



XXIII SNPTEE
SEMÍNÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

FI/GIA/28
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - XI

GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA

PERSPECTIVAS DE IMPACTO AMBIENTAL POR CO₂ DO NOVO PADRÃO ENERGÉTICO BRASILEIRO: UMA ANÁLISE ATRAVÉS DA ESTIMAÇÃO DA ELASTICIDADE-RENDA DA DEMANDA RESIDENCIAL POR ELETRICIDADE.

Vinícius F. da Silva(*)
CHESF

Lorena de O. Fonseca
PPGE/UFBA

Jailson A. de Lima Júnior
CHESF

Fernando A. M. Silva
CHESF

RESUMO

A Economia do Meio Ambiente afirma que o crescimento da renda promove pressões ambientais. Este trabalho busca avaliar a existência e a magnitude do impacto ambiental gerado pelo canal do consumo de eletricidade residencial propiciado pelo maior nível de renda. A metodologia é fundamentada na estimação das elasticidades-renda para os estados de Pernambuco e São Paulo com dados do ano de 2010, tal metodologia é baseada na análise quantitativa da Economia da Energia. Evidências da existência e da magnitude do link entre renda, consumo de eletricidade residencial e impacto ambiental foram obtidas a partir do uso das estimativas da elasticidade-renda e de medidas da emissão de CO_2/kW_h da matriz energética brasileira em diferentes cenários econômicos.

PALAVRAS-CHAVE

Elasticidade-renda, Consumo de Eletricidade Residencial, Impacto Ambiental.

1.0 - INTRODUÇÃO

O impacto ambiental decorrente do desenvolvimento econômico e do maior nível de renda da população foram extensivamente estudados pela Economia do Meio Ambiente (para uma revisão do tema, ver Mueller (1998), Cohen (2002), May, Lustosa e Vinha (2003), Goldemberg e Lucon (2007) e Andrade e Romeiro (2011)). O impacto ambiental promovido pelo crescimento da renda domiciliar promove pressões ambientais de inúmeras formas. O presente trabalho é focado na avaliação da existência, da magnitude e na análise de cenários do impacto ambiental gerado pelo aumento da demanda por eletricidade residencial propiciado pelo maior nível de renda domiciliar, o efeito-renda.

A literatura quantitativa da Economia da Energia desenvolveu teorias para analisar o efeito da renda sobre o consumo de energia elétrica domiciliar e é rica em evidências (por exemplo, ver Dubin e McFadden (1984), Modiano (1984), Andrade e Lobão (1997), Schmidt e Lima (2004) e Gomes (2010)). O consumo de eletricidade domiciliar é associado ao uso de aparelhos eletroeletrônicos domésticos, individuais ou coletivos, como o refrigerador, o aquecedor de água, a iluminação, o ar-condicionado, a televisão, os computadores etc. A Tabela 1 reporta dados de Schaeffer et al. (2009) sobre o uso de eletricidade nos domicílios brasileiros para o ano de 2005. Schaeffer et al. (2009) destacam que o consumo de eletricidade residencial na região Sudeste, a mais desenvolvida do país, para o ano de 2005 era em média 2 vezes maior do que o da região Nordeste, a menos desenvolvida. Além da diferença na média de consumo, os perfis domiciliares do uso de eletricidade também são distintos: no Sudeste, as residências destinam 30,0% ao aquecimento de água e 17,8% à iluminação, enquanto que no Nordeste os valores são 12,3% e 6,5%, respectivamente. A razão para tal divergência se refere, sobretudo, às diferenças climáticas.

