

**“Redução de Intensidades de Uso de
Eletricidade: Uma análise com um
modelo interregional de insumo-
produto para 27 unidades
federativas”**

Rogério Silva de Mattos

TD. 009/2012

***Programa de Pós-Graduação em Economia
Aplicada FE/UFJF***

Juiz de Fora

2012

Redução de Intensidades de Uso de Eletricidade: Uma análise com um modelo interregional de insumo-produto para 27 unidades federativas

Rogério Silva de Mattos¹

Resumo

Os programas e campanhas de conservação de energia e os avanços tecnológicos na produção de equipamentos e produtos eletro/eletrônicos tem promovido uma redução nas intensidades de uso de eletricidade (IUE). O Brasil tem sido uma exceção em função do rápido crescimento do consumo de eletricidade nas últimas duas décadas, mas é de se esperar que, na medida em que progride seu desenvolvimento, atinja um ponto de reversão no comportamento da IUE. Diante desta perspectiva, este estudo apresenta uma análise interregional de insumo-produto onde cenários de redução das IUE e seus impactos intra- e interregionais em termos do consumo de eletricidade foram estudados. Foi utilizado, para tanto, um modelo interregional de insumo-produto com 16 setores e 24 unidades federativas, que permite estudar os impactos setoriais e regionais mas sem considerar efeitos de rebote (*rebound effects*). Os resultados indicam que as respostas setoriais são muito similares em termos da contração do consumo de eletricidade e que a principal exceção é o próprio setor elétrico, que se contrai mais intensamente devido à menor demanda de eletricidade pelos demais setores. Do ponto de vista regional, os resultados indicam que as regiões menos prosperas do país tendem a dar respostas mais intensas (i.e., em termos relativos) de contração do consumo de eletricidade.

1. Introdução

A busca por maior eficiência energética tem sido grande preocupação das sociedades em vários países do mundo. Movidos por uma perspectiva de esgotamento das fontes de energia não renovável e pelos impactos negativos que o uso desse tipo de energia, notadamente os combustíveis fósseis, produzem sobre o meio ambiente em termos de poluição e aquecimento global (World Bank, 2011), diversos governos e instituições em vários países vêm promovendo ações voltadas para uso eficiente de energia. Um exemplo relevante disso tem sido os esforços da *International Energy Agency* (IEA), que promoveu recentemente uma campanha envolvendo 25 recomendações de políticas voltadas para a eficiência energética (IEA, 2012).

No que concerne à energia elétrica, a busca de eficiência apresenta certas particularidades. Do lado da oferta, a geração de eletricidade pode ser feita a partir de fontes não renováveis - como no caso das usinas termelétricas que usam óleo diesel e carvão vegetal - ou renováveis - como as usinas hidrelétricas e as movidas a biomassa, energia eólica e nuclear. Os avanços de eficiência do lado da oferta normalmente acontecem no sentido de redução de

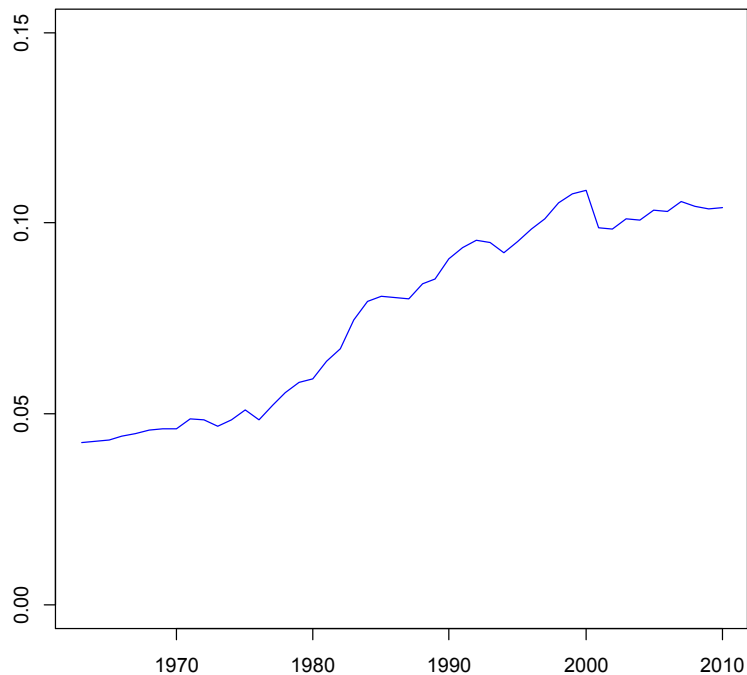
¹ O autor agradece o apoio financeiro da Fapemig para o desenvolvimento desta pesquisa e as ajudas de Victoria Sclafani Pujatte e de Fernando Salgueiro Perobelli, sem no entanto comprometê-los com as opiniões aqui expressas.

custos do sistema (geração, transmissão e distribuição) e no redirecionamento para o uso de fontes primárias renováveis e menos agressivas ao meio ambiente. Pelo lado da demanda, os avanços de eficiência se revelam no permanente lançamento de novos produtos eletroeletrônicos que economizam cada vez mais eletricidade tanto a nível do consumo residencial quanto a nível das utilizações industriais e prediais. Essas transformações vêm sendo incentivadas pela sociedade através de programas e políticas públicas para aumento da eficiência energética e também por sinais de mercado (EPE, 2006 e 2007).

