

AQUECIMENTO GLOBAL E A DEMANDA RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL¹

Lora dos Anjos Rodrigues²

José Gustavo Féres³

Leonardo Bornacki de Mattos⁴

Resumo

Este artigo tem como objetivo investigar os determinantes da demanda residencial de energia elétrica do Brasil no período de 1991 a 2008 com ênfase no fator climático. Estima-se ainda, através de simulações, o impacto do aumento da temperatura projetado para o período de 2010 – 2069 sobre a demanda de energia elétrica. A demanda residencial foi relacionada com a demanda por conforto térmico (nível desejado de temperatura) nos domicílios e derivada a partir do problema de otimização do consumidor. A estimação do modelo foi realizada com dados estaduais a partir de uma especificação de painel dinâmico. De forma geral, as elasticidades-preço e renda encontram-se em linha com os resultados observados na literatura. As variáveis climáticas mostraram-se determinantes para explicar o consumo de energia elétrica residencial do Brasil, evidenciando a importância de se incorporar os fatores climáticos nos estudos empíricos sobre demanda de eletricidade. Os resultados da simulação sugerem que a demanda residencial de energia elétrica do Brasil e suas regiões poderá aumentar como resposta adaptativa ao aumento projetado na temperatura.

Palavras-chave: Demanda residencial de energia elétrica, Mudanças climáticas, Painel dinâmico.

Abstract

This paper aims to investigate the electricity demand of Brazilian households from 1991 to 2008, emphasizing the role of climatic factors. Additionally, it aims at assessing how projected temperatures for the period 2010 - 2069 may influence electricity demand. The residential demand was related to thermal comfort and it was derived from the consumer's optimization problem. The model was estimated by using state-level data in a dynamic panel. Income and price elasticities are in line with results reported in the empirical literature. Climate variables were found to determine electricity consumption, highlighting the importance to incorporate such variables in electricity demand estimates. Simulation exercises were conducted to assess how electricity demand may vary in response to temperature increases. Results show that electricity demand of Brazil and its regions may increase due to increased cooling need.

Key-words: Residential electricity demand, Climate change, Dynamic panel.

JEL: Q54

¹ Os autores agradecem o financiamento dos grupos de pesquisa NEMESIS (PRONEXFAPERJ), Rede Clima/FAPESP e INCT/Mudanças Climáticas.

² Doutoranda em Economia Aplicada na Universidade Federal de Viçosa (UFV): lora_anjos@yahoo.com.br.

³ Pesquisador do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea): jose.feres@ipea.gov.br.

⁴ Professor Adjunto no Departamento de Economia Rural da UFV: lbmattos@ufv.br.

1. Introdução

A eletricidade vem aumentando sua participação no total de energia final consumida no Brasil, superando os níveis de consumo de lenha a partir dos anos 1990 e se tornando tão significativa quanto o consumo de óleo diesel nos dias atuais. Conforme dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2010), a energia elétrica representava 5,5% da energia total consumida em 1970. Sua participação relativa praticamente triplicou nos últimos trinta anos, representando 16,6% do consumo de energia total em 2009.

Impulsionado pelo processo de melhoria de renda e crescimento da quantidade de eletroeletrônicos nos domicílios, bem como pelo aumento de acesso à rede elétrica nas áreas rurais, o consumo de energia elétrica da classe residencial vem acompanhando esta tendência de forte crescimento. A taxa de crescimento média observada no período entre 1991 e 2009 foi de 4% a.a., com o consumo total residencial passando de 63 mil Gwh para 102 mil Gwh (BEN, 2010).

O reconhecimento da eletricidade como um dos principais componentes do vetor energético da economia motivou numerosos estudos sobre os determinantes de sua demanda. Tais estudos, como observado por Schmidt e Lima (2004), são importantes para o aprimoramento do planejamento energético. No entanto, a grande maioria dos estudos econométricos aplicados ao Brasil ainda não incorporam fatores climáticos em suas análises. A omissão das variáveis climáticas nos modelos de demanda por eletricidade pode resultar em estimativas viesadas. Além disso, ao ignorar os fatores climáticos, as análises não permitem abordar a questão das estratégias de adaptação às mudanças climáticas.

Neste sentido, a literatura internacional adiantou-se em considerar a influência do clima sobre a demanda de energia e a adaptação do consumo residencial frente às mudanças climáticas. Conforme Bigano, Bosello e Marano (2006) observaram, com as fortes ondas de calor que atingiram a Europa, as pessoas parecem ter alterado seu padrão de consumo de energia, instalando cada vez mais condicionadores de ar como uma estratégia adaptativa às bruscas variações positivas recentes no nível da temperatura.

Assim, a variação na demanda residencial de eletricidade em resposta às mudanças na temperatura vincula-se à busca dos consumidores por bem-estar. Segundo Eskeland e Mideksa (2010), o nível de utilidade dos consumidores está relacionado ao nível de conforto térmico por eles desfrutado e este é função da eletricidade necessária para manter a temperatura desejada no interior das construções.

De fato, estudos interessados em simular o impacto do aumento esperado na temperatura prevêm, para regiões e estações quentes (temperatura média relativamente mais elevada), aumento significativo na demanda de energia como uma forma de resposta adaptativa. Embora de forma global seja esperado aumento na demanda de energia elétrica em resposta à elevação da temperatura média, deve-se advertir que o efeito do clima sobre a demanda não se dá de forma linear, variando conforme estação do ano e região geográfica. Assim, quando há elevação na temperatura em estações e regiões mais frias, é esperada uma redução na demanda de energia como resultado de menor necessidade de aquecimento.

Para o Brasil, projeções climáticas apresentadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) sugerem aumentos da temperatura média variando entre 3 °C e 5 °C até 2100, com fortes diferenças regionais. Na Amazônia, por exemplo, a temperatura média poderá aumentar entre 4°C e 8°C (EMCB, 2010). Diante de tais projeções climáticas, podem ser esperadas modificações na necessidade de refrigeração/aquecimento, evidenciando-se assim a importância de um estudo que se preocupe com o impacto das mudanças climáticas sobre a demanda de energia elétrica levando em conta as diferenças regionais.