(*) Rua Delmiro Gouveia, n° 333 – sala 309 - Bloco C – CEP 50.761-901 Recife, PE – Brasil
Tel: (+55 81) 3229-2605 – Fax: (+55 81) 3229-2347 – Email: vfsilva@chesf.gov.br

Tabela 1 - Uso da eletricidade nos domicílios brasileiros no ano de 2005 por região (%)

Região	Aparelhos				
	Refrigerador	Aquec. de Água	Iluminação	Ar-condic.	Outros
Sudeste	19,5	30	17,8	3,3	29,3
Nordeste	20,2	12,3	6,5	4,9	56,2
Brasil	20,4	20,6	12,2	8,7	38

Fonte: Schaeffer et al. (2009)

Na literatura da Economia da Energia, geralmente, assume-se que no mercado de energia elétrica a oferta é elástica, ou seja, ela responde a variações na demanda, logo, o consumo domiciliar de eletricidade não dependeria da oferta disponível no curto prazo. Aumentos na demanda de curto prazo são acompanhados pela oferta, com exceção dos casos extremos de falha no sistema (Goldemberg e Lucon 2007). Dentre os elos desse mercado o potencial impacto ao meio ambiente reside, sobretudo, na geração. A pressão ambiental associada ao uso da energia elétrica decorre tanto do excessivo uso de recursos naturais no processo de geração da mesma, como do descarte de dejetos sólidos, líquidos e gasosos. Por esse motivo o consumo energético é um significativo indicador da transformação da natureza por forças produtivas através das atividades antrópicas. Existe, então, um canal do impacto ambiental que passa pelo volume de energia elétrica domiciliar demandado, função, dentre outros fatores, da renda familiar.

Segundo Cohen (2002), o nível de consumo de energia elétrica *per capita* ainda é baixo para um país em desenvolvimento como o Brasil. Por isso, há uma margem significativa para o aprofundamento do padrão desse consumo. Em função da forte dinâmica demográfica e do baixo nível de renda da população, um desenvolvimento como o experimentado pelo país em décadas recentes, promove intensificação na demanda por eletricidade. Nesse contexto, o aumento do poder aquisitivo é refletido tanto na obtenção de mais equipamentos como no maior consumo de eletricidade. Paralelamente, há um agravamento do impacto ambiental pela mudança no padrão de geração. No Brasil, a matriz energética sofreu alterações significativas nos anos recentes em direção a uma matriz mais poluente. Apesar de ainda ter como base a hidroeletricidade, entre os anos de 2008 e 2012, 61,4% das novas plantas instaladas utilizam combustíveis fósseis, contra 35,4% de hidroelétricas (dados de Schaeffer et al. (2009).

O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto ambiental através do canal renda-consumo de energia elétrica domiciliar. Para tanto, é estimado o efeito-renda no consumo de eletricidade residencial *per capita* e a elasticidade-renda através de uma *cross-section* para o ano de 2010 para os estados de Pernambuco e São Paulo. Tal metodologia é baseada em uma análise quantitativa da Economia da Energia frequentemente utilizada, qual seja, a modelagem do comportamento do consumidor residencial representativo através de função de demanda logarítmica. Com essas medidas, são feitas avaliações do impacto ambiental utilizando estimativas da emissão de CO_2 por MWh de eletricidade gerado pelo setor elétrico. As elasticidades estimadas permitem testar a robustez dos resultados à luz dos valores reportados por outras pesquisas na área.

Os resultados evidenciam o comportamento inexorável do *trade-off* entre crescimento da renda e impacto ambiental, uma vez que as estimativas das elasticidades-renda e do fator de emissão de CO_2 do setor elétrico argumentam em favor da existência do canal do consumo de eletricidade residencial. Um exercício de previsão desenvolvido com as estimativas apresenta medidas da pressão ambiental: acréscimo de 2% na renda estaria associado a uma emissão adicional de CO_2 de 16.054,40 toneladas em relação ao estado de Pernambuco, e 144.832,90 toneladas a São Paulo. A obtenção dessas estimativas é uma vantagem significativa no planejamento energético e econômico, ao analisar o impacto ambiental decorrente de diferentes cenários de crescimento da renda e da demanda energética.

Além desta introdução, o artigo consta de mais cinco seções. A próxima seção expõe uma revisão da literatura do consumo de eletricidade residencial. A terceira seção apresenta a metodologia, as variáveis e a origem dos dados. Na seção 4 são apresentados os resultados das estimativas de elasticidade renda e do efeito da renda sobre o consumo de eletricidade residencial. Na quinta seção é feita uma avaliação do impacto ambiental do consumo de eletricidade domiciliar. A seção seis apresenta conclusões.