No caso brasileiro, as preocupações com eficiência energética aumentaram motivadas pelo crescimento do consumo de eletricidade a partir meados da década de 90. A abertura da economia iniciada no Governo de Fernando Collor de Mello, em 1990, e posteriormente o lançamento do Plano Real no Governo Itamar Franco, em 1994, promoveram com sucesso a eliminação da hiperinflação e a estabilidade da moeda. Um efeito imediato foi uma grande melhora na distribuição pessoal da renda a favor de classes econômicas de mais baixa renda. Isso constituiu grande incentivo ao aumento do consumo residencial de eletricidade, notadamente nas maiores aglomerações urbanas, num contexto em que o processo de lançamento de novos produtos eletrônicos começava a se intensificar. Esse processo sofre uma quebra de continuidade com o racionamento de eletricidade em 2001, que induziu o consumo residencial a diminuir drasticamente. O aumento do imposto sobre o uso de eletricidade e as intensas campanhas de redução do consumo promoveram forte incentivo para economia de eletricidade por parte da população (EPE, 2008). Desde então, o consumo de eletricidade em geral (residencial, industrial e comercial) vem crescendo em grande parte fomentado pela boa fase econômica vivida pelo país a partir de 2004 e também pela expansão da rede física no meio rural.

Esse movimento do consumo de eletricidade no Brasil tem sido tal que, em termos agregados, a intensidade de uso de eletricidade na verdade veio aumentando e não reduzindo. O gráfico 1 mostra o comportamento da relação consumo total de eletricidade/PIB real, que é a forma mais usual de se medir a intensidade de uso de eletricidade. Fica evidente um permanente crescimento com aceleração em ciclos a partir de meados da década de 1980 e uma quebra estrutural correspondente ao racionamento de 2001.

Gráfico 1 – Relação consumo de eletricidade/PIB real
(GWh/R\$ milhões de 2011)



Fonte: Boletim SIESE (para consumo de eletricidade em GWh); IBGE-Sistema de Contas Nacionais e IPEADATA (para PIB real a preços correntes de 2011).

Esse padrão de comportamento da IUE ao longo do tempo no Brasil é um tanto atípico quando se procede a comparações internacionais. A literatura sobre o assunto aponta que as IUEs em países desenvolvidos vem caindo já desde meados dos anos 80. Isto decorre do próprio avanço econômico desses países, onde a preocupação com conservação de energia já prevalece há muito tempo. No entanto, no caso de muitos países em desenvolvimento as IUEs se mantiveram estáveis ou com alguma tendência de crescimento (Mielnik e Goldemberg, 2000), o que decorre do esforço de industrialização desses países e de alguma resistência dos mesmos em, no caso de acordos internacionais como o Protocolo de Kyoto, diminuir seu consumo pois isso poderia prejudicar seu desenvolvimento. Entretanto, países em desenvolvimento como a China lograram estabilizar ou oscilar sem tendência de crescimento o comportamento de suas IUE. O caso brasileiro apresentado no gráfico 1 retrata uma nítida tendência de crescimento mesmo após o choque do racionamento de 2001. É de se esperar, no entanto, que esta tendência em algum momento se reverta, pois outros estudos como o de apontam para a existência de uma curva em formato de U invertido na relação entre IUEs e renda per capita. Isto é, indicam que é natural que na fase de desenvolvimento os países apresentem um aumento de suas IUEs

mas que tal processo se reverte a partir de certo momento quando o desenvolvimento já maturou.

Assim, a longo prazo, é de se esperar que a redução nas intensidades de uso de eletricidade venha a prevalecer mesmo no caso brasileiro. Este fenômeno é importante porque tende a produzir impactos na estrutura de interação setorial e regional da economia. Sendo um significativo componente de custo para vários setores econômicos, as IUE em diminuição fazem aumentar por um lado a lucratividade desses setores e de outro tendem a reduzir a demanda de eletricidade (ou pelo menos amortecer seu crescimento no tempo). Sendo um fenômeno com forte probabilidade de se cristalizar futuro, é interessante medir e avaliar seus impactos sobre a economia.

O objetivo deste estudo foi o de medir quantitativamente e avaliar qualitativamente a reação estrutural, em termos setoriais e regionais, do sistema econômico induzida pelos avanços tecnológicos que levam a uma eficiência (e logo economia) cada vez maior no uso de eletricidade. Em particular, buscou-se responder à pergunta: Na ausência de efeitos rebote (rebound effects), como responderiam os diferentes setores e as diversas regiões em termos de seus consumos de eletricidade frente à cenários de redução geral das IUEs? Para tanto, o MIRIP foi utilizado para simular numericamente os impactos decorrentes de certos cenários de redução das IUE e os resultados foram analisados.

2. Conceito de Intensidade de Uso de Eletricidade

A IUE é o montante de eletricidade consumida por unidade de certo resultado que se pretende obter com esta forma de energia. Por exemplo, se numa região fria um determinado aparelho aquecedor promove uma temperatura amena, digamos de 20 graus centígrados, por uma hora dentro de um certo ambiente interno e nesta hora consome 2500 *kWh*, então a IUE é dada por:

$$e = \frac{C}{X} = \frac{2500}{20} = 125 \frac{kWh}{^{\circ}C}$$

onde e é a IUE, C é o consumo de eletricidade e X o resultado obtido. Deste modo, ao mesmo tempo e é um conceito e uma medida do grau de **eficiência técnica** de um equipamento elétrico ou eletrônico. Se um outro aparelho aquecedor, por exemplo de uma marca concorrente, proporcionar os mesmos 20 graus centígrados de temperatura por uma hora e consumir apenas 1500 *kWh*, então sua IUE seria dada por:

$$e^* = \frac{C^*}{X} = \frac{1500}{^{\circ}20} = 75 \frac{kWh}{^{\circ}C}$$

onde e^* é a nova IUE, C^* é o novo consumo de eletricidade e X o mesmo resultado obtido. Logo, eficiência técnica valeria $75 kWh/^{\circ}C$, isto é, 40% a menos que a do primeiro aquecedor. Diz-se, então, que este segundo aparelho é mais eficiente tecnicamente. Este conceito de eficiência técnica é muito importante porque direciona os esforços de pesquisas tecnológicas voltadas para se obter novos equipamentos e dispositivos eletro/eletrônicos que economizam energia elétrica.

Em estudos econômicos, quando se busca medir em termos mais agregados a eficiência energética não só para um equipamento mas para um setor econômico ou até mesmo para toda a economia de um país, é comum calcular-se a IUE da seguinte forma:

$$g = \frac{E}{Y}$$

onde g é a IUE do setor ou da economia, E é o consumo de eletricidade do setor ou da economia, medido em GWh ou $R\$$, e Y é o valor adicionado ou PIB do setor ou da economia, medido em $R\$$. Note-se que esse é um conceito muito similar ao da eficiência técnica de um aparelho, mas neste caso diz-se que ele mede uma **eficiência econômica**, porque refere-se não a como um aparelho ou equipamento eletro/eletrônico se comporta tecnicamente, mas a como vários e diversos agentes racionais interagindo de forma agregada se comportam economicamente gerando, para o setor ou a economia, o consumo de eletricidade, o PIB e a relação entre ambos captada por g .

Quando se analisa, como é o caso neste texto, o comportamento das IUEs, é importante lembrar que existem esses dois conceitos similares, porém distintos: **eficiência técnica** e **eficiência econômica**. Normalmente, há um anseio da sociedade de que ambas, e sobretudo a segunda, venham a se reduzir no tempo. Os próprios mecanismos de mercado livre proporcionam incentivos ligados à competição entre fabricantes de produtos eletro/eletrônicos que motivam esses a investir em P&D de novos produtos mais eficientes tecnicamente. No entanto, além disso políticas econômicas que provêm incentivos adicionais a esses mesmos fabricantes para perseguirem mais eficiência técnica são também adotadas juntamente com programas e campanhas de conservação de energia, implementados para estimular os consumidores a usar de forma mais eficiente, economicamente esses aparelhos.

No entanto, é um fenômeno recorrente o fato de que ambos os indicadores de eficiência se comportam de forma distinta ao longo do tempo. A eficiência técnica dos aparelhos e

equipamentos eletro/eletrônicos vem persistentemente se reduzindo (melhorando) ao longo do tempo, mas a eficiência econômica vem aumentando (piorando). Isso por exemplo acontece no caso brasileiro (tal como foi visto no Gráfico 1), onde o consumo de eletricidade da economia veio crescendo mais rapidamente do que o PIB de modo que a relação entre ambos veio aumentando. Por que isso acontece?

Há algumas razões que podem ser aventadas para isso:

- A melhora da eficiência técnica reduz os custos de uso dos aparelhos e equipamentos eletro/eletrônicos e com isso estimulam o aumento de sua utilização. Isso vale tanto para empresas quanto para consumidores finais e é conhecido na literatura como *rebound effect* (efeito rebote).
- O crescimento persistente das economias promove mais uso de eletricidade, funcionando como um contraponto natural ao aumento da eficiência técnica.
- A necessidade de se mudar a matriz energética na direção de menor uso de fontes primárias de energia poluidoras e agressivas ao meio ambiente, como as originárias de combustíveis fósseis, tem motivado o uso de energias renováveis, entre elas a eletricidade, cujo consumo não é poluidor nem agressivo ao meio ambiente.
- Os principais avanços tecnológicos vêm acontecendo na área de produtos eletro/eletrônicos, suportados pelos contínuos progressos em tecnologia da informação. Isto tem levado ao aparecimento de uma sempre crescente gama de novos aparelhos e equipamentos que, embora sempre dotados de melhor eficiência técnica, são cada vez mais diversos e mais baratos, o que os faz abarcar mercados cada vez maiores.

Dado que a redução da eficiência econômica não necessariamente vem acontecendo apesar dos avanços tecnológicos na eficiência técnica, cada vez mais se faz necessária a adoção de políticas voltadas para estimular a eficiência econômica. Supondo-se que fosse encontrado um rol de políticas que venham a ser bem sucedidas nesse sentido, qual o impacto que a redução nas IUEs trariam para o consumo agregado de eletricidade em toda a economia? Este artigo busca responder a esta pergunta usando um modelo interregional de insumo-produto e esse é o assunto da próxima seção.

3 Metodologia

O componente central da metodologia é um modelo de insumo–produto interregional para a economia brasileira, composto por 16 setores de atividade e 27 unidades federativas (UFs), equipado com um módulo de determinação do consumo de eletricidade. Por meio desse

modelo, é possível avaliar os impactos de diferentes cenários de redução nas IUEs. A abordagem de construção do modelo aqui seguida é semelhante à que vem sendo usada em outros estudos, como os de Alcántara e Padilha (2003) e Liang, Fan e Wei (2007). O restante desta seção descreve em detalhes o modelo e suas possibilidades de aplicação.