O estudo da demanda de eletricidade se faz ainda mais importante devido à existência de restrições na expansão da oferta. Historicamente, o planejamento energético no Brasil tem

privilegiado a expansão da oferta para atender ao crescimento do consumo. Contudo, esta estratégia de gestão via aumento da capacidade de geração apresenta sinais de esgotamento. Em primeiro lugar, a implantação de novas usinas exige altos investimentos. Além disso, a expansão da infraestrutura de geração tem sido alvo de críticas devido ao impacto socioambiental. A construção de novos aproveitamentos hidrelétricos provoca o alagamento de grandes áreas para a construção de barragens, deslocamento de comunidades locais e alterações no regime hídrico, entre outros impactos negativos. Em função disso, os processos de licenciamento ambiental para construção de novas usinas têm enfrentando forte oposição de ambientalistas e comunidades locais. Portanto, há necessidade de conservação da energia via gestão da demanda.

Ressalte-se ainda a existência de estudos que projetam redução da vazão de algumas bacias hidrográficas com comprometimento do potencial energético. Segundo Schaeffer et. al.(2008), as reduções de vazão média anual nas bacias hidrográficas brasileiras podem implicar na redução de 2,2% na produção de energia das hidrelétricas, caso confirmem-se as mudanças no regime de chuvas projetadas pelo IPCC. Neste contexto, de preocupação crescente com sustentabilidade e limitações na capacidade de expansão da infraestrutura de geração, o gerenciamento pelo lado da demanda aparece como uma alternativa indispensável de planejamento para o setor elétrico. Ratifica-se assim a importância de se conhecer de forma consistente os determinantes da demanda para que possam subsidiar a elaboração de políticas de planejamento de gestão da demanda e da oferta do setor energético como um todo.

Neste contexto, o objetivo deste artigo é investigar os determinantes da demanda residencial de energia elétrica do Brasil no período de 1991 a 2008 com ênfase na influência do fator climático. Pretende-se, adicionalmente, simular o impacto do aumento da temperatura projetado pelos modelos climatológicos utilizados pelo IPCC (2007) para o período de 2010 – 2069 sobre a demanda de energia elétrica em nível nacional e regional.

Este trabalho está dividido em mais cinco seções, além da introdução. Na segunda seção, encontra-se a revisão de literatura. A terceira apresenta o modelo teórico que fundamenta a relação entre clima e consumo residencial de energia. A quarta seção descreve o modelo econométrico utilizado na estimação. Os resultados estão disponíveis na quinta seção e as considerações finais são apresentadas na sexta seção.

2. Revisão de Literatura

Reconhecendo a importância do setor elétrico e a necessidade de se verificar a sensibilidade da demanda aos seus determinantes para fins de planejamento energético, Modiano (1984) realizou um dos primeiros estudos econométricos sobre demanda de energia elétrica para o Brasil. Foram estimadas as elasticidades-preço/renda da demanda de energia elétrica para as três principais classes de consumo (industrial, residencial e comercial) no período de 1966 – 1981, por meio do método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Utilizando um modelo de ajustamento dinâmico de demanda de energia, o autor calculou elasticidades-preço de longo prazo de -0,40 para a classe residencial, -0,18 para a classe comercial e -0,22 para a classe industrial. Em relação à elasticidade-renda, Modiano (1984) obteve valores acima de 1,0 para todas as classes de consumo.

Desde então, seguiram-se uma série de trabalhos que se propuseram a analisar a sensibilidade da demanda de energia elétrica em relação à renda e preço. Andrade e Lobão (1997) analisaram a demanda residencial e realizaram previsão de consumo para o período 1997 – 2005. Já Schmdit e Lima (2004) fizeram uma análise da demanda das três principais classes de consumo a partir de dados referentes ao período de 1969 a 1999. Ambos os trabalhos adotam técnicas de cointegração, o que propicia um tratamento estatístico mais adequado à questão da não-estacionariedade das séries utilizadas nas regressões. Os trabalhos

obtiveram elasticidades-preço da demanda residencial de energia abaixo do valor apresentado por Modiano (1984): enquanto Andrade e Lobão (1997) calcularam uma elasticidade-preço de longo prazo de -0,05, Schmidt e Lima (2004) estimaram um valor de -0,09. As estimativas para a elasticidade-renda também foram inferiores às calculadas por Modiano (1984).

A literatura empírica dedicou-se também a analisar as especificidades das demandas regionais. Irffi et. al. (2009) e Siqueira, Cordeiro Jr e Castelar (2006) analisaram a demanda das três classes de consumo para a região Nordeste e encontraram resultados distintos daqueles obtidos por Schmidt e Lima (2004) para o Brasil, em termos de magnitude da sensibilidade. Mattos e Lima (2005) analisaram a demanda residencial de energia elétrica para Minas Gerais.

A Tabela 1 resume os principais resultados da literatura empírica brasileira. Em linhas gerais, os estudos verificaram que a elasticidade-preço da demanda de energia elétrica no Brasil é baixa, com estimativas variando entre -0,05 e -0,46. Já as elasticidades-renda estimadas apresentam maior variabilidade, com valores entre 0,2 e 1,4.

Tabela 1 – Resumo dos resultados sobre demanda residencial (agregada) de energia elétrica da literatura nacional

Autor	Abrangência Geográfica	Método de Estimação	Elasticidade Preço	Elasticidade Renda
Modiano (1984)	Brasil	MQO ¹	-0,46	1,12
Andrade e Lobão (1997)	Brasil	MCEV ²	-0,05	0,21
Schmidt e Lima (2004)	Brasil	MCEV	-0,09	0,54
Mattos e Lima (2005)	Minas Gerais	MCEV	-0,26	0,53
Siqueira, Cordeiro Jr. e Castelar (2006)	Nordeste	MCEV	-0,41	1,4

Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: ¹MQO – Mínimos Quadrados Ordinários. ²MCEV – Mecanismo de Correção de Erros Vetoriais.