2.0 - REVISÃO DA LITERATURA

O histórico de estimativas da elasticidade-renda da demanda por energia elétrica domiciliar é amplo na literatura quantitativa da Economia da Energia. O fundamento teórico reside no suposto de que a demanda de energia elétrica residencial é diretamente influenciada por variações na renda do consumidor. Em um cenário de incremento no nível de renda domiciliar, dados outros fatores constantes, há deslocamento da restrição orçamentária, conseqüentemente as possibilidades de consumo são ampliadas e, nesse contexto, o de eletricidade

residencial. A alteração na possibilidade de consumo é representada através da taxa de utilização de equipamentos já adquiridos e pela aquisição de novos.

Dentre as primeiras estimações da demanda por energia elétrica uma se destaca, Nordhaus (1977), pela sua amplitude, fundamentação, pioneirismo e metodologia. Neste trabalho, foram utilizados dados agregados em um painel de 1959 a 1972 com seis países: França, Alemanha Ocidental, Itália, Holanda, Reino Unido e Estados Unidos (EUA). As estimativas de elasticidade foram calculadas para diversos setores da economia. Para o setor doméstico, a elasticidade renda variou entre 0,29 e 1,11.

Wills (1981) estimou as elasticidades-preço de domicílios de alto e baixo nível de consumo de energia elétrica, comparando-os. A estimação foi feita com uma cross-section composta por dados de 1975 de 27 distritos de Massachusetts (EUA). A elasticidade-preço estimada foi de $-0,25$. No estudo de Dubin e McFadden (1984) o foco residia em avaliar o viés na demanda por eletricidade. Por isso, adotaram Variáveis Instrumentais (VI) no modelo de cross-section para um sistema de equações simultâneas, considerando a escolha do consumidor por aquecedores domésticos. Os dados utilizados eram de uma sub-amostra de 1975 com 3249 domicílios da Federal Energy Administration dos EUA. Dentre as diversas formas funcionais e modelos estimados, a elasticidade renda estimada foi muito baixa, dentro de um intervalo de 0,008 a 0,079. Enquanto que a elasticidade preço estimada encontrava-se no intervalo de $-0,004$ a $-0,31$.

O primeiro estudo conhecido no Brasil é de Modiano (1984). Ele avalia o consumo de energia elétrica por dois tipos de modelos de séries temporais: um com suposto de ajustamento instantâneo do consumo à demanda; e outro com pressuposto de ajustamento parcial. As estimativas de elasticidades-preço e renda encontradas foram $-0,403$ e $1,130$. O período da amostra se restringiu aos anos de 1963 à 1981. Andrade e Lobão (1997) renovaram o estudo de Modiano (1984) porque estenderam o período amostral para 1995. A técnica econométrica para estimação das elasticidades utilizada foi a de Vetor Autorregressivo (VAR) com Variável Instrumental (VI). Por ser uma estimação de dois estágios, além da renda domiciliar, as variáveis explicativas adotadas foram o estoque e os preços dos eletrodomésticos e as tarifas de energia. Os resultados divergiram do estudo de referência, a elasticidade preço encontrada foi de $-0,058$ e a renda $0,213$.

Garcez e Ghirardi (2003) utilizaram dados mensais do consumo de eletricidade residencial no Estado da Bahia para o período 1994-2002. As estimativas das elasticidades preço e renda para o mercado baiano variaram entre $-0,03$ a $-0,07$ para a primeira e $0,127$ a $0,394$ para a segunda. Os autores destacam que o comportamento inelástico é acentuado para a Bahia. Schmidt e Lima (2004) estimaram as elasticidades de preço e renda para residências, indústrias e comércio utilizando o método de dados de série temporal de co-integração. Os valores encontrados foram de $-0,085$ e $0,539$. Verifica-se que as estimativas foram inferiores às de Modiano (1984) e superiores às de Andrade e Lobão (1997) (com metodologia similar à destes últimos). A amostra se resume aos anos de 1969 à 1999. Além da variável dependente de consumo total residencial, as variáveis utilizadas no estudo foram a tarifa média residencial, um índice de bens de consumo duráveis e o rendimento médio do real dos assalariados.