2.1. Modelo Interregional de Insumo-Produto

O modelo interregional de insumo produto (MIRIP) é uma importante extensão da análise de insumo–produto introduzida por Vassily Leontief. No modelo interregional, admite-se mais do que uma região, ao contrário da análise de Leontief (Miller e Blair, 2009). Assim, o modelo interregional a ser aqui apresentado é composto por n setores de atividade e m regiões, podendo ser representado formalmente em notação matricial como:

$$X = BY \quad (1)$$

onde: $B = (I - A)^{-1}$ é a versão interregional da matriz inversa de Leontief ou de requerimentos totais, de ordem $(mn \times mn)$, A é a matriz interregional de coeficientes técnicos (ou de requerimento diretos), de ordem $(mn \times mn)$, X é um vetor de produção setorial e regional, de ordem $(mn \times 1)$ e Y é um vetor de demanda final setorial e regional, de ordem $(mn \times 1)$.

As matrizes B e A são constituídas por m^2 submatrizes regionais, cada uma de ordem $(n \times n)$, que podem ser representadas como:

$$A^{kl} = \begin{bmatrix} a_{11}^{kl} & \cdots & a_{1n}^{kl} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}^{kl} & \cdots & a_{nn}^{kl} \end{bmatrix} \text{ e } B^{kl} = \begin{bmatrix} b_{11}^{kl} & \cdots & b_{1n}^{kl} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1}^{kl} & \cdots & b_{nn}^{kl} \end{bmatrix} \quad (2)$$

onde $k = 1, \dots, m$ e $l = 1, \dots, m$ são superescritos que indicam a região fornecedora k e a região compradora l , respectivamente. Quando $k = l$, as matrizes em (2) correspondem aos requerimentos (diretos e totais, respectivamente) intra–regionais. Quando $k \neq l$ as matrizes em (2) correspondem aos requerimentos inter–regionais.

2.2 Determinação do Consumo de Eletricidade

A n -ésima linha das matrizes em (2) corresponde ao setor de eletricidade na região k e a n -ésima coluna corresponde ao setor de eletricidade na região l . Em geral, na análise de insumo produto os coeficientes da matriz A^{kl} são calculados a partir de informações monetárias de fluxos de comércio intersetorial de naturezas intra- ou interregional, isto é $a_{ij}^{kl} = z_{ij}^{kl} / x_j^l$, onde z_{ij}^{kl} são as vendas monetárias do setor i em k para o setor j em l e x_j^l é o valor monetário do produto do setor j em l . Disto segue que os elementos de B^{kl} usualmente são interpretados de forma análoga, isto é, como sendo calculados a partir de informações monetárias. As matrizes A e B apresentam m linhas que são calculadas em unidades físicas (e não monetárias) e que correspondem aos setores de eletricidade nas m regiões. Cada elemento de cada uma dessas linhas na matriz A será genericamente representado como e_j^{kl} e interpreta-se como sendo o requerimento **direto** de eletricidade, em R\$, produzida pelo setor elétrico em k para atender à produção de R\$ 1,00 de produto do setor j em l . De forma análoga, cada elemento de cada linha na matriz B referente ao setor de eletricidade será genericamente representado como λ_j^{kl} e interpreta-se como sendo o requerimento **total** de eletricidade produzida pelo setor elétrico em k para atender à produção de R\$ 1,00 de produto do setor j em l .

É importante observar aqui que o requerimento total refere-se à soma de todos os requerimentos de eletricidade de todos os setores da economia envolvidos na produção do setor j da região l . Ele engloba o requerimento direto de eletricidade mais todos os requerimentos **indiretos** (isto é, os requerimentos de eletricidade dos outros setores, além do setor i em k , que produzem bens intermediários para o setor j em l). Por esse motivo, o **consumo** setorial de eletricidade, que é feito por cada setor da economia em cada região, não deve ser confundido com **requerimento** setorial de eletricidade. Para calcular o consumo setorial de eletricidade, por região, precisamos estender o modelo em (1), incorporando os seguintes elementos:

$$C_A = E \cdot A \quad (3)$$

$$C_B = E \cdot B \quad (4)$$

onde C_A é uma matriz de coeficientes de **consumo direto** de eletricidade, de ordem $(mn \times mn)$, C_B é uma matriz de coeficientes de **consumo total** de eletricidade, de ordem $(mn \times mn)$, e E pode ser vista como uma matriz de **coeficientes de comercialização regional de eletricidade**, de ordem $(mn \times mn)$. Cada uma dessas matrizes é formada por m^2 submatrizes regionais, cada uma de ordem $(n \times n)$, como segue:

$$C_A^{kl} = \begin{bmatrix} ca_{11}^{kl} & \cdots & ca_{1n}^{kl} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ ca_{n1}^{kl} & \cdots & ca_{nn}^{kl} \end{bmatrix} \text{ e } C_B^{kl} = \begin{bmatrix} cb_{11}^{kl} & \cdots & cb_{1n}^{kl} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ cb_{n1}^{kl} & \cdots & cb_{nn}^{kl} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$E^{kl} = \begin{bmatrix} e_1^{kl} & & \mathbf{0} \\ & \ddots & \\ \mathbf{0} & & e_n^{kl} \end{bmatrix} \quad (6)$$

onde, novamente, $k = 1, \dots, m$ e $l = 1, \dots, m$ são superescritos que indicam a região fornecedora k e a região compradora l , respectivamente. Quando $k = l$, as matrizes em (5) correspondem aos coeficientes de consumo (diretos e totais, respectivamente) intra-regionais. Quando $k \neq l$ as matrizes em (2) correspondem aos coeficientes de consumo inter-regionais. De forma análoga, quando $k = l$ os elementos da diagonal principal de E^{kl} em (6) representam coeficientes de comercialização intra-regionais de eletricidade, ao passo que quando $k \neq l$, esses elementos representam coeficientes de comercialização inter-regionais de eletricidade. O elemento genérico e_{ij}^{kl} da matriz E^{kl} também é chamado de intensidades de uso de eletricidade (logo, IUE), mas apresenta uma pequena diferença em relação ao conceito de IUE apresentado antes porque é definido como:

$$e_{ij}^{kl} = \frac{z_{i^*j}^{kl}}{x_j^l} \quad k, l = 1, \dots, m; j = 1, \dots, m \text{ e } i^* = n, 2n, 3m, \dots, mn. \quad (7)$$

onde $z_{i^*j}^{kl}$ é a quantidade de eletricidade produzida em k que é requerida para produção de R\$ 1,00 de produto do setor j na região l ; x_j^l é o valor bruto da produção do setor j na região l . Ou

seja, e_{ij}^{kl} é uma IUE medida em relação ao valor bruto da produção e não em relação ao valor adicionado ou PIB.

2.3 Simulação de Cenários de Redução das IUEs

Vários cenários envolvendo redução nas IUEs podem ser caracterizados para fins de simulação de impactos no âmbito do MIRIP. Por exemplo, pode-se assumir desde uma redução uniforme (em termos absolutos ou relativos) para todas as IUEs em todas as regiões e todos os setores, até uma redução completamente heterogênea, diferente para cada IUE. Esta flexibilidade do MIRIP torna muito amplo o espectro de análises que podem ser feitas e, embora isso possa ser visto como uma vantagem, por outro lado torna muito amplo o escopo da pesquisa a se fazer.

Buscando-se objetividade, foi adotado aqui apenas um cenário, a saber, o de redução uniforme relativa. Isso envolve calcular novas IUE a partir das IUE originais do MIRIP, conforme:

$$g_j^{kl} = (1 - \alpha)e_j^{kl} \quad k = 1, \dots, n_k; l = 1, \dots, n_l; e j = 1, \dots, n_j$$

onde g_j^{kl} é a IUE reduzida, isto é, o novo coeficiente de uso de eletricidade na região k feito pelo setor j da região l , e α é um parâmetro de desconto ou redução assumindo valores entre 0 e 1. Em termos da representação matricial do MIRIP, isto envolve recalculer a matriz A de modo que as linhas correspondentes aos setores de eletricidade em cada região ficam substituídas pelas g_j^{kl} . Esta nova matriz será designada aqui por A_g , e isso permite reescrever o MIRIP como:

$$B_g = (I - A_g)^{-1}$$

$$X_g = B_g Y$$

$$C_{Bg} = E_g B_g$$

$$ce_g = C_{Bg} Y$$

onde B_g , X_g e C_{Bg} são matrizes/vetores definidos de forma análoga à B , X , C_B , com o subscrito 'g' indicando a nova situação considerada. O vetor ce_g , de ordem $n_k n_l \times 1$ contém os níveis de consumo de eletricidade em todos os setores e regiões.

Observe-se que o vetor Y de demanda final continua o mesmo, não se altera em função da redução imposta sobre as IUE dado que o mesmo é exógeno. Uma hipótese um pouco mais geral envolveria assumir uma redução similar do nível de demanda final de eletricidade (linhas

i^* de Y), o que deve ser frisado não se está assumindo aqui. Buscou-se adotar esse procedimento para avaliar como se comporta o sistema econômico em um contexto em que as IUE se reduzem mas que ao mesmo tempo precisa-se continuar atendendo ao mesmo nível de demanda final de todos os setores e regiões, inclusive o setor de eletricidade.

A partir de ce_g e ce é possível definir-se:

$$\Delta ce_g = ce_g - ce$$

que é o vetor $n_k n_j \times 1$ de variações no consumo de eletricidade de todos os setores e regiões.

É de se esperar que os elementos do vetor Δce_g sejam negativos. Isso acontece porque a redução das IUEs significa que o requerimento de eletricidade por unidade de produto diminui, já que precisa-se de menos energia para produzir a mesma quantidade de produto dos vários setores, inclusive o de eletricidade. Supondo constante a estrutura de demanda final setorial e regional, isso significa que pode-se atender à mesma estrutura consumindo menos eletricidade. Como a produção de eletricidade é parte do produto total da economia, segue que este diminui. Isso acontece porque, embora todos os setores continuem produzindo para atender à mesma estrutura de demanda final, o fazem usando menos eletricidade. Logo, o setor de eletricidade tem de produzir menos em todas as regiões para atender a um reduzido consumo intermediário de eletricidade por parte dos outros setores².

Deve ser observado que essa redução necessária dos elementos do vetor Δce_g decorre de duas hipóteses típicas de modelos de IP (Miller e Blair, 2009). A **primeira** é a de preços fixos. Isto faz com que os ajustes nos valores das variáveis endógenas do MIRIP em resposta às variações nas exógenas ou nos parâmetros (como as IUE) ocorram apenas nas quantidades requeridas. A **segunda** hipótese refere-se à ausência de mecanismos de reação da oferta à mudanças nos coeficientes técnicos da matriz de requerimentos, o que caracteriza os modelos IP como modelos do lado da demanda apenas. Essas duas hipóteses combinadas fazem com que a redução nas IUEs, que provoca um aumento do valor adicionado dos setores aos preços (fixos) vigentes, não induza um aumento de oferta por parte dos produtores. Em suma, isso faz com que todos os ajustes num modelo IP sejam apenas ajustes de requerimentos técnicos e não de comportamentos econômicos dos produtores e de preços que levem a novos pontos de equilíbrio dos mercados.

Como consequência, a redução nas IUEs no âmbito de modelos IP induzem sempre uma redução no consumo de eletricidade, ignorando-se assim a possibilidade dos chamados

² A redução das IUE, mantendo-se tudo o mais constante, deveria produzir algum incentivo para aumento da oferta aos preços vigentes por parte dos demais setores uma vez que o valor adicionado ou lucro dos demais setores aumentam. Esse efeito seria semelhante ao efeito “rebound” que acontece no consumo, quando a redução no custo de eletricidade incentiva o maior consumo da mesma (Gottron, 2001)

efeitos “rebound” (Grotton, 2001). Esses efeitos constituem um comportamento indesejado do ponto de vista da economia de energia pela sociedade porque se referem ao aumento de uso da energia motivado pelo fato de que, ao ter-se tornado menos necessária, ocorre uma redução no custo total de seu uso, seja residencial, seja industrial ou comercial. Essa redução de custo pode estimular tanto um aumento da produção de bens e serviços, como um aumento de consumo de eletricidade (por exemplo, pelo aumento na utilização de equipamentos eletrônicos porque o custo da eletricidade ficou mais baixo). Em outros modelos que incorporam a flexibilidade de preços e respostas de oferta ao aumento de lucros promovido pela redução das IUEs, como os da família de modelos de equilíbrio geral computável, efeitos diversos (e adversos, por exemplo, que induzissem a um aumento global do consumo de eletricidade) sobre o vetor Δce_g podem acontecer.

Em suma, é preciso atentar para o fato de que a vantagem de modelos IP reside apenas numa análise *ceteris paribus* de impactos sobre os requerimentos inter-setoriais e interregionais necessários para atender uma dada estrutura exógena de demanda final a preços fixos. A análise dos resultados da implementação do modelo MIRIP supondo o cenário de redução das IUEs aqui considerado, portanto, irá avaliar apenas as mudanças sobre a estrutura de requerimentos com foco sobre o consumo de eletricidade. Este é o assunto da seção 3.

2.4 Dados

O uso do modelo de insumo-produto depende da disponibilidade de uma matriz correspondente que definem os parâmetros do modelo embutidos nas matrizes A e B. Este estudo fez uso de uma matriz de insumo-produto interregional para a economia brasileira desagregada para 16 setores e 27 unidades federativas, construída por Haddad e Perobelli (2005). Os dados usados na confecção dessa matriz referem-se ao ano de 2004.

3 Resultados

Esta seção analisa os resultados de cenários de redução das IUE conforme descrito na seção anterior. Adotou-se dois cenários de redução uniforme das IUE, um de 5% e outro de 10%. A partir disso, foram calculados os impactos sobre variação do consumo de eletricidade. Os resultados estão apresentados nas tabelas 6.1 e 6.2. A primeira mostra os resultados para os setores e a segunda para as regiões. Em ambas as tabelas são apresentados também o VBP, a demanda final e o consumo de eletricidade, em termos agregados e por setor, para fins de referência.

A tabela 6.1 permite analisar as respostas setoriais. A tabela apresenta nas duas primeiras colunas de dados a demanda final e o VBP para os 16 setores. É possível observar-se

aqui que o valor da demanda final total em 2004 era cerca de R\$ 1,96 trilhões, o VBP total R\$ 3,43 trilhões e o consumo de eletricidade R\$ 57,4 bilhões. Nas quatro últimas colunas, a tabela apresenta as variações absolutas e relativas (percentuais) do consumo de eletricidade em resposta aos dois cenários de redução uniforme das IUE, de 5% e 10%. Em termos agregados, o consumo total de eletricidade da economia se reduz em R\$ 3,9 bilhões (cenário 5%) e R\$ 7,3 bilhões (cenário 10%). Esses números correspondem a reduções respectivas de -6,4% e -12,7%, mais do que proporcionais à redução relativa das IUEs e em escalas superiores à variação média que costuma apresentar o consumo total de eletricidade.

Em termos desagregados, os maiores impactos (reduções) acontecem para o setor de eletricidade, que reduz R\$ 1,37 bilhão, seguido pelo grupo Outros (que inclui diversos setores sendo alguns energo-intensivos como material de transporte e construção civil – vide Anexo ...), que se reduz em R\$ 728 milhões. A maior parte dos setores apresenta redução relativa em torno de 5% ou um pouco mais. Até certo ponto, é natural que seja assim porque a redução de consumo para esses setores equivale mais ou menos ao impacto que a redução das IUEs produzem sobre a estrutura de custos. Isto é, se para um setor a IUE reduz em 5%, significa que seu consumo de eletricidade reduzirá em 5% também (devido à hipótese de preços fixos). Isso não é válido, porém, para o setor de eletricidade porque a redução de sua produção, enquanto requerimento para os outros setores, é impactada pelo efeito acumulado das reduções de consumo de todos esses setores. Reduzindo mais intensamente sua produção, naturalmente irá reduzir mais intensamente seu consumo de eletricidade. Isso explica por que a redução relativa do consumo de eletricidade do setor de eletricidade é de 10,8% no cenário 5% e de 20,7% no cenário 10%, portanto bem mais intensa que a dos demais setores.

Tabela 6.1 - Variação do consumo de eletricidade em resposta a cortes uniformes de 5% e 10% nas IUE

	R\$ Milhões de 2004						
	Demanda Final	VBP	Consumo Eletric.	Var. Absoluta CE		Var. Relativa CE	
				5%	10%	5%	10%
Alpha							
Setores	1.962.732	3.430.239	57.359	(3.685)	(7.268)	-6,4%	-12,7%
Agro	73.758	203.132	1.114	(56)	(112)	-5,0%	-10,0%
Mine	22.452	81.639	3.575	(188)	(374)	-5,2%	-10,5%
Albb	162.037	242.508	2.645	(133)	(265)	-5,0%	-10,0%
Text	52.032	83.080	1.629	(82)	(163)	-5,0%	-10,0%
Papl	20.619	65.417	597	(30)	(60)	-5,0%	-10,1%

Quim	79.019	277.899	2.261	(115)	(229)	-5,1%	-10,1%
Nmet	3.907	31.555	1.396	(71)	(141)	-5,1%	-10,1%
Meta	29.208	89.585	2.821	(142)	(284)	-5,0%	-10,1%
Tran	67.677	156.806	951	(48)	(96)	-5,1%	-10,2%
Come	147.448	258.087	4.255	(214)	(429)	-5,0%	-10,1%
Spub	369.114	376.772	3.551	(178)	(356)	-5,0%	-10,0%
Outr	898.843	1.441.859	14.408	(728)	(1.454)	-5,1%	-10,1%
Limp	5	6.538	1.748	(120)	(235)	-6,8%	-13,4%
Gase	658	9.607	716	(40)	(79)	-5,6%	-11,1%
Aesg	8.081	20.521	2.895	(172)	(341)	-5,9%	-11,8%
Ener	27.875	85.233	12.799	(1.370)	(2.649)	-10,7%	-20,7%

A tabela 6.2 apresenta os resultados regionais para os 27 estados inclusive o Distrito Federal. Os resultados referentes aos impactos absolutos seguem um padrão esperado, na medida em que a economia brasileira concentra-se nas regiões Sudeste e Sul, onde é maior o consumo de eletricidade e portanto onde seria de se esperar que acontecessem os maiores impactos. De fato, em termos absolutos, a maior redução do consumo de eletricidade acontece para o Estado de São Paulo nos montantes de R\$ 1,1 bilhão no cenário 5% e R\$ 2,2 bilhões no cenário 10%. Seguem outros dois estados da Região Sudeste: Minas Gerais (redução de R\$ 364 e R\$ 721 milhões) e Rio de Janeiro (reduções de R\$ 351 e R\$ 694 milhões). Logo a seguir, vem os estados da Região Sul: Santa Catarina (reduções de R\$ 202 e 398 milhões), Paraná (R\$ 214 e R\$ 424 milhões) e Rio Grande do Sul (R\$ 201 e R\$ 398 milhões). Fora dessas áreas, destacam-se os Estados de Goiás (reduções de R\$ 205 e R\$ 400 milhões), na Região Centro-Oeste e da Bahia (reduções de R\$ 188 e R\$ 371 milhões), na região Nordeste. Ou seja, as contrações do consumo de eletricidade ocorrem nas regiões mais prósperas do país onde se concentram os principais eixos de desenvolvimento do país.

Em termos relativos o padrão se inverte, são as regiões menos prosperas que contraem mais intensamente o consumo de eletricidade. As maiores reduções ocorrem nas regiões Centro-Oeste (reduções de 7,3% no cenário 5% e de 14,4% no cenário 10%), Norte (reduções de 7,6% no cenário 5% e de 14,9% no cenário 10%) e Nordeste (reduções de 6,8% no cenário 5% e de 11,8% no cenário 10%), de forma mais intensa que a média nacional (Reduções de 6,4% no cenário 5% e de 12,6% no cenário de 10%). Por sua vez, as regiões Sul (reduções de 6,3% no cenário 5% e de 12,4% no cenário 10%) e Sudeste (reduções de 6,1% no cenário 5% e de 12% no cenário 10%) contraem a taxas mais lentas que a média nacional.

Tabela 6.2 Variação do consumo de eletricidade em resposta a cortes uniformes nas IUE (Valorem em R\$ milhões)

Alpha	Demanda Final	VBP	Consumo Eletric.	Particip. no CE	IUE Média	Valores Absolutos		Valores Relativos	
						5%	10%	5%	10%
Estados	3.817.472	6.690.193	111.794	100,0%	1,7%	(7.148)	(14.100)	-6,4%	-12,6%
Região Norte	107.993	170.285	2.923	2,6%	1,7%	(222)	(435)	-7,6%	-14,9%
Acre	3.891	5.385	88	0,1%	1,6%	(6)	(12)	-6,9%	-13,6%
Amapá	4.259	5.467	92	0,1%	1,7%	(7)	(13)	-7,3%	-14,3%
Amazonas	40.417	72.257	969	0,9%	1,3%	(79)	(156)	-8,2%	-16,1%
Pará	39.779	56.719	1.017	0,9%	1,8%	(68)	(134)	-6,7%	-13,2%
Rondônia	11.453	18.117	526	0,5%	2,9%	(45)	(87)	-8,5%	-16,6%
Roraima	2.225	3.277	81	0,1%	2,5%	(7)	(13)	-8,0%	-15,7%
Tocantins	5.969	9.062	148	0,1%	1,6%	(10)	(20)	-6,9%	-13,5%
Região Nordeste	275.592	452.436	8.082	7,2%	1,8%	(550)	(1.083)	-6,8%	-13,4%
Alagoas	13.876	21.829	393	0,4%	1,8%	(27)	(54)	-7,0%	-13,7%
Bahia	90.473	170.876	2.841	2,5%	1,7%	(188)	(371)	-6,6%	-13,1%
Ceará	39.989	59.649	1.090	1,0%	1,8%	(78)	(155)	-7,2%	-14,2%
Maranhão	20.576	30.535	484	0,4%	1,6%	(30)	(59)	-6,2%	-12,2%
Paraíba	17.572	27.515	570	0,5%	2,1%	(38)	(74)	-6,6%	-13,0%
Pernambuco	52.613	76.799	1.327	1,2%	1,7%	(99)	(194)	-7,4%	-14,6%
Piauí	9.901	13.936	200	0,2%	1,4%	(13)	(25)	-6,3%	-12,5%
Sergipe	12.352	21.662	538	0,5%	2,5%	(38)	(75)	-7,1%	-14,0%
Rio Grande do Norte	18.239	29.635	639	0,6%	2,2%	(38)	(76)	-6,0%	-11,9%
Região Centro-Oeste	156.603	268.253	5.488	4,9%	2,0%	(403)	(791)	-7,3%	-14,4%
Distrito Federal	53.396	78.015	1.109	1,0%	1,4%	(69)	(136)	-6,2%	-12,3%
Goiânia	46.448	83.316	2.318	2,1%	2,8%	(205)	(400)	-8,8%	-17,3%
Mato Grosso	31.042	60.164	1.231	1,1%	2,0%	(75)	(149)	-6,1%	-12,1%
Mato Grosso do Sul	25.718	46.758	830	0,7%	1,8%	(54)	(106)	-6,5%	-12,8%
Região Sudeste	1.062.309	1.898.705	31.046	27,8%	1,6%	(1.893)	(3.738)	-6,1%	-12,0%
Espírito Santo	39.312	68.666	1.144	1,0%	1,7%	(67)	(133)	-5,9%	-11,6%
Minas Gerais	175.498	332.180	5.875	5,3%	1,8%	(364)	(721)	-6,2%	-12,3%
Rio de Janeiro	225.023	352.847	5.856	5,2%	1,7%	(351)	(694)	-6,0%	-11,9%
São Paulo	622.476	1.145.012	18.171	16,3%	1,6%	(1.110)	(2.190)	-6,1%	-12,0%
Região Sul	360.235	640.560	9.819	8,8%	1,5%	(617)	(1.220)	-6,3%	-12,4%
Paraná	122.568	236.838	3.588	3,2%	1,5%	(214)	(424)	-6,0%	-11,8%
Santa Catarina	79.481	139.861	2.799	2,5%	2,0%	(202)	(398)	-7,2%	-14,2%
Rio Grande do Sul	158.186	263.862	3.432	3,1%	1,3%	(201)	(398)	-5,9%	-11,6%

6.3 Conclusão

Este trabalho utilizou um modelo de insumo-produto interregional, construído a partir de uma matriz insumo-produto com 16 setores e 27 UFs, que permitiu estudar os padrões diferenciados de respostas setoriais e espaciais do consumo de eletricidade frente a cenários de redução das IUEs, embora sem considerar os efeitos de rebote. Os resultados obtidos indicam que o impacto da redução das intensidades de uso de eletricidade primeiramente é o de reduzir o montante de requerimento global desta fonte de energia, trazendo como consequência uma redução global do produto, produzida em grande parte pela contração do setor elétrico. Além disso, foi possível verificar que, embora as diferentes regiões e estados do país apresentem um consumo de eletricidade diferenciado em função de seus respectivos níveis de desenvolvimento econômico, as regiões menos prósperas do país é que tendem a responder mais intensamente no sentido de reduzir o consumo de eletricidade. Isto permite concluir que melhoras na tecnologia que reduzem as IUEs geram respostas diferenciadas para as diferentes regiões brasileiras.

Referências

- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica: 2006-2015. Rio de Janeiro: EPE. 2006.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Plano Nacional de Energia 2030. Rio de Janeiro: EPE. 2007.
- Gotton, Frank. *Energy efficiency and the rebound effect: Does increasing efficiency decrease demand?* CRS Report for Congress. Washington: 2001.
- Haddad, E.A e Perobelli, F.S. Matrizes Inter-regionais de Insumo-Produto: 2004 - Relatório de Pesquisa da Fundação Instituto de Pesquisa Econômica - FEA/USP, volume 1, 2004.
- IEA (*International Energy Agency*). *25 Energy Efficiency Policy Recommendations*. Paris: IEA. 2011.
- World Bank. *World Development Report 2010*. Washington: World Bank. 2010.
- Grotton, F. *Energy Efficiency and the Rebound Effect: Does Increasing Efficiency Decrease Demand?* CRS Report for Congress OC RS20981. Washington: 2001.
- Mielnik, O. e Goldemberg, J. H. *Converging to a common pattern of energy use in developing and industrialized countries*. *Energy Policy* 28. 2000, pp 503-508.

Otávio Mielnik!, JoseH Goldemberg",*