Poucas estimações econométricas de demanda de energia no Brasil têm dado atenção à questão da influência do clima no consumo de energia. Isto contrasta com a crescente literatura internacional sobre o assunto⁵. Recentemente, DePaula e Mendelsohn (2010) e Hollanda, Dias e Saraiva (2012) realizaram os primeiros estudos econométricos que incorporam o clima como fator explicativo da demanda residencial de energia elétrica. O primeiro teve como objetivo estimar a sensibilidade da demanda em relação à temperatura conforme estratos de renda. No entanto, o trabalho utiliza dados climáticos anuais, não levando em consideração a heterogeneidade sazonal dos efeitos da variação da temperatura. Já Hollanda, Dias e Barbosa utilizam o fator climático apenas como variável de controle, sem explorar de maneira mais detalhada o papel da temperatura no consumo de energia. Portanto, apesar de a literatura empírica já reconhecer os fatores climáticos como determinantes da demanda residencial de energia, o papel destas variáveis explicativas ainda foi pouco explorado e carece de análises mais detalhadas. Em particular, a questão da variação da demanda de energia como potencial estratégia adaptativa ao aquecimento global ainda não foi abordada na literatura brasileira. Este artigo pretende preencher esta lacuna.

⁵ Dentre as referências internacionais, podem ser citadas, Silk e Joutz (1997), Bigano, Bosello e Marano (2006), Deschênes e Greenstone (2007), Mansur, Mendelsohn e Morrison (2008) e Aroonruengsawat e Auffhammer (2009).

3. Modelo Teórico

A literatura empírica tradicionalmente trata a demanda de energia elétrica como bem de consumo final na função de utilidade do consumidor. Segundo Berndt (1991) e Kamerschen e Porter (2004), a inclusão do consumo de energia diretamente na função utilidade justifica-se pela utilização de equipamentos que necessitam de energia para funcionar. Neste artigo, o interesse em avaliar explicitamente a relação entre clima e consumo residencial de energia elétrica exige um referencial teórico alternativo. Adota-se aqui o arcabouço proposto por Eskeland e Mideksa (2010), que relaciona a demanda residencial de eletricidade com o conforto térmico no interior das residências⁶.

Deste modo, representa-se a utilidade do consumidor representativo i no tempo t como uma função separável de um conjunto de bens e serviços, Q_{it} , e de conforto térmico, C_{it} :

$$U_{it} = u(Q_{it}, C_{it}) \quad (1)$$

em que pressupõe-se $u_r = (Q_{it}, C_{it}) > 0$ e $u_{rr} = (Q_{it}, C_{it}) < 0$, sendo $r \in \{Q, C\}$ representativo das derivadas parciais de primeira e segunda ordem em relação a cada componente da função utilidade. Desta forma, a curva de utilidade é convexa em relação à origem e a taxa marginal de substituição entre Q_{it} e C_{it} é decrescente.

Define-se o conforto térmico como função da temperatura T_{it} , do consumo de energia elétrica E_{it} , considerado complementar ao uso de equipamentos reguladores da temperatura ao nível desejado (condicionadores de ar e ventiladores), da eficiência energética destes equipamentos W_t e do grau de isolamento térmico das construções h_i . Considera-se que a eficiência energética varia unicamente ao longo do tempo como decorrência evolução tecnológica. Já o isolamento térmico varia segundo características das construções do domicílio i , sendo constante ao longo do tempo.

O principal pressuposto desta abordagem é que o conforto apresenta relação não linear com a temperatura. Assim, para manter constante determinado nível de conforto térmico, o consumo de energia elétrica será tanto mais elevado quanto mais extremos – baixos ou altos – forem os níveis de temperatura. Portanto, a demanda de eletricidade é uma função não linear da temperatura. Para níveis baixos de temperatura, a elevação da temperatura resulta em aumento no nível de conforto do consumidor e diminui a demanda de energia para satisfação da necessidade de aquecimento do ambiente doméstico. Contrariamente, para níveis altos de temperatura, a elevação da temperatura resulta em queda no nível de conforto e aumenta a demanda de energia para satisfação da necessidade de refrigeração. Para captar esta não linearidade, desagrega-se a temperatura T_{it} segundo suas médias por estação, podendo o conforto térmico ser expresso por:

$$C_{it} = (T_{it}^s, E_{it}, W_t, h_i) \quad (2)$$

em que T_{it}^s representa a temperatura média do estado i no ano t durante a estação s ($s =$ verão, outono, primavera e inverno)⁷.

Para a estimação do modelo empírico, supõe-se que a função de conforto térmico seja do tipo Cobb – Douglas:

⁶ Ver também Dwees e Wilson (1990), Dubin, Miedema, Chandran (1986), e Hausman (1979, 1985).

⁷ Na aplicação empírica, a temperatura de verão corresponde à média das temperaturas dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro; a temperatura de outono à média de março, abril e maio; temperatura de inverno como a média de junho, julho e agosto e, por fim, temperatura de primavera como a média dos meses de setembro, outubro e novembro.

$$C_{it} = vE_{it}^m T_{Bit}^{\alpha_j} T_{Ait}^{\alpha_k} \quad ; \quad v = h_i(W_t)^m \quad (3)$$

em que as variáveis T_A e T_B referem-se às estações caracterizadas por temperaturas altas e baixas, respectivamente. O coeficiente α_j corresponde à elasticidade do conforto térmico em relação às baixas temperaturas e considera-se $\alpha_j > 0$: um aumento na temperatura de estações frias é acompanhado por aumento do conforto térmico. Já o coeficiente α_k corresponde à elasticidade do conforto térmico em relação às altas temperaturas e considera-se $\alpha_k < 0$: a elevação da temperatura de estações quentes é acompanhada pela redução no nível de conforto térmico. Por fim, o coeficiente $m > 0$ refere-se à produtividade da eletricidade em mitigar o efeito negativo das mudanças na temperatura T_B e T_A .