Mattos e Lima (2005) estimaram a demanda de energia elétrica no período de 1970 a 2002. Novamente a metodologia adotada foi a de co-integração, mas com Correção de Erros Vetoriais (VEC). Os resultados evidenciaram que a sensibilidade do consumo em relação à renda é maior do que em comparação ao preço, apesar das duas estimativas de elasticidades serem abaixo da unidade em valor absoluto. As estimativas foram de $0,532$ para renda e $-0,258$ para preço. Além destas variáveis ele controlou pelo preço dos eletrodomésticos. Este trabalho é significativo por ter avaliado a dinâmica regional da demanda de eletricidade residencial para o Estado de Minas Gerais.

Gomes (2010) divergiu do padrão de técnicas de séries temporais ao utilizar dados em painel. O período se restringe aos anos de 1999 a 2006. O painel é montado a partir dos dados de consumo de eletricidade residencial de 63 distribuidoras de energia elétrica, abrangendo todo o mercado elétrico brasileiro. As técnicas de estimação para os dados em painel adotadas foram pooled OLS, Efeitos Fixos (EF) e Efeitos Aleatórios (EA). Os resultados ficaram próximos aos encontrados na literatura nacional, quais sejam, $-0,111$ para a elasticidade preço e $0,102$ para a renda. O estudo leva em consideração o efeito da crise energética de 2001, que resultou no racionamento energético nos domicílios, capturando uma maior sensibilidade da demanda em relação ao preço nesse ano.

As principais estimativas encontradas na literatura estão sumarizadas na Tabela 2:

Autor	Tipo de Dados	Elasticidade-Renda
Modiano (1984)	Séries Temporais	1,13
Andrade e Lobão (1997)	Séries Temporais	0,213
Garcez e Ghirardi (2003)	Séries Temporais	0,127 a 0,394
Schmidt e Lima (2004)	Séries Temporais	0,539
Mattos e Lima (2005)	Séries Temporais	0,532
Gomes (2010)	Painel	0,102
Nordhaus (1977)	Painel	0,29 a 1,11
Dubin e McFadden (1984)	Cross-section	0,008 a 0,079

Fonte: Elaboração própria

Conforme observado na Tabela 2 as estimativas das elasticidades-renda variam consideravelmente. Porém, a maioria dos resultados encontrados na literatura situam-se em um intervalo com limite superior na unidade. Isso indica que a demanda de eletricidade domiciliar possui comportamento inelástico à renda. Abre-se uma ressalva a respeito dos resultados reportados por Dubin e McFadden (1984), na medida em que o próprio autor chama atenção para a baixa magnitude dos valores frente a estudos prévios. Provavelmente, isso se deve ao uso de Variável Instrumental (VI), dado que o autor utilizou uma estimativa de primeiro estágio que levou em consideração a escolha de aparelhos elétricos. Isso pode ter aumentado o erro padrão, efeito comum na utilização de VI. Apesar disso, o trabalho esteve na vanguarda em seu tempo, e foi muito referencial na literatura, devido em parte a estratégia adotada, que foi inovadora para sua época.

3.0 - DADOS E METODOLOGIA

Segundo a literatura de Economia da Energia a especificação da equação de demanda de um domicílio por eletricidade (a forma adotada segue Gomes (2010)) pode ser definida implicitamente da seguinte forma geral:

$$Q_i = f(P_q, P_k, R_i, E_i)$$

A quantidade demandada de energia elétrica é Q_i , P_q é a tarifa vigente para o consumidor i , P_k é o preço de substitutos diretos (como o gás), R_i é a renda real e E_i é o estoque de aparelhos elétricos do domicílio.

A seção anterior demonstrou que a metodologia frequentemente empregada para estimar o efeito da renda no consumo energético é a econometria de séries temporais. O principal motivo para tal escolha é controlar efeitos locais e capturar as mudanças na tarifa de energia elétrica. Neste trabalho é utilizado um modelo econométrico de cross-section para o ano de 2010 devido à restrição nos dados disponibilizados sobre o consumo de energia elétrica. Esta estratégia empírica tem respaldo em Wills (1981) e Dubin e McFadden (1984), por exemplo.

A indisponibilidade de informações acerca do estoque de aparelhos elétricos dos lares brasileiros e dos preços dos substitutos limita o uso dessas variáveis. O modelo econométrico está na forma de uma cross-section e serão estimados parâmetros para dois estados brasileiros, por isso a variável preço, P_i , não deve ser utilizada. O preço não varia entre cidades do mesmo estado e em um mesmo ano. A equação da demanda residencial na forma econométrica é a seguinte:

$$Q_i = \alpha + \beta R_i + u_i$$

Uma transformação logarítmica desta equação permite estimar a elasticidade renda da demanda residencial de eletricidade:

$$[\ln(Q)_i] = \gamma + \delta \ln(R_i) + e_i$$

Esse modelo tem como suposto que o termo de erro é não correlacionado com a variável dependente, ou seja, não haveria viés de variável omitida. Mas esse suposto não se mantém, devido às variáveis excluídas comentadas anteriormente. Para minimizar o viés são utilizadas proxys que formam um vetor de variáveis de controle X_i nas duas equações: a primeira medida é a densidade populacional na residência; a segunda é a população rural; a terceira é referente ao perfil da residência. Essas variáveis visam capturar o efeito dos eletrodomésticos, tanto a quantidade de aparelhos como a intensidade do uso por perfil de domicílio.

Por fim, a equação principal a ser estimada com todas as variáveis é apresentada a seguir na sua forma linear:

$$Q_i = \pi + \rho R_i + X_i' \phi + e_i$$

3.1 Dados, Variáveis e Estatísticas

Os dados são agregados no nível municipal e por isso o subscrito i representa uma cidade no modelo econométrico. Os registros de consumo de energia elétrica do setor residencial para o Estado de São Paulo estão disponíveis no site da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE). Para os municípios de Pernambuco, o mesmo conjunto de informações está disponível no Banco de Dados do Estado (BDE). Por sua vez, as variáveis explicativas integram o Censo Demográfico 2010.

A variável dependente é o consumo de eletricidade em KWh (quilowatt-hora) do setor residencial para cada município no ano de 2010, *per capita*, ou seja, dividido pela população municipal. A variável renda, que é a variável explicativa de interesse do modelo, R_i , é a renda per capita média por município. Ela é calculada pela razão entre o somatório da renda de todos os indivíduos residentes em domicílios particulares permanentes e o número total desses indivíduos por município à valores de agosto de 2010. As variáveis de controle são: a porcentagem da população que vive em domicílios com densidade superior a duas pessoas por dormitório; porcentagem da população municipal que vive em domicílios com paredes que não são de alvenaria ou madeira aparelhada; e a porcentagem da população residente na área rural.

Tabela 3 - Estatísticas Descritivas

	Pernambuco					São Paulo				
	N	média	máx	min	ep	N	média	máx	min	ep
KWh/pc	168	286,8	1004,9	110,1	117,8	645	620,5	1938,8	13,63	177,3
Renda	185	300	1144,3	155,5	117,5	645	713,9	2043,7	318,4	197,4
Densidade	185	32,47	53,16	18,08	6,75	645	22,17	50,82	2,91	8,31
Rural	185	38,01	87,62	0	20,42	645	15,68	75,09	0	14,28
Tipo de Habitação	185	4,35	27,26	0	5,4	645	0,77	18,65	0	1,39
<i>N</i>	185					645				

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 3 apresenta os respectivos dados para cada estado. O número de observações para o estado de São Paulo é cerca de quatro vezes maior do que o número de observações referentes ao estado de Pernambuco devido ao número de seus municípios. As estatísticas descritivas antecedem a relação esperada a ser apresentada pela regressão, qual seja municípios com maior renda *per capita* apresentam maior consumo residencial de eletricidade. Apesar disso, tal análise simples através de médias esconde outros fatores que a regressão pode mostrar.

Segundo os dados apresentados, a renda no estado de São Paulo apresenta média de R\$713,93 e a variável densidade de 22,17%. Para o estado de Pernambuco as mesmas variáveis são de R\$299,95 e 32,47%, respectivamente. Tal cenário indica a possibilidade de maior consumo de energia nos domicílios de São Paulo devido ao seu maior nível de renda. Por outro lado, a maior densidade domiciliar apresentada no estado de Pernambuco poderia corroborar com um maior consumo de energia nos domicílios. No entanto, leva-se em consideração que o maior número de pessoas por domicílio não necessariamente levaria a um aumento linear no consumo, devido a um consumo marginal decrescente por indivíduo. Ou seja, maior número de moradores promove ganhos de escala no uso de aparelhos eletrodomésticos de característica coletiva, como geladeira, televisão e ar-condicionado.

Acrescenta-se a contribuição da variável rural para a análise dos dados. Para o estado de Pernambuco a variável rural apresenta média de 38,01. Enquanto, No estado de São Paulo a média é de 15,68. É comum que residências rurais tenham um padrão de consumo mais simples, ou seja, menor número de aparelhos eletrodomésticos na residência. Dado que a média apresentada é menor em Pernambuco, espera-se que esse seja um dos motivos que justifiquem o menor consumo de KWh/per capita no estado.

4.0 - RESULTADOS PARA OS MUNICÍPIOS DE SÃO PAULO E PERNAMBUCO

Nesta seção são apresentadas as estimações da demanda de energia elétrica para os dois estados, São Paulo e Pernambuco, com testes e análises pertinentes. As regressões são feitas com base na equação 4, utilizando a especificação do modelo na forma logarítmica para estimação da elasticidade-renda. Nas tabelas a primeira coluna reporta as estimativas da regressão com a variável Renda na forma nível, enquanto que na segunda coluna a variável está logaritimizada, ou seja, o coeficiente é a estimativa da elasticidade-renda.

As estimativas das elasticidades-renda são 0,742 para o estado de Pernambuco e 0,509 para o de São Paulo. A estimativa do coeficiente do efeito linear da renda sobre o consumo de kWh/per capita para os municípios pernambucanos é 0,688 e para os paulistas é 0,49. Ou seja, um aumento de R\$1.000,00 na renda per capita média mensal está associado à um aumento de 688,0 kWh/per capita no estado de Pernambuco e de 490,0 no de São Paulo. As estimativas indicam que, considerados outros fatores constantes, um aumento na renda média da população pernambucana estaria associado à uma elevação maior no consumo de eletricidade residencial em comparação com o estado de São Paulo. Porém, destaca-se que o estágio de desenvolvimento e a posse de aparelhos eletrodomésticos são menores na Região Nordeste, logo, em Pernambuco. Espera-se que um aumento na renda neste estado seja mais destinado à aquisição de aparelhos desse tipo do que na outra região. Outra ressalva diz respeito à eficiência energética, decorrente do padrão tecnológico, que pode ser mais elevado nos equipamentos dos domicílios paulistas. Esses fatores podem ser determinantes da diferença entre as estimativas.

Tabela 4 - MQO para Pernambuco (colunas 1 e 2) e para São Paulo (colunas 3 e 4)

	(1) Linear	(2) Log	(3) Linear	(4) Log
Renda	0.688*** (0.106)		0.490*** (0.0407)	
Densidade	0.702 (0.951)	-0.000422 (0.00267)	3.659*** (0.700)	0.00477*** (0.000931)
Rural	-1.358*** (0.343)	-0.00480** (0.000965)	-4.160*** (0.474)	-0.00836*** (0.00150)
Tipo de Habitaç	-0.590 (0.668)	-0.000438 (0.00231)	4317 -4663	0.00103 (0.00652)
ln(Renda)		0.742*** (0.0660)		0.509*** (0.105)
Constante	109.7** (52.28)	1.592*** (0.419)	251.3*** (35.51)	3.088*** (0.707)
N	168	168	645	645
R ²	0.740	0.746	0.594	0.502

Erro padrão robusto em parênteses.

Níveis de significância: * p<0.10; ** p<0.05; *** p<0.01

Fonte: Elaboração própria utilizando o software STATA.

Variável dependente em kWh/per capita em (1) e (3) e em log (2) e (4).

Nas regressões da Tabela 4 a variável renda é estatisticamente significativa à 1,00% nas duas especificações do modelo. Apesar do número reduzido de observações, sobretudo para a amostra pernambucana, os erros-padrão associados com as variáveis explicativas de interesse são baixos, logo, a estimação intervalar é mais precisa. As elasticidades-renda estimadas para os dois estados estão dentro do intervalo de elasticidades encontradas na literatura. Isso é um indicador de robustez dos resultados. Além disso, o p-valor do teste F para todas as regressões foi zero, o que permite afirmar que as variáveis são conjuntamente significativas.

5.0 - AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL

A seção anterior avaliou a relação entre consumo de eletricidade residencial e o nível de renda. Esta seção desenvolve um exercício de avaliação do impacto ambiental promovido pela geração de eletricidade, a partir de duas estimativas: o efeito da renda no consumo de eletricidade, obtida na seção anterior; e uma estimativa da emissão de dióxido de carbono (CO_2) desenvolvida por Esparta (2008), e já utilizada por Schaeffer et al. (2009) em um estudo que estimou a conservação de energia elétrica propiciado por diferentes padrões tecnológicos de aparelhos elétricos domiciliares. O exercício proposto aqui faz a conversão da variação do consumo de energia elétrica, propiciado por cenários diferentes de elevação da renda, em emissões de CO_2 , para os dois estados.

Esparta (2008) obteve estimativas da emissão tCO_2/MWh produzidas por duas matrizes energéticas brasileiras, uma que engloba as regiões Norte e Nordeste e a outra as regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste. O cálculo foi elaborado com base nas usinas instaladas no período 2008-2012. Os fatores de emissão estimados foram de 0,303 e 0,416 tCO_2/MWh para a primeira região, que inclui o Nordeste, e para a segunda região, que inclui o Sudeste, respectivamente. Essas medidas são utilizadas como aproximações diretas para os respectivos estados neste exercício.

A tabela 5 apresenta os resultados do cálculo de emissão de CO_2 para os estados de Pernambuco e São Paulo em três cenários de variações da renda média per capita. Os cenários são caracterizados por variações de 1%, 2% e 5%, valores baseados nas variações médias recentes observadas na economia brasileira para o PIB. O total de MWh consumido em 2010 pelo setor residencial é utilizado como referência para o cálculo. Assim, para uma variação de 2,0% na renda média per capita, com base na estimativa da elasticidade-renda de 0,742, espera-se que o consumo de eletricidade aumente em 52.984,81 MWh no ano no estado de Pernambuco. Associado a esse aumento de eletricidade é esperado uma emissão adicional de CO_2 na ordem de 16.054,40 toneladas.

Tabela 5 - Estimativas de Impacto Ambiental

	Pernambuco			São Paulo		
	1,0	2,0	5,0	1,0	2,0	5,0
Δ Renda (%)						
Elasticidade-renda	0,742			0,509		
Total MWh em 2010	3.570.405,00			34.200.000,00		
Δ MWh	26.492,41	52.984,81	132.462,03	174.078,00	348.156,00	870.390,00
tCO ₂ /MWh	0,303			0,416		
Δ tCO ₂	8.027,20	16.054,40	40.135,99	72.416,45	144.832,90	362.082,24

Fonte: Elaboração própria

Para o estado de São Paulo, analisando o mesmo cenário, mas com base na estimativa de elasticidade-renda de 0,509 e com o valor aproximado do consumo de energia elétrica no ano de 2010 de 34.200.000 MWh, o aumento no consumo seria da ordem de 348.156,0 MWh. Concomitantemente, espera-se uma geração de 144.832,9 tCO₂ pela matriz energética associada ao estado paulista.

6.0 - CONCLUSÕES

Os resultados encontrados à luz da revisão teórica e dos dados disponíveis reafirmam o comportamento inexorável do trade-off existente entre crescimento da renda e impacto ambiental. Porém, como proposto inicialmente, o trabalho buscou contribuir com a literatura do tema ao analisar essa relação através do canal estabelecido pelo consumo de eletricidade do setor residencial. As elasticidades-renda obtidas a partir da estimação da demanda de eletricidade e do fator de emissão de CO_2 do setor elétrico, permitem confirmar a existência desse canal e, além disso, apresentar medidas do impacto referente à dois importantes e diferentes estados brasileiros.

Com base nas evidências encontradas, fica claro que um período de crescimento econômico envolveria necessariamente elevação no consumo energético e pressão ambiental. Conforme exposto por Schaeffer et al. (2009) existem medidas que a sociedade poderia adotar para conservar energia, tais como mudanças de hábitos de consumo e do padrão tecnológico (aumentando a eficiência energética). Mas, destaca-se que, dependendo do estágio do desenvolvimento da região, tais medidas podem não ocasionar a redução do consumo energético. De qualquer forma, essas são alternativas válidas que poderiam minimizar os impactos ambientais em muitos cenários, como o brasileiro. Para uma forte redução do impacto, o crescimento no uso de eletricidade devido à renda não poderia superar as medidas de conservação de energia adotadas. É necessário, então, encontrar um equilíbrio entre crescimento econômico e conservação energética, pois isso pode atuar como uma forma de aumentar eficiência e promover a amenização dos impactos ambientais.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, T. A.; LOBÃO, W. J. A. Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil. Rio de Janeiro: IPEA, (Texto para discussão 489), 1997.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Degradação ambiental e teoria econômica: algumas reflexões sobre uma economia dos ecossistemas. Economia, ANPEC-Associação Nacional dos Centros de Pósgraduação em Economia, v. 12, n. 1, 2011.
- COHEN, C. A. M. J. Padrões de consumo: desenvolvimento, meio-ambiente e energia no Brasil. Tese, 2002.
- DUBIN, J. A.; MCFADDEN, D. L. An econometric analysis of residential electric appliance holdings and consumption. Econometrica, JSTOR, p. 345–362, 1984.
- ESPARTA, A. R. J. Redução de emissões de gases de efeito estufa no setor elétrico brasileiro: a experiência do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto e uma visão futura. Tese — EP/FEA/IEE/IF, São Paulo, 2008.

GARCEZ, E. W.; GHIRARDI, A. G. Elasticidades da demanda residencial de energia elétrica. Anais do XXXI Encontro Nacional de Economia, ANPEC-Associação Nacional dos Centros de Pósgraduação em Economia, n. d34, 2003.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. Estudos Avançados, SciELO Brasil, v. 21, n. 59, p. 7–20, 2007.

GOMES, L. d. S. F. e. A demanda por energia elétrica residencial no Brasil: 1999 - 2006. Dissertação Mestrado em Economia Aplicada — Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.

(Mattos e Lima 2005) MATTOS, L. B. d.; LIMA, J. E. d. Demanda residencial de energia elétrica em Minas Gerais: 1970-2002. Nova Economia, SciELO Brasil, v. 15, n. 3, p. 31–52, 2005.

MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. d. Economia do meio ambiente: teoria e prática. (S.l.): Elsevier, 2003.

MODIANO, E. Elasticidade renda e Preços da Demanda de Energia Elétrica no Brasil. Rio de Janeiro: Departamento de Economia - PUC/RJ, (Texto para discussão 68), 1984.

MUELLER, C. C. Avaliação de duas correntes da economia ambiental: a escola neoclássica e a economia da sobrevivência. Revista de Economia Política, v. 18, n. 2, p. 66–89, 1998.

NORDHAUS, W. D. The demand for energy: an international perspective. International Studies of the Demand for Energy. Amsterdam: North-Holland, 1977.

SCHAEFFER, R. et al. The potential for electricity conservation and carbon dioxide emission reductions in the household sector of Brazil. Energy Efficiency, Springer, v. 2, n. 2, p. 165–178, 2009.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. A demanda por energia elétrica no Brasil. Revista brasileira de economia, SciELO Brasil, v. 58, n. 1, p. 68–98, 2004.

WILLS, J. Residential demand for electricity. Energy Economics, Elsevier, v. 3, n. 4, p. 249–255, 1981.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Nome: Vinícius Felipe da Silva

Nascimento: Timbaúba/PE, 08/01/1988

Graduação: Economia, UFBA, Salvador/BA, 2010. Mestrado: Economia, UFBA, Salvador/BA 2013. Doutorado: Economia, UFPE, Recife/PE, em andamento.

Currículo acadêmico: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4441241J0>