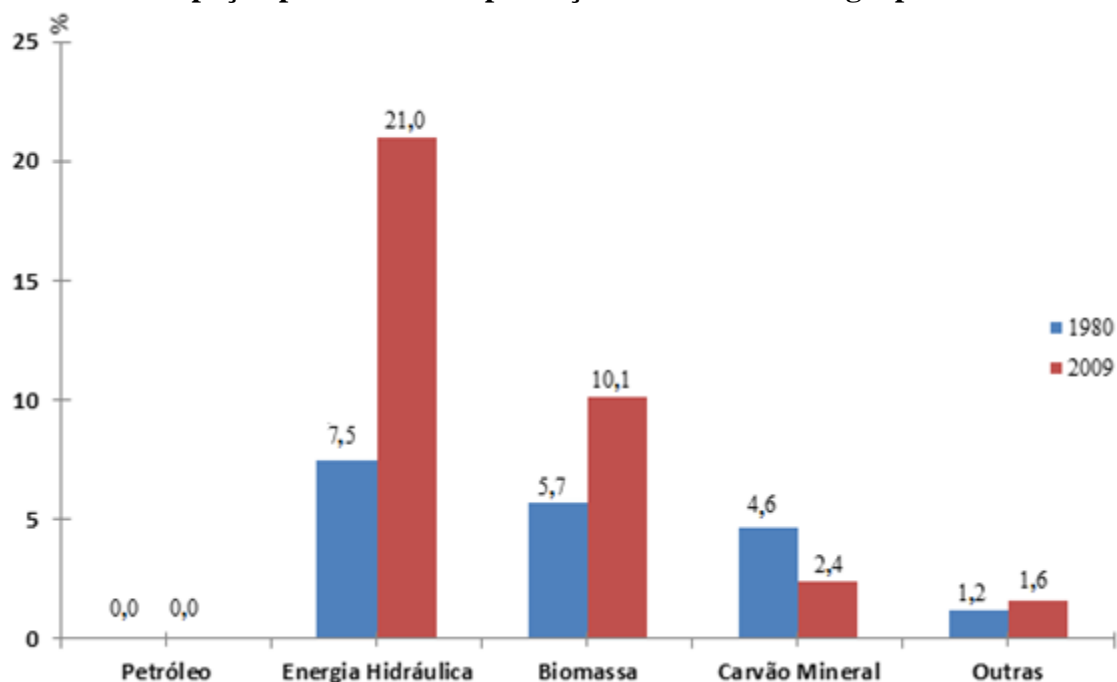


Fonte: COPEL (2010).

A demanda e a oferta de energia no Estado evoluíram desde 1980 a 2009, conforme demonstra a Figura 3, no qual fica evidente a defasagem entre ambas, tornando o Paraná um importador líquido de energia.

Seqüencialmente, a Figura 4 mostra a evolução da participação paranaense na produção nacional de energia primária, sendo possível observar que sua maior contribuição está na energia hidráulica (21%), seguida da biomassa (10,1%) e carvão mineral (2,4%).

**Figura 4 – Participação paranaense na produção nacional de energia primária. 1980-2009**

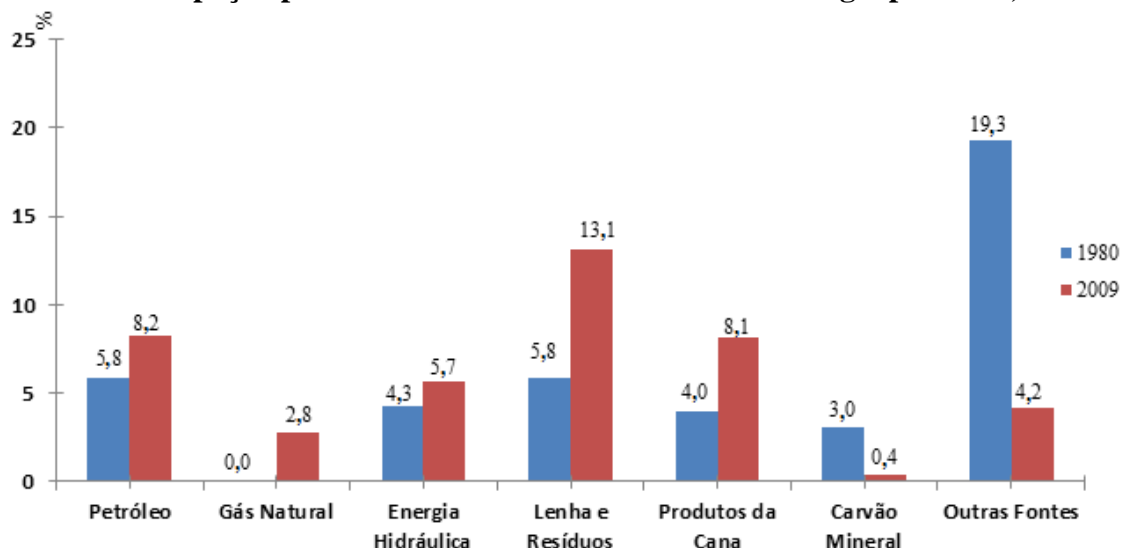


Fonte: COPEL (2010).

Por fim, conforme demonstra a Figura 5, a participação do Estado no consumo nacional é notória por meio da lenha e resíduos de madeira (13,1%), seguida pelo petróleo (8,2%) e produtos da cana (8,1%).

Em relação ao consumo nacional de energia, a participação do Paraná, que em 1980 era de 5,5%, passou para 6,9% em 2008 e para 7,2% em 2009, o que representa um aumento de 0,3% no consumo total de 2008 a 2009. O Brasil consumiu 243.930 mil toneladas Equivalentes de Petróleo – tep, enquanto o consumo do Estado totalizou 17.676 mil toneladas Equivalentes de Petróleo – tep (COPEL, 2010).

Quanto ao consumo setorial do País entre 2008 e 2009, segundo COPEL (2010) o setor transportes passou de 6,7% para 8,4%, seguido pela indústria que cresceu de 5,6% para 7,9%. Na seqüência, tem-se o energético, que cresceu de 6,5% para 6,9%, o residencial, de 4,5% para 6,3%, e os outros consumos, que se elevaram de 4,4% para 5,6%.

**Figura 5 – Participação paranaense no consumo nacional de energia primária, 1980-2009**

Fonte: COPEL (2010).

### 3. Metodologia

#### 3.1. O modelo insumo-produto básico

Guilhoto (2006), afirma que o modelo de insumo-produto (MIP) descreve os fluxos monetários de bens e serviços de uma economia. A produção econômica pode ser entendida também como o rearranjo de diversos insumos que formam um produto final. Dessa forma há interações entre os diversos setores da economia que, de forma matricial, podem ser representadas como:

$$Ax + y = x \quad (1)$$

em que  $A$  é a matriz de coeficientes diretos de insumo de ordem  $(n \times n)$ ;  $x$  e  $y$  são vetores colunas de ordem  $(n \times 1)$ .

A equação (1) pode sofrer manipulações algébricas e ser representada como:

$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (2)$$

em que  $I$  é a matriz identidade;  $(I - A)^{-1}$  é a matriz de coeficientes diretos e indiretos, ou a matriz inversa de Leontief; e  $Y$  é a demanda final.

Segundo Miller e Blair (2009), a matriz inversa de Leontief mostra o impacto total de um aumento exógeno da demanda final de todas as indústrias.

#### 3.2. Campo de Influência

O campo de influência (SONIS e HEWINGS, 1989, 1994) permite verificar como se distribuem as mudanças dos coeficientes diretos no sistema econômico como um todo, possibilitando, desse modo, determinar quais relações entre os setores são mais importantes dentro do processo produtivo.

O procedimento para o cálculo do campo de influência requer a matriz de coeficientes técnicos de produção e sua correspondente inversa de Leontief, já definidas anteriormente, e uma matriz de variações incrementais nos coeficientes diretos de insumo, dada por:

$$E = |\varepsilon_{ij}| \quad (3)$$

A sua matriz inversa de Leontief correspondente é dada por:

$$B(\varepsilon) = [I - A - \varepsilon]^{-1} = |b_{ij}(\varepsilon)| \quad (4)$$

De acordo com Sonis e Hewings (1989, 1994), os quais desenvolveram a metodologia do campo de influência, caso a variação tecnológica seja pequena e só ocorra num coeficiente direto, isto é:

$$\varepsilon_{ij} = \begin{cases} \varepsilon & i = i_1, j = j_1 \\ 0 & i \neq i_1, \text{ ou } j \neq j_1 \end{cases} \quad (5)$$

tem-se que o campo de influência desta variação pode ser aproximado pela expressão:

$$F(\varepsilon_{ij}) = \frac{|B(\varepsilon_{ij}) - B|}{\varepsilon_{ij}} \quad (6)$$

em que  $F(e_{ij})$  é uma matriz ( $n \times n$ ) do campo de influência do coeficiente  $a_{ij}$ .

Para se determinar quais são os coeficientes que possuem o maior campo de influência, associa-se a cada matriz  $F(e_{ij})$  um valor que seria dado por:

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n [f_{kl}(\varepsilon_{ij})]^2 \quad (7)$$

em que  $S_{ij}$  é o valor associado à matriz  $F(e_{ij})$ . Desse modo, os coeficientes diretos que possuem os maiores valores de  $S_{ij}$  são aqueles com maior campo de influência dentro da economia como um todo.

Nesse sentido, o campo de influência apresenta os coeficientes técnicos (estrutura de produção) que, se alterados, transformam mais a matriz inversa e, portanto, modificam mais os encadeamentos sucessivos causados por uma variação da demanda.

### 3.3. Multiplicador e Gerador de Energia

Se uma determinada economia se interessar pelos efeitos da energia utilizada pelos seus setores, basta definir os coeficientes da energia direta, que correspondem à divisão do consumo total de energia do setor  $j$  pelo valor bruto da produção do setor  $j$ . Esse procedimento é descrito pela seguinte fórmula:

$$e = E.\hat{X}^{-1} \quad (8)$$

em que  $e$  é o coeficiente de energia direta;  $E$  é consumo total do setor  $j$ ;  $X$  é o valor bruto produção do setor  $j$ .



A demanda por insumos intermediários do setor que apresentou aumento da demanda final resulta no crescimento da produção dos demais setores. Esse incremento da produção denomina-se primeira rodada. Mas o setor fornecedor de insumo também comprará mais insumo para atender ao incremento da sua produção. Tem-se, então, a segunda rodada. O número de rodadas na economia é infinito.

Para medir os efeitos diretos e indiretos é necessária a matriz inversa de Leontief:

$$ME = e \cdot (I - A)^{-1} \quad (9)$$

em que  $ME$  é o multiplicador de energia.

O multiplicador de energia apresenta, para o setor  $j$ , o volume de energia resultante do aumento de uma unidade monetária na demanda final.

Por meio do multiplicador de energia, é possível calcular também o gerador de energia, dado por:

$$GE = ME \cdot \hat{e}^{-1} \quad (10)$$

O gerador de energia quantifica o volume de energia gerada pela economia para cada 1.000 tep usada de energia direta.

### 3.4. Fonte dos dados

Para a realização do estudo foi utilizada a matriz insumo-produto de 2006, do Paraná - (MIPPR), estimada por Kureski (2011) e o Balanço Energético do Paraná - (BEP) de 2007 - Sumário Executivo Ano Base 2006 (COPEL, 2007).

### 3.5. Tratamento dos Dados

A estrutura setorial da MIPPR 2006 contempla 49 setores e 88 produtos, enquanto a estrutura setorial da BEP 2007 – Sumário Executivo Ano Base 2006 contempla 22 setores e 21 fontes de energia. Portanto, o primeiro passo foi a compatibilização setorial, que gerou uma nova matriz com 49 setores e 19 fontes de energia (Apêndice A1).

Essa nova matriz, denominada de Matriz de Consumo Energético (MCE), propiciou o conhecimento do quanto (em unidades físicas) cada setor da economia paranaense consumiu de energia, em toneladas equivalentes de petróleo (TEP) em 2006.

Portanto,  $c$  representa as toneladas equivalentes de petróleo em 1.000 unidades da fonte  $l$  no setor  $j$ . Sendo  $j$  os setores agregados das matrizes MUSO<sup>3</sup> e BEP. Assim, tem-se:

$$MCE = \begin{bmatrix} c_{1,1} & \cdots & c_{1,49} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{20,1} & \cdots & c_{20,49} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Seqüencialmente foram levantados dados referentes aos coeficientes de emissões dos gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, por fonte de energia, conforme demonstra a Tabela 1.

Como dois dos objetivos específicos do estudo é analisar os impactos nas emissões de CO<sub>2</sub> por meio de melhora tecnológica e reduções no consumo das fontes, utilizou-se de pesos 1, 21 e 310

<sup>3</sup> Matriz de usos de bens e serviços a preço de consumidor.

(GOLDEMBERG e VILLANUEVA, 2003), respectivamente, para construir uma matriz de conversão denominada vetor de coeficiente de emissões (VCE) de ordem  $(19 \times 1)$ , da seguinte maneira:

$$VCE = [\alpha_l \cdot 1 + \beta_l \cdot 21 + \gamma_l \cdot 310] \quad (12)$$

em que  $\alpha_l$  são os coeficientes de emissões de  $CO_2^*$  para cada fluxo  $l$ ;  $\beta_l$  são os coeficientes de emissões de  $CH_4^*$  para cada fluxo  $l$ ;  $\gamma_l$  são os coeficientes de emissões de  $N_2O^*$  para cada fluxo  $l$ .

Por meio do produto entre as matrizes MCE e VCE gerou-se uma nova matriz, denominada de  $TCO_2$ , que mostra as emissões de  $CO_2$ , em toneladas equivalentes de  $CO_2$  de cada fonte  $l$  para cada setor  $j$ :

$$TCO_2 = (V\hat{C}E)^{-1} MCE \quad (13)$$

**Tabela 1 - Coeficientes de emissões**

Fonte	$CO_2^*$	$CH_4^*$	$N_2O^*$
1 Gás natural	2,34000	0,00015	0,00000
2 Xisto	3,31000	0,00095	0,00017
3 Carvão m.	3,90000	0,00151	0,00006
4 Energia	0,00000	0,00000	0,00000
5 Lenha	4,40667	0,00306	0,00017
6 Resíduo	4,40667	0,00306	0,00017
7 Produtos da cana	4,32647	0,00264	0,00017
8 Outras fontes primárias	3,31000	0,00095	0,00017
9 Óleo Diesel	3,07000	0,00015	0,00003
10 Combustível	3,20632	0,00014	0,00003
11 Gasolina	2,84111	0,00015	0,00003
12 GLP	2,61667	0,00014	0,00003
13 Nafta	0,00000	0,00000	0,00000
14 Querosene	2,97944	0,00014	0,00003
15 Gás de xisto	3,07000	0,00000	0,00000
16 Eletricidade	0,00000	0,00000	0,00000
17 Carvão v.	3,66789	0,00558	0,00014
18 Álcool	2,80389	0,00254	0,00017
19 Outras fontes secundárias	3,07000	0,00013	0,00003

Fonte: COEFICIENTE... (2000).

Posteriormente, de posse do total das emissões de  $CO_2$  em toneladas equivalente de  $CO_2$  por setor, foi construída uma matriz de ordem  $(1 \times 49)$  com o somatório das emissões de  $CO_2$  em cada setor, resultando no vetor de emissões por setor, denominado  $E$ .

Seus respectivos coeficientes de emissões foram calculados por meio do produto entre os vetores  $E$  e  $VTP$ , em que  $VTP$  é o valor total da produção por setor<sup>4</sup>. Assim, tem-se o multiplicador de emissões de  $CO_2$ :

$$CE = E (V\hat{T}P)^{-1} \quad (14)$$

<sup>4</sup> Valores retirados da MIPPR - Usos de bens e serviços a preço de consumidor.

Por fim, a partir dos dados descritos acima, calculou-se os impactos nas emissões de CO<sub>2</sub> na economia em estudo, por meio de melhora tecnológica e reduções no consumo das fontes de energia.

Para uma melhora tecnológica de 10%, a matriz de coeficientes técnicos passou a ser denominada  $A_{ij}$ . Sequencialmente originou-se a matriz  $E_{ij}$ , conforme demonstra a equação 15, que representa o novo total das emissões de CO<sub>2</sub> setoriais:

$$E_{ij} = CE(I - A_{ij})^{-1}DFS \quad (15)$$

em que  $DFS$  é o vetor da demanda final.

Logo, conforme demonstra a equação 16, são obtidos os impactos nas emissões de CO<sub>2</sub> que são apresentados na matriz  $MCT_{ij}$ .

$$MCT_{ij} = \frac{E_{ij}}{E} \quad (16)$$

Analogamente, calculou-se os impactos nas emissões de CO<sub>2</sub> na economia em estudo, por meio de reduções no consumo das fontes de energia (10%), originando assim a matriz  $MET_{ij}$ .

$$MET_{ij} = \frac{E_{lj}}{E} \quad (17)$$

#### 4. Análise dos resultados

A dependência recíproca entre setores que compõe uma determinada economia baseia-se no fato de que processos industriais e demanda final, devem ter suas necessidades atendidas. Nesse sentido, busca-se determinar os setores que apresentam maior conexão na economia, isto é, aqueles que mais a dinamizam.

Com o intuito de identificar o grau de encadeamento no que se refere às emissões de CO<sub>2</sub> entre os setores analisados, determinou-se o campo de influência. Para tal, considerou-se uma pequena variação ( $\epsilon$ ) de 0,1 na matriz de coeficientes técnicos.

Os resultados mostrados nas Figuras 6 e 7 possibilitaram verificar quais setores causaram maiores mudanças no sistema econômico paranaense, em termos de emissões de CO<sub>2</sub>, quando se estabelecem pequenas mudanças nos coeficientes de produção, mudanças estas provocadas por melhora tecnológica e reduções no consumo das fontes de energia.

Inicialmente, observando a Figura 6, constatou-se que os principais elos da economia do Estado, em termos de impactos nas emissões de CO<sub>2</sub> resultante de uma melhora tecnológica de 10% foram dominados pelos setores transporte, armazenagem e correio (41), eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana (38) e outros produtos de minerais não metálicos (23). O setor transporte, armazenagem e correio (41), apresentou 43 coeficientes relativos a vendas para outros setores e 4 envolvendo compras de seus produtos por outros setores.

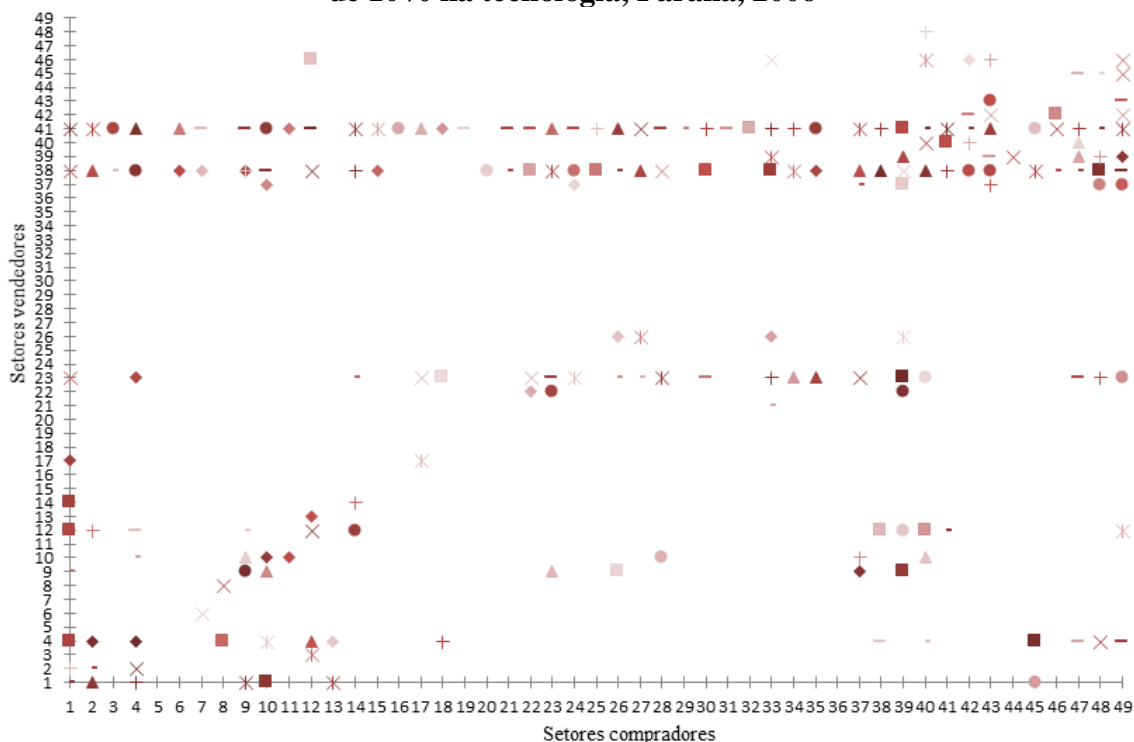
O campo de influência mostrou, também, que o setor eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana (38), apresentou 36 coeficientes de vendas para outros setores e 4 para setores compradores de seus produtos. O ramo outros produtos de minerais não metálicos (23), mostrou 21 e 5 coeficientes relativos à venda e compra, respectivamente.

O setor administração pública (49), para a economia estadual, parece importante. Sua dinâmica ficou restrita às relações de compra, com 11 dos coeficientes com maiores campos de influência, comprovando seu domínio como setor comprador de insumos dos demais setores da economia paranaense.

Em suma, os resultados mostraram que, quando expostos a uma melhora tecnológica de 10%, em termos de impactos nas emissões de CO<sub>2</sub>, a economia em estudo apresentou reduções nas emissões, principalmente, por meio das relações setoriais discriminadas acima, ou seja, quando as

emissões da economia Paranaense (antes do choque), são comparadas as novas emissões (pós choque), fica evidente que a variação provocada, resultou em reduções nas emissões de CO<sub>2</sub>. Essas reduções podem ser explicadas, segundo Brasil (2012), por meio das ações de eficiência energética. Para efeito da presente proposta, eficiência energética refere-se a ações de diversas naturezas que culminam na redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade. As ações de eficiência energética compreendem modificações ou aperfeiçoamento tecnológico ao longo da cadeia, mas podem também resultar de uma melhor organização, conservação e gestão energética por parte das entidades que a compõem.

**Figura 6 – Coeficientes setoriais com maior campo de influência resultantes de uma melhora de 10% na tecnologia, Paraná, 2006**



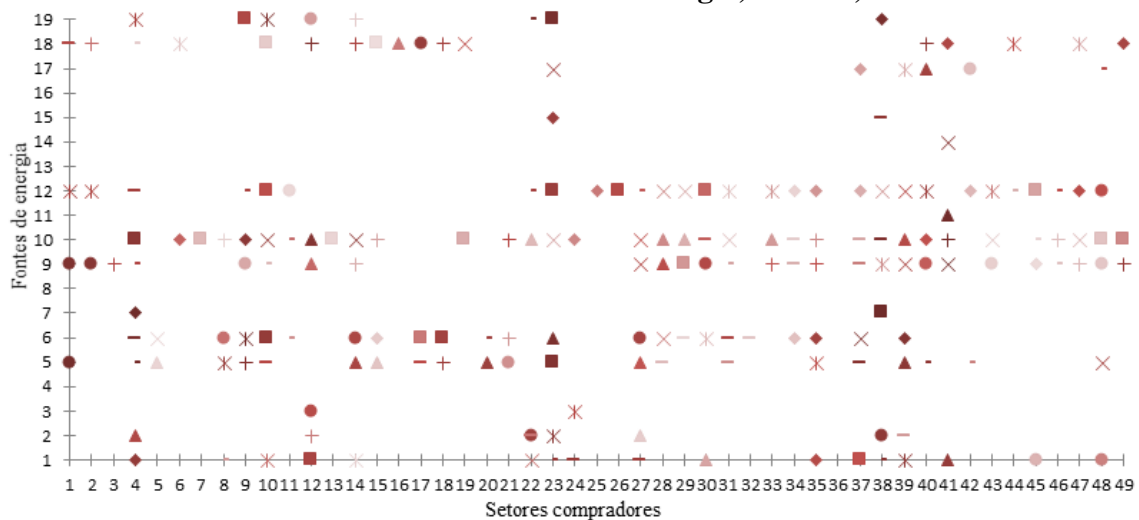
Fonte: Elaboração dos autores.

Analogamente, os coeficientes setoriais com maior campo de influência, decorrentes de submissão a uma redução de 10% no consumo das fontes de energia, revelaram que os principais elos foram dominados pelas relações de compra das seguintes fontes: óleo combustível (10), gás liquefeito de petróleo (12) e óleo diesel (9). Pode-se dizer que dos 49 setores que compõem a economia em estudo, com dinâmica vinculada às relações de compra, 35, por meio do óleo combustível (10), 29, por meio do gás liquefeito de petróleo (12) e 27, por meio do óleo diesel (9), apresentaram reduções nas emissões de CO<sub>2</sub>.

A título de exemplificação, o setor de transporte, armazenagem e correio (41), um dos principais setores da economia Paranaense, movimentou, por meio de suas compras, principalmente, as seguintes fontes de energia: gás (1), óleo diesel (9), óleo combustível (10), gasolina (11), querosene (14) e álcool (18).

Em síntese, a incorporação da eficiência energética ao longo da cadeia, tem mostrado que é possível atender as necessidades da economia com menor uso de energia e menor impacto na natureza.

**Figura 7 – Coeficientes setoriais com maior campo de influência resultantes da redução de 10% no consumo das fontes de energia, Paraná, 2006**

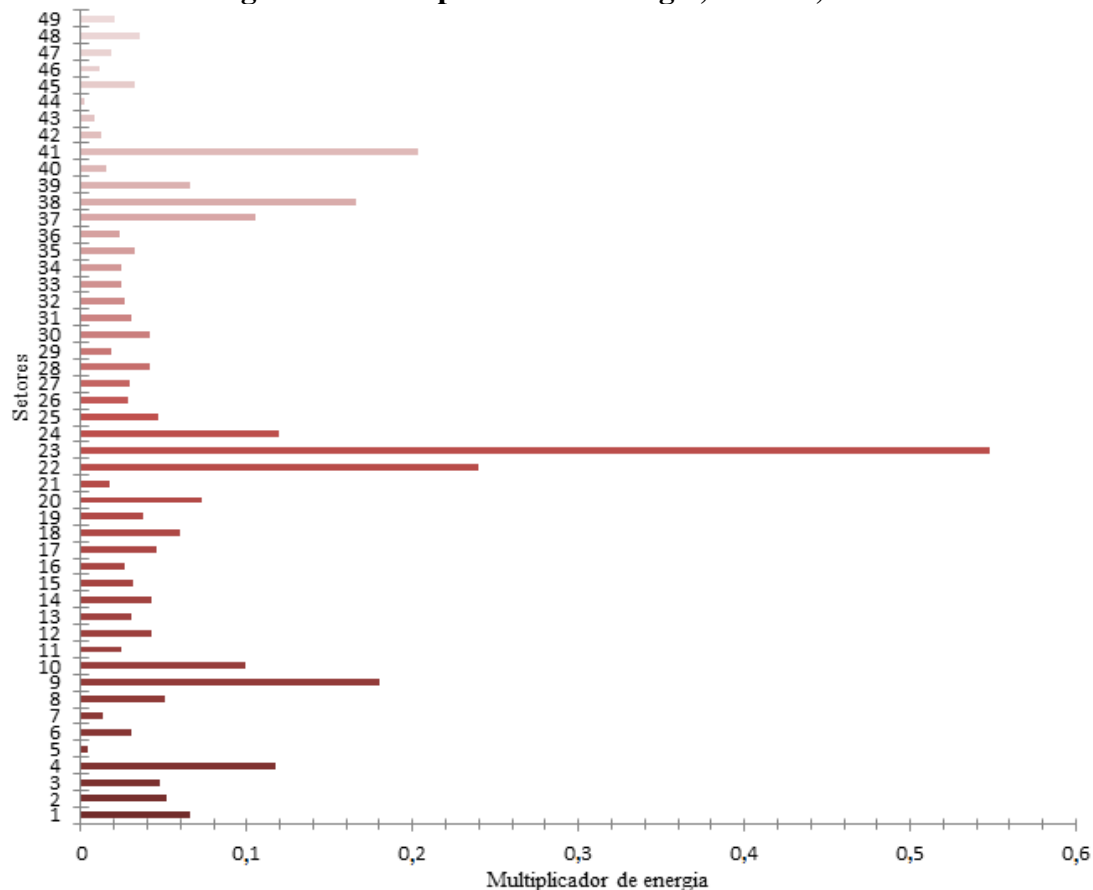


Fonte: Elaboração dos autores.

A Figura 8 mostra o multiplicador de energia para o aumento de uma unidade monetária na demanda final. O setor outros produtos de minerais não metálicos (23) foi o que mais respondeu em termos de volume de energia. Nesse sentido, se ocorrer um aumento de R\$1 milhão na demanda final, o setor outros produtos de minerais não metálicos (23), terá seu volume de energia aumentado em, aproximadamente, 0,54.

O segundo e o terceiro lugares foram ocupados pelos setores cimento (22) e transporte, armazenagem e correio (41).

**Figura 8 – Multiplicador de energia, Paraná, 2006**

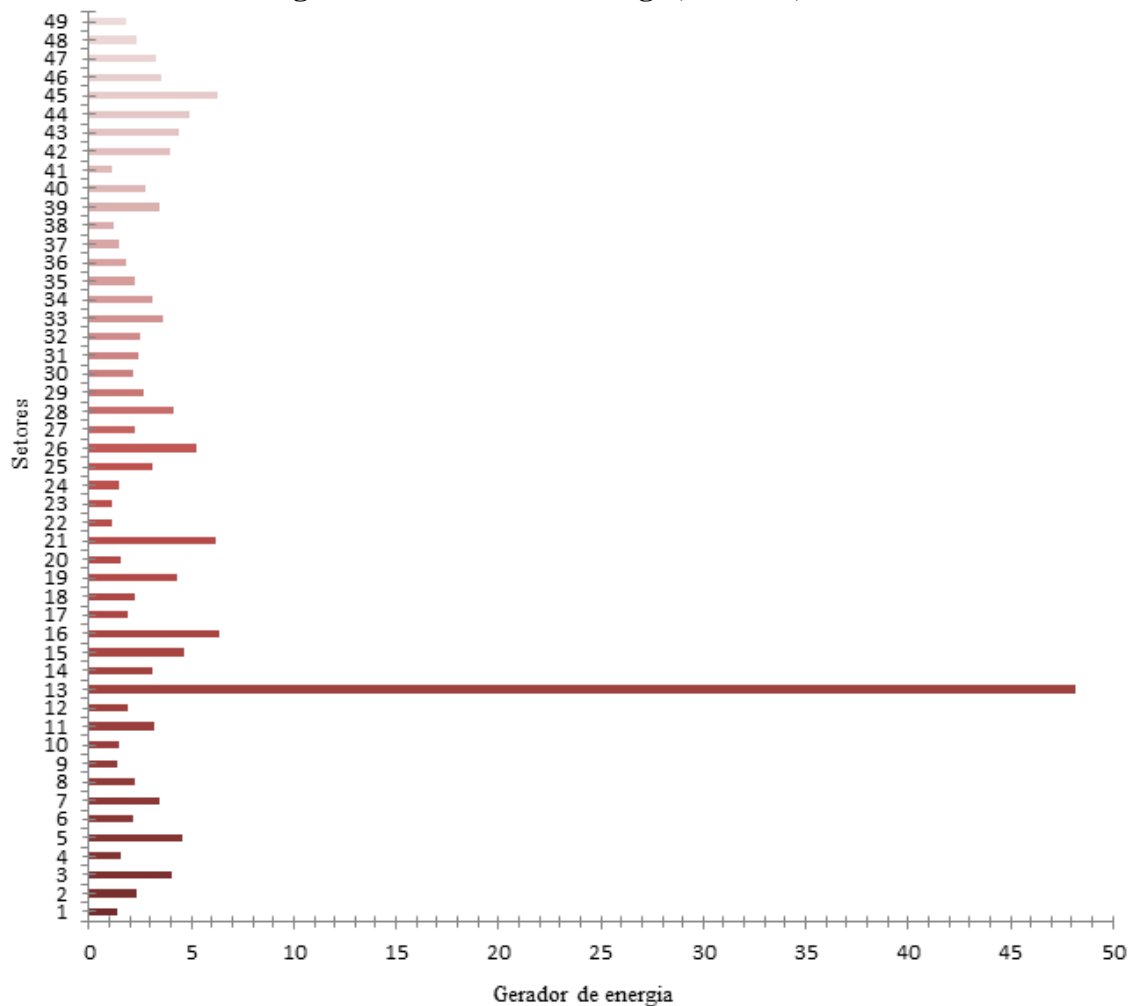


Fonte: Elaboração dos autores.

Por fim, quando foram calculadas as variações do volume de energia gerada pela economia, observou-se que o setor álcool (13) foi o que provocou maior geração de energia pelo sistema econômico como um todo. Em outras palavras, a cada 1.000 tep de energia direta usada pelo setor álcool (13), a geração de energia pelo sistema econômico como um todo foi aumentada em, aproximadamente, 48,17 vezes, conforme demonstra a Figura 9.

O segundo e o terceiro lugares foram ocupados pelos setores produtos farmacêuticos (16) e serviços de alojamento e alimentação (45).

**Figura 9 – Gerador de energia, Paraná, 2006**



Fonte: Elaboração dos autores.

## 5. Considerações finais

Este artigo apresentou os impactos da melhora tecnológica e de reduções no consumo das fontes de energia sobre as emissões de CO<sub>2</sub>, assim como o volume de energia resultante do aumento de uma unidade monetária na demanda final e o volume de energia gerado pela economia para cada 1.000 tep usada de energia direta na economia paranaense no ano 2006.

A partir dos resultados encontrados, que envolvem a análise do campo de influência, observou-se que quando os setores da economia em estudo são expostos a uma melhora tecnológica de 10%, os elos da economia do Estado, em termos de impactos nas emissões de CO<sub>2</sub>, respondem com reduções nas referidas emissões. Essas reduções podem ser explicadas, por meio das ações de eficiência energética.

Seqüencialmente, submetidos a uma redução de 10%, no consumo das fontes de energia, verificou-se que os elos também respondem com reduções nas emissões de CO<sub>2</sub>, principalmente, por

meio da fonte óleo combustível, ou seja, tal fonte de energia aciona, praticamente, todos os setores que compõem o sistema econômico paranaense, mais especificamente 35 dos 49. Assim, a incorporação da eficiência energética ao longo da cadeia, tem mostrado que é possível atender as necessidades da economia com menor uso de energia e menor impacto na natureza.

Quanto aos resultados que envolvem o multiplicador de energia, observou-se que o volume de energia resultante do aumento de uma unidade monetária na demanda final foi maior para o setor outros produtos de minerais não metálicos (23). Por fim, quando foram calculadas as variações do volume de energia gerada pela economia, observou-se que o setor álcool (13), foi o setor que provocou maior geração de energia pelo sistema econômico como um todo, a cada 1.000 tep de energia direta usada.

Em suma, as análises acima propiciaram a compreensão dos efeitos de mudanças na utilização de um recurso limitado, a energia. Nesse sentido, esses resultados evidenciam que as políticas públicas que visem um melhor planejamento energético para o Estado precisam ser desenvolvidas de maneira a assistir os setores que mais demandam energia, bem como, que assistam os setores que mais contribuem com as emissões de CO<sub>2</sub>. Espera-se que projetos com essa estrutura, possam evitar que, no futuro, o crescimento econômico seja contido, bem como que as alterações climáticas decorrentes do efeito estufa sejam controladas.

Finalmente, espera-se que os coeficientes com maior campo de influência indiquem aos formuladores de políticas públicas que as reduções nas emissões de CO<sub>2</sub> podem ser acentuadas, por meio de políticas de incentivo, via ações de eficiência energética, direcionadas àqueles setores com maior poder de encadeamento na estrutura produtiva paranaense.

## Referências

- Almeida, F. *Responsabilidade Social e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. 130 p.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Eficiência Energética/2012*. Disponível: <http://www.mme.gov.br/mme>. Vários acessos. 134 p.
- Coeficiente da matriz de emissões: Projeto “Fornecimento de instrumentos de avaliação de emissões de gases do efeito estufa acoplados a uma matriz”. *Economia & Energia*, n. 24, 2000. Disponível em <<http://ecem.com/matriz/eee24>>. Acesso em 30/10/2007.
- Cohen, C. Padrões de Consumo e Energia: Efeitos sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. In: May, P. H.; Lustosa, M. C.; Vinha, V. da. (Org.). *Economia do Meio Ambiente*. 5 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. 314 p.
- COPEL. Companhia Paranaense de Energia. *Balanço Energético do Paraná/2010*. Ano Base 2009. Companhia Paranaense de Energia; Coordenação: Rosicler Brustolin. Curitiba: Copel. 88p. 2010.
- COPEL. Companhia Paranaense de Energia. *Balanço Energético do Paraná/2009*. Ano Base 2008. Companhia Paranaense de Energia; Coordenação: Rosicler Brustolin. Curitiba: Copel. 66 p. 2009.
- COPEL. Companhia Paranaense de Energia. *Balanço Energético do Paraná/2007*. Ano Base 2006. Companhia Paranaense de Energia; Coordenação: Rosicler Brustolin. Curitiba: Copel. 170 p. 2007.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). *Balanço Energético Nacional/2010*. Ano base 2009. Rio de Janeiro, RJ: EPE, 2010. 276 p.

- Goldemberg, J.; Villanueva, L. D. *Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003. 226 p.
- Guilhoto, J. J. M. *Análise de insumo-produto: teoria e fundamentos*. São Paulo: (MIMEO), 2006.
- Hinrichs, R. A.; Kleinbach, M. *Energia e Meio Ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 543 p.
- IEA. Internacional Energy Agency. Disponível: <http://www.iea.org>. Vários acessos. 2012.
- IPARDES. *Paraná em Números*. Disponível: <http://www.ipardes.gov.br/>. Vários acessos. 2012.
- IPARDES. Estrutura produtiva paranaense. *Análise Conjuntural*, v.13, n.3, p.2-4, 1991.
- Kureski, R. Produto Interno Bruto: emprego e renda do macrossetor da construção civil paranaense em 2006. *Ambiente Construído*, v. 11, n. 3, p. 131-142, 2011.
- Kureski, R.; Delgado, P. R. A importância do setor de serviços no estado do Paraná. *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, n. 118, p. 139-158, 2010.
- Miller, R. E.; Blair, P. D. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. São Paulo: Prentice-Hall, 2009. 782 p.
- Pereira, A. S.; May, P. H. Economia do Aquecimento Global. In: May, P. H.; Lustosa, M. C.; Vinha, V. da. (Org.). *Economia do Meio Ambiente*. 5 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. 314 p.
- Sonis, M.; Hewings, G. J. D. *Fields of influence in input-output systems*. Urbana: University of Illinois/Regional Economics Applications Laboratory, 1994.
- Sonis, M.; Hewings, G. J. D. Error and sensitivity input-output analysis: a new approach. In: Miller, R. E.; Polenske, K. R.; Rose, A. Z. (Ed.). *Frontiers of input-output analysis*. New York: Oxford University Press, 1989.
- Trintin, J. G. *A nova economia paranaense: 1970 – 2000*. Maringá: Eduem, 2006. 190 p.
- Vichi, F. M.; Mello, L. F. de. A Questão Energética no Brasil. In: Hinrichs, R. A.; Kleinbach, M. *Energia e Meio Ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 543 p.



**Apêndice****Apêndice A1 – Setores produtivos considerados na estrutura da economia paranaense****SETORES**

- 01 Agricultura, silvicultura, exploração florestal
- 02 Pecuária e pesca
- 03 Extrativa mineral
- 04 Alimentos e bebidas
- 05 Produtos do fumo
- 06 Têxteis
- 07 Artigos do Vestuário e acessórios
- 08 Artefatos de couro e calçados
- 09 Produtos de madeira – exclusive móveis
- 10 Celulose e produtos de papel
- 11 Jornais, revistas, discos
- 12 Refino de petróleo e coque
- 13 Álcool
- 14 Produtos Químicos
- 15 Fabricação de resina e elastômeros
- 16 Produtos Farmacêuticos
- 17 Defensivos agrícolas
- 18 Perfumaria, higiene e limpeza
- 19 Tintas, vernizes, esmaltes e lacas
- 20 Produtos e preparados químicos diversos
- 21 Artigos de borracha e plástico
- 22 Cimento
- 23 Outros produtos de minerais não metálicos
- 24 Fabricação de aço e derivados
- 25 Metalurgia de metais não-ferrosos
- 26 Produtos de metal – exclusive máq. e equipamentos
- 27 Máquinas e equipamentos – inclusive manutenção e reparos
- 28 Eletrodomésticos
- 29 Máquinas para escritório e equipamento de inf.
- 30 Máquinas, aparelhos e materiais elétricos
- 31 Material eletrônico e equipamentos de comunicações
- 32 Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico
- 33 Automóveis, caminhonetas e utilitários
- 34 Caminhões e ônibus
- 35 Peças e acessórios para veículos automotores
- 36 Outros equipamentos de transporte
- 37 Móveis e produtos das indústrias diversas
- 38 Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana
- 39 Construção
- 40 Comércio e serviços de manutenção e reparação
- 41 Transporte, armazenagem e correio
- 42 Serviços de informação
- 43 Intermediação financeira e seguros
- 44 Serviços imobiliários e aluguel
- 45 Serviços de alojamento e alimentação
- 46 Serviços prestados às empresas
- 47 Educação mercantil e Saúde mercantil
- 48 Outros serviços
- 49 Administração pública

Fonte: Elaborado pelos autores com base na MIPPR (KURESKI e DELGADO, 2011).