Tal especificação permite trabalhar com o efeito não linear da temperatura sobre o conforto. Assim, quanto maior a temperatura nas estações frias, maior o nível de conforto, e quanto maior a temperatura nas estações quentes, menor o conforto experimentado no interior das construções. Ressalte-se ainda que, para dado nível de temperatura T_B e T_A , o conforto aumenta com a quantidade de energia elétrica consumida.

As mudanças ocorridas na temperatura T_B e T_A devem ser compensadas por modificações na quantidade de energia elétrica consumida para que o nível de conforto (e utilidade) seja mantido constante. Estas relações estão expressas nas proposições 1 e 2.

Proposição 1: um aumento de temperatura em estações frias leva à redução no consumo de energia elétrica, ou seja, $\frac{dE}{dT_B} < 0$.

Demonstração: Tomando-se a diferencial total da expressão (3) e considerando-se $dC = 0$ e $dT_A = 0$, tem-se:

$$\begin{aligned} dC &= \frac{\partial(vT_A^{\alpha_k} E^m T_B^{\alpha_j})}{\partial E} dE + \frac{\partial(vT_A^{\alpha_k} E^m T_B^{\alpha_j})}{\partial T_B} dT_B \\ 0 &= vT_A^{\alpha_k} m E^{m-1} T_B^{\alpha_j} dE + vT_A^{\alpha_k} \alpha_j T_B^{\alpha_j-1} E^m dT_B \\ \frac{dE}{dT_B} &= \frac{-\alpha_j E}{m T_B} < 0 \quad \square \end{aligned} \quad (4)$$

Portanto, verifica-se a que a necessidade de energia elétrica varia no sentido inverso das modificações na temperatura das estações de temperatura média baixa. Ou seja, um aumento da temperatura em estações frias é acompanhado por uma redução na demanda de eletricidade. Este resultado pode ser explicado pela menor necessidade de aquecimento para manter o nível de conforto desejado no interior de domicílio.

Proposição 2: um aumento de temperatura em estações quentes leva ao aumento no consumo de energia elétrica, ou seja, $\frac{dE}{dT_A} > 0$.

Demonstração: Tomando-se a diferencial total da expressão (3) e considerando-se $dC = 0$, $dT_B = 0$, tem-se:

$$\begin{aligned} dC &= \frac{\partial(vT_A^{\alpha_k} E^m T_B^{\alpha_j})}{\partial E} dE + \frac{\partial(vT_A^{\alpha_k} E^m T_B^{\alpha_j})}{\partial T_A} dT_A \\ 0 &= vT_A^{\alpha_k} m E^{m-1} T_B^{\alpha_j} dE + vT_A^{\alpha_k-1} \alpha_k T_B^{\alpha_j} E^m dT_A \\ \frac{dE}{dT_A} &= \frac{-\alpha_k E}{m T_A} > 0 \quad ; \quad \text{em que } \alpha_k < 0 \quad \square \end{aligned} \quad (5)$$

Neste caso, verifica-se que a necessidade de energia elétrica varia no mesmo sentido das variações na temperatura das estações de temperatura média alta. Assim, um aumento da temperatura nas estações quentes é acompanhado por um aumento na demanda de energia elétrica. Este resultado pode ser explicado pela necessidade de refrigeração em dias mais quentes para manter o nível de conforto térmico constante no interior dos domicílios.

Para determinar a demanda de energia elétrica do indivíduo em cada período, parte-se da solução do problema de otimização do consumidor:

$$\max_{Q,C} U_{it} = \frac{aQ_{it}^{1-\phi} + (1-a)C_{it}^{1-\phi}}{1-\phi} \quad (6)$$

$$\text{sujeito a } \begin{aligned} R_{it} &= Q_{it} + P_{it}E_{it}; \\ C_{it} &= vE_{it}^m T_{Bit}^{\alpha_j} T_{Ait}^{\alpha_k} \end{aligned}$$

em que a utilidade U_{it} é especificada como uma função elasticidade de substituição constante, $\phi > 0$ e $\phi \neq 1$, $0 < a < 1$. A restrição orçamentária R_{it} é dada pela soma do valor gasto com o consumo de eletricidade $P_{it}E_{it}$ e do conjunto dos demais bens Q_{it} , tomando-se o preço destes últimos como numerário.

Solucionado o problema de otimização dado por (6) e realizando algumas manipulações algébricas, obtém-se a seguinte função de demanda de energia elétrica:

$$\ln E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 \ln R_{it} + \beta_3 T_{Bit} + \beta_4 T_{Ait} + \mu_t + c_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

Observa-se que a quantidade demandada E_{it} , além de função do próprio preço P_{it} , depende também da renda R_{it} . Espera-se que a elasticidade-preço da demanda β_1 e a elasticidade-renda da demanda β_2 sejam negativa e positiva, respectivamente. Espera-se que β_3 seja negativo, dada a relação inversa com a temperatura média das estações frias T_{Bit} , e que β_4 seja positivo, dada a relação direta com a temperatura das estações quentes T_{Ait} . A tendência temporal μ_t capta os determinantes do consumo de energia não observados que variam no tempo, como a eficiência energética que muda com a evolução tecnológica. Já, o efeito fixo c_i corresponde à heterogeneidade não observada dos indivíduos constante ao longo do tempo, como o isolamento térmico das construções.

4. Modelo econométrico

Dada a natureza da demanda de energia elétrica, caracterizada pela inércia nos hábitos de consumo, optou-se por estimar um modelo de painel dinâmico⁸. A demanda residencial de energia possui a seguinte especificação:

$$q_{it} = \rho q_{i,t-1} + X'_{it}\beta + u_{it}; \text{ com } i = 1, \dots, N \text{ e } t = 1, \dots, T \quad (8)$$

em que q_{it} é a quantidade demandada residencial de energia elétrica do estado i no período t , $q_{i,t-1}$ refere-se à quantidade demandada no período $t-1$, X'_{it} é o vetor de outras variáveis observadas determinantes da demanda e u_{it} é o erro da regressão. O erro pode ser decomposto em $u_{it} = c_i + \varepsilon_{it}$, em que o efeito fixo c_i corresponde às características individuais não

⁸ Ainda que o termo autorregressivo não seja de interesse direto para nossa análise, sua inclusão é importante para a correta especificação da dinâmica do modelo.

observadas e constantes no tempo de cada estado brasileiro e ε_{it} representa o componente idiossincrático. Pressupõe-se que $c_i \sim IID(0, \sigma_c^2)$ e $\varepsilon_{it} \sim IID(0, \sigma_\varepsilon^2)$.

O aspecto dinâmico da especificação do modelo permite distinguir o efeito marginal das variáveis explicativas no curto prazo e longo prazo. Substituindo recursivamente os termos autorregressivos na equação (8), pode-se observar que:

$$\begin{aligned} \text{Efeito marginal no período } t: \quad & \frac{\partial q}{\partial x_k} = \beta_k \\ \text{Efeito marginal no período } t+1: \quad & \frac{\partial q}{\partial x_k} = \beta_k \rho \\ \text{Efeito marginal no período } t+j: \quad & \frac{\partial q}{\partial x_k} = \beta_k \rho^j \quad j \geq 2 \end{aligned} \quad (9)$$

em que x_k é um dos componentes do vetor de variáveis explicativas X . Desta forma, o efeito de longo prazo é dado por $\frac{\partial q}{\partial x_k} = \frac{\beta_k}{1-\rho}$.

Por outro lado, a inclusão do termo auto-regressivo conduz ao problema de endogeneidade na medida em que a variável dependente defasada $q_{i,t-1}$ está correlacionada com c_i . Anderson e Hsiao (1981) foram os primeiros a proporem uma metodologia para lidar com este problema. Tomando-se a primeira diferença de (8), elimina-se o termo fixo c_i e obtém-se a seguinte especificação:

$$\Delta q_{it} = \rho \Delta q_{i,t-1} + \Delta X'_{it} \beta + \Delta \varepsilon_{it} \quad (10)$$

Entretanto, nesta especificação em primeiras diferenças, ainda persiste a correlação entre $q_{i,t-1}$ e $\varepsilon_{i,t-1}$. Anderson e Hsiao (1981) propuseram um estimador consistente para o modelo adotando como variável instrumental a segunda defasagem da variável dependente em diferença ($\Delta q_{i,t-2}$) ou em nível ($q_{i,t-2}$)⁹. Holtz-Eakin et al. (1988) e Arellano e Bond (1991) consideraram a existência de um conjunto mais amplo de variáveis instrumentais, ao incorporar defasagens da variável dependente de ordem superior a $q_{i,t-2}$. O estimador baseia-se no método de momentos generalizados que explora as condições de ortogonalidade:

$$E[q_{i,t-s} \Delta \varepsilon_{it}] = 0 \text{ para } t = 3, \dots, T \text{ e } 2 \leq s \leq t-1 \quad (11)$$

em que $\Delta \varepsilon_{it} = \varepsilon_{it} - \varepsilon_{i,t-1}$ ¹⁰. O número total de condições de ortogonalidade é dado por $m = 1/2(T-1)(T-2)$.

Em forma matricial, estas condições podem ser reescritas como $E(Z'_i \Delta \varepsilon_i) = 0$, em que Z'_i é uma matriz $(T-2) \times m$ dada por:

⁹ Arellano (1989) apresenta evidências que favorecem o uso das variáveis em nível.

¹⁰ Dada a presença de regressores x_{it} predeterminados contidos em X'_{it} podem-se considerar também $x_{i,t-2}, \dots, x_{i1}$ como instrumentos válidos para Δx_{it} ; $t = 3, \dots, T$. No caso de variáveis estritamente exógenas como a temperatura neste modelo, toda a série temporal x_{i1}, \dots, x_{iT} estará disponível como instrumento adicional.

$$Z_i = \begin{bmatrix} y_{i1} & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & y_{i1} & y_{i2} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & y_{i1} & \dots & y_{iT-2} \end{bmatrix}$$

e $\Delta \varepsilon_i$ é o vetor de dimensão $T-2$ dado por $(\Delta \varepsilon_{i3}, \Delta \varepsilon_{i4}, \dots, \Delta \varepsilon_{iT})'$.

O estimador de momentos generalizados baseado nas condições de ortogonalidade em (11) minimiza a função distância $\Delta \varepsilon_i' Z A_N Z' \Delta \varepsilon_i$, em que Z' é a matriz de dimensão $m \times N(T-2)$ definida por $(Z_1', Z_2', \dots, Z_N')$ e A_N representa a matriz de pesos. Em nossa aplicação, a matriz de pesos¹¹ utilizada é a proposta por Arellano e Bond (1991):

$$A_N = \left(N^{-1} \sum_{i=1}^N Z_i' H Z_i \right)^{-1}$$

em que H é a matriz $(T-2) \times (T-2)$ dada por

$$H = \begin{pmatrix} 2 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 2 & -1 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & 2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 2 \end{pmatrix}$$

Quanto à aplicação do teste de validade dos instrumentos de Sargan, Cameron e Trivedi (2009) afirmam que a opção por estimadores robustos em relação à heterocedasticidade e à correlação entre as unidades da *cross-section* impede sua implementação.

4.1. Forma Funcional e Simulação

A demanda residencial de energia a ser estimada, baseada no modelo econômico apresentado na Seção 3, possui a seguinte especificação:

$$\ln q_{it} = \beta_0 + \rho \ln q_{i,t-1} + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 \ln R_{it} + \beta_3 T_{it}^1 + \beta_4 T_{it}^2 + \beta_5 T_{it}^3 + \beta_6 T_{it}^4 + \beta_7 \ln PEI_{it} + \beta_8 t + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

em que, q_{it} é o consumo de eletricidade, $q_{i,t-1}$ é o consumo defasado em um período, P_{it} é a tarifa média de eletricidade, R_{it} é a renda e T_{it}^k representa a temperatura média no trimestre k , $k=1, \dots, 4$. A inclusão das temperaturas trimestrais tem por finalidade captar as possíveis não linearidades na relação entre clima e consumo de energia. Já PEI_{it} é o preço de equipamentos intensivos em eletricidade (eletrodomésticos) do estado i no tempo t . A variável tempo t capta

¹¹ Uma versão iterada do estimador utiliza $H = \sum_{i=1}^N \Delta \hat{\varepsilon}_i \Delta \hat{\varepsilon}_i'$ na matriz de peso A_N . No entanto, estudos de simulação sugerem que há pouco ganho em termos de eficiência em relação ao estimador de um estágio. Ver Arellano e Bond (1991), Blundell e Bond (1998) e Arellano, Bond e Windimiejer (2000).

a influência de outros fatores não observados que variam somente no tempo como, por exemplo, os ganhos em termos de eficiência energética decorrente do progresso tecnológico.

Uma vez estimado os coeficientes da equação (12), é possível fazer simulações para se avaliar o impacto do aumento projetado da temperatura sobre a demanda de energia elétrica. O impacto é estimado multiplicando-se os coeficientes de longo prazo associados à temperatura pelas anomalias previstas pelo modelo para cada trimestre

$$\Delta(q_{it})\% = \frac{\hat{\beta}_3}{1-\rho} (T_{it}^{1,proj} - T_{it}^{1,base}) + \frac{\hat{\beta}_4}{1-\rho} (T_{it}^{2,proj} - T_{it}^{2,base}) + \frac{\hat{\beta}_5}{1-\rho} (T_{it}^{3,proj} - T_{it}^{3,base}) + \frac{\hat{\beta}_6}{1-\rho} (T_{it}^{4,proj} - T_{it}^{4,base})$$

em que $\Delta(q_{it})\%$ é a variação percentual da quantidade de energia demandada no estado i e no ano t , $T_{it}^{k,base}$ é a temperatura média prevista pelos modelos climatológicos para trimestre k ($k=1, \dots, 4$) no período base e $T_{it}^{k,proj}$ é a temperatura média projetada pelos modelos climatológicos para os diferentes horizontes. O período base refere-se aos anos 1961-1990, enquanto os períodos projetados referem-se aos horizontes 2010-2039 e 2040-2069.

A simulação do impacto das mudanças climáticas sobre o consumo de energia elétrica em cada período levará em consideração as projeções de temperatura de dois cenários¹² de emissão de GEE elaborados no quarto relatório de avaliação do IPCC (IPCC, 2007). As projeções utilizadas nesta pesquisa referem-se aos cenários A1B e A2. O primeiro, de forma geral, descreve um crescimento econômico acelerado, população global atingindo um pico em meados do século e declinando em seguida e rápida introdução de novas tecnologias mais eficientes. Há equilíbrio na utilização de todas as fontes de energia (combustíveis fósseis e não fósseis renováveis). A família de cenários A2 descreve menor crescimento econômico, maior crescimento da população e mudança tecnológica mais lenta, em relação ao cenário A1B. O nível de emissões de GEE acumulado de 1990 até o fim do século é maior no segundo cenário.

É importante lembrar que, utilizar os parâmetros estimados na equação (12) para calcular o impacto das mudanças climáticas sobre o consumo de energia elétrica no futuro implica assumir que a relação entre temperatura e quantidade demandada de energia elétrica, expressa pelos coeficientes estimados para T_{it}^k , permanecerá constante até o fim século.

4.3. Dados

Os dados observados são anuais e abrangem o período que vai de 1991 a 2008 para os 26 estados e o Distrito Federal, totalizando 486 observações. As variáveis utilizadas na estimação da demanda de eletricidade do Brasil estão dispostas na Tabela 2.

A tarifa média estadual de energia foi computada a partir da ponderação das tarifas médias das empresas distribuidoras de energia atuando no estado, onde os pesos correspondem à participação de mercado no total de energia distribuído. As tarifas por empresa distribuidora de energia elétrica, disponibilizada pela Superintendência de Regulação Econômica (SRE) da ANEEL, foram calculadas a partir da divisão da receita tarifária pela quantidade de energia fornecida. Todas as tarifas foram deflacionadas pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI) com ano base 2000.

¹² Os cenários são representações possíveis do futuro que consideram e forças motrizes como crescimento demográfico, evolução tecnológica e desenvolvimento socioeconômico, capazes de influenciar o nível de emissões de GEE na atmosfera. Eles são utilizados nas projeções climáticas dos Modelos de Circulação Geral (MCG).

Tabela 2 – Fonte, unidade de medida e nome das variáveis utilizadas nos modelos de demanda e de simulação

Variável	Unidade	Fonte
Consumo residencial de energia elétrica	kWh	Balanco Energético Nacional (BEN)
Tarifa de energia elétrica	R\$/kWh ¹	Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)
Produto Interno Bruto (PIB) <i>per capita</i>	R\$ ¹	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
Temperatura trimestral média 1991-2008	°Celsius	Climate Research Unit (CRU)/ University of East Anglia
IPA-OG ²	Índice ¹	Fundação Getúlio Vargas (FGV)
Temperatura trimestral média Projetada	°Celsius	<i>Intergovernmental Panel Climate Change</i> (IPCC, 2007)

Notas: ¹ Expressos em valores reais de 2000. ² Índice de Preço por Atacado – Oferta Global: Eletrodomésticos .

As realizações passadas de temperatura foram extraídas da base de dados CRU CL 2.0 10' do Climate Research Unit (CRU) da University of East Anglia. A base de dados climáticos foi sobreposta à malha municipal georreferenciada do IBGE. Para obter a temperatura trimestral no período de 1991 – 2008, calculou-se a média das temperaturas a cada três meses. Assim, o primeiro trimestre envolve os meses de dezembro, janeiro e fevereiro; o segundo, os meses de março, abril e maio; o terceiro, junho, julho e agosto; o quarto abrange setembro, outubro e novembro.

A temperatura mensal projetada (2010 – 2069) é obtida a partir de 10 Modelos de Circulação Geral (MCG) do IPCC 2007 para cada cenário de emissão de GEE. A partir da média das projeções espacializadas dos 10 modelos¹³, o IPEA disponibilizou a temperatura trimestral média projetada para os períodos 2010 – 2039 e 2040 – 2069 ao nível municipal. Para obter ambas as bases em nível estadual, calculou-se a média aritmética das temperaturas municipais.

5. Resultados

Estimou-se o modelo de demanda residencial de energia elétrica do Brasil, conforme a equação (12), adicionando uma variável *dummy* para captar o efeito do racionamento. Para que seus coeficientes possam ser interpretados, é necessário verificar sua consistência pelo teste de autocorrelação de Arellano-Bond. Embora os coeficientes sejam reportados para o nível das variáveis, o teste é realizado no resíduo em diferença, resultante do método de estimação. As hipóteses testadas referem-se à ausência de correlação serial de primeira e segunda ordem. Sendo desejável, para garantir a consistência das estimativas, rejeitar a primeira e não rejeitar a segunda. Seu resultado encontra-se na parte inferior da Tabela 3.

A consistência do estimador Arellano-Bond depende, portanto, do pressuposto de inexistência de correlação serial de segunda ordem no resíduo em primeira diferença, $E(\Delta v_{it} \Delta v_{i,t-2}) = 0$, que implica, necessariamente, ausência de autocorrelação nos resíduos em nível, como pressupõe o método empregado. Assim, pela análise da Tabela 3, verifica-se que não é possível rejeitar a hipótese nula de ausência de correlação serial de segunda ordem ao nível de 10% de significância para a demanda residencial.

¹³ Utiliza-se a média das projeções de diferentes modelos para tentar diminuir as chances de erro da projeção, na medida em que cada modelo envolve diferentes pressupostos e diferente grau de adequação à realidade observada.

A análise da Tabela 3 permite, ainda, dizer que o modelo apresentou resultados satisfatórios, com coeficientes com sinais esperados conforme a teoria econômica e significativos estatisticamente.

Os coeficientes das variáveis expressas em logaritmo refletem diretamente a elasticidade da demanda, já os coeficientes das variáveis em nível devem ser multiplicados por 100 para fornecer a semi-elasticidade. Tais coeficientes informam a sensibilidade da demanda aos seus fatores determinantes. Assim como nos demais estudos, nesta pesquisa, encontra-se a demanda de eletricidade pouco sensível às modificações em seu próprio preço e na renda.

Tabela 3 – Coeficientes estimados para a demanda residencial de energia elétrica do Brasil, 1991 – 2008, e cálculo dos coeficientes e semi-elasticidade de longo prazo

Variável	Coeficiente de curto prazo	Coeficiente de longo prazo	Semi-elasticidade de longo prazo (%)
Inconsumo (t-1) ¹	0,7742*** (0,0364)	-	-
lnTarifa ¹	-0,0150*** (0,0045)	-0,0666	-
lnRenda	0,0687*** (0,0252)	0,3040	-
lnPreço dos Eletrodoméstico ²	-2,6390*** (0,2458)	-11,6851	-
tendencia	-0,0213*** (0,0029)	-0,0943	-
dummy	-0,1332*** (0,0102)	-0,5899	-
temperatura Trim 1	0,0161*** (0,0072)	0,0714	7,1399
temperatura Trim 2	-0,0095** (0,0043)	-0,0421	-4,2106
temperatura Trim 3	0,0075** (0,0035)	0,0332	3,3168
temperatura Trim 4	0,0185*** (0,0046)	0,0819	8,1885
constante	15,7489*** (1,5861)	69,7339	-
Teste Arellano-Bond AR(1) H0: Ausência de correlação serial de 1.ª ordem ³	z = -3,9414*** prob>z = 0,0001	-	-
Teste Arellano-Bond AR(2) H0: Ausência de correlação serial de 2.ª ordem ³	z = -0,74778 prob>z = 0,4546	-	-

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: *** Significativo a 1%. ** Significativo a 5%. Desvios-padrão entre parênteses. ¹Variáveis endógenas. ²PEI. ³Vale lembrar que, esta hipótese refere-se aos resíduos em diferença.

Analisando os coeficientes de longo prazo, observa-se que elasticidade-preço da demanda ficou próxima aos valores encontrados por Andrade e Lobão (1997) e Schdmit e Lima (2004). Espera-se que um aumento de 1% na tarifa seja acompanhado, em média, por uma queda de 0,06% na quantidade demandada, *ceteris paribus*. A inelasticidade da demanda em relação ao preço pode ser atribuída à ausência de fontes de energia substitutas à

eletricidade nos domicílios. Este resultado sugere ainda que uma política de aumentos tarifários não seja eficaz como instrumento de promoção de conservação de energia..

A elasticidade-renda da demanda, também, situa-se entre os valores encontrados na literatura. . Permanecendo tudo mais constante, espera-se uma expansão (redução) de 0,30%, em média, na quantidade demandada de eletricidade, dado um aumento (queda) de 1% na renda *per capita*.

A demanda mostrou-se sensível ao preço dos eletrodomésticos, pois, uma queda (aumento) de 1% em *PEI* será acompanhada por um aumento (queda) de 11,68% na quantidade demandada de eletricidade. Esta relação é esperada, na medida em que os preços dos eletrodomésticos são importantes para determinar o estoque de bens intensivos no uso de eletricidade nos domicílios.

O coeficiente da tendência capta a influência sobre a demanda dos fatores não observados que variam somente no tempo. O sinal negativo apresentado na demanda residencial poderia ser explicado pela evolução tecnológica que vai tornando os equipamentos elétricos mais eficientes no consumo energético com o passar dos anos.

A variável *dummy* recebeu valor 1 somente para o ano 2001 e 0 para o restante, pois acredita-se que o efeito do racionamento tenha sido temporário¹⁴. Observa-se que seu coeficiente é negativo e, desta forma, que o programa resultou na diminuição do consumo de eletricidade naquele ano.

Quanto à temperatura trimestral, representante da influência do clima na demanda e diferencial desta pesquisa, pode-se dizer que é um importante fator determinante da demanda residencial de energia elétrica do Brasil dada sua significância estatística e a magnitude de seus coeficientes de semi-elasticidade.

Dada a dimensão continental do país e conseqüente diversidade climática entre e intra-regional, não é possível inferir, em princípio, o sinal a ser esperado para os coeficientes das temperaturas trimestrais.

Na verdade, somente para o trimestre 1 (dezembro, janeiro, fevereiro), que apresenta a temperatura média mais elevada, há razões para esperar uma relação positiva com a demanda de eletricidade, pois, envolve meses bem marcados por temperaturas relativamente elevadas e maior volume de chuva em todo país, o que contribui para aumento da sensação térmica de calor elevando ainda mais a necessidade de eletricidade para refrigeração. Esta expectativa é confirmada, pois, como pode ser verificado na Tabela 3, o trimestre 1 apresenta coeficiente positivo. Assim, um aumento (queda) de 1°C na temperatura média do trimestre 1 será acompanhado pelo aumento (queda) de 7,13% na quantidade demandada, dado o aumento (queda) da necessidade de refrigeração do ambiente para manter constante o nível de conforto dos consumidores residenciais.

Os trimestres 3 e 4, que envolvem os meses de junho, julho, agosto e setembro, outubro, novembro, também apresentam relação positiva, enquanto o trimestre 2 (fevereiro, março, abril) apresenta relação negativa com o consumo de eletricidade.

A inclusão da temperatura desagregada em trimestres tem a vantagem de poder captar a heterogeneidade sazonal do impacto do clima sobre a demanda de energia elétrica. Assim, no mesmo sentido dos estudos internacionais, confirma-se no caso brasileiro a existência de uma relação não linear entre temperatura e consumo de energia, visto que os coeficientes trimestrais de temperatura apresentam magnitudes e mesmo sinais diferentes. Este resultado realça também a limitação dos estudos baseados em dados anuais, incapazes de incorporar esta heterogeneidade.

¹⁴ Estudos empíricos indicam que a queda de consumo de eletricidade ocorrida durante o período de racionamento não se constituiu em uma quebra estrutural, e que os hábitos de consumo dos consumidores já retornaram à tendência de longo-prazo do período pré-racionamento. Ver Siqueira, Cordeiro Jr. e Castelar (2006).

Por fim, o coeficiente do consumo no período t-1 revela a inércia presente nos hábitos de consumo de eletricidade dos consumidores residenciais.

5.1. Impacto do Aquecimento Global na Demanda de Energia Elétrica

Na Tabela 4, encontra-se o resultado da simulação do possível impacto do aquecimento global sobre a demanda residencial de energia elétrica em relação aos horizontes considerados, obtido a partir das projeções de aumento da temperatura trimestral média conforme o cenário de emissão de GEE do quarto relatório de avaliação do IPCC (IPCC, 2007).

Os resultados sugerem que o aquecimento global pode resultar em variações significativas no consumo de energia residencial. Em nível nacional, estima-se que a elevação projetada na temperatura terá impacto positivo sobre a demanda de energia elétrica até meados deste século, com elevação da quantidade demandada podendo ultrapassar 33% dependendo do cenário considerado.

Tabela 4 – Variação percentual (%) esperada da quantidade consumida de energia elétrica do Brasil e suas regiões para cada período em relação ao período base (1961 – 1990), conforme cenário considerado

Abrangência geográfica	A1B		A2	
	2020 ¹	2050 ²	2020	2050
Brasil	14,42	33,41	13,95	32,41
Norte	15,51	35,95	14,56	34,42
Nordeste	27,78	46,36	27,81	46,14
Sudeste	10,31	27,37	10,60	26,86
Sul	-4,49	10,27	-5,36	7,75
Centro-Oeste	5,14	24,65	4,73	24,08

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Nota: ¹Representa 2010 – 2039; ²Representa 2040 – 2069.

Nota-se que a magnitude do impacto é crescente ao longo do tempo. Para o cenário A1B, por exemplo, espera-se um aumento de 14,41% entre 2020 e 2039, enquanto até 2040 – 2069 pode ser esperado aumento de 33% da quantidade demandada nas residências brasileiras. Assim, quanto mais distante o período temporal considerado (com maior nível acumulado de emissões de GEE), maior poderá ser o impacto sobre a demanda de eletricidade. Observa-se ainda que as variações percentuais no consumo de energia são muito próximas nos dois cenários considerados.

Passando para o nível regional da análise, é possível verificar que os impactos do aquecimento global são bastante heterogêneos. Especificamente para a região Sul, que tem temperatura média relativamente baixa, o aumento da temperatura projetado para o período de 2010 – 2039 poderá ter impacto negativo sobre a demanda de energia. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que o aumento projetado de temperatura média na região para este período resulte em menor necessidade de aquecimento dos ambientes domésticos nos trimestres mais frios, resultando numa queda da demanda de energia. No entanto, para o horizonte de tempo mais longo, as simulações indicam aumento de consumo. Com o aumento mais significativo da temperatura média no período 2040-2069, o aumento do consumo de energia para se adaptar aos trimestres mais quentes pode superar a redução decorrente da menor necessidade de eletricidade para aquecimento dos ambientes, resultando em efeito líquido positivo.

As regiões Nordeste e Norte poderão sofrer os maiores efeitos das mudanças climáticas, com a demanda aumentando mais de 46% e 35%, respectivamente, no cenário

mais pessimista. Nestas regiões estão previstos os maiores aumentos de temperatura média, o que pode resultar no maior consumo de energia para se adaptar aos períodos de calor extremo. As simulações apontam ainda para a ocorrência de aumentos significativos de consumo de energia nas regiões Sudeste e Centro-Oeste caso confirmem-se as projeções de aumento de temperatura, mas de magnitude menor do que as observadas nas regiões Norte-Nordeste.

6. Conclusões

Frente à importância da eletricidade como componente do vetor energético da economia brasileira e ao inerente processo de mudanças climáticas, esta pesquisa se preocupou em verificar a influência da temperatura na demanda residencial de energia elétrica e o possível impacto do aumento de temperatura projetado até meados deste século na quantidade demandada em nível nacional e regional.

Identificou-se a temperatura como importante fator determinante da demanda residencial de energia elétrica do Brasil. Também, verificou-se que a demanda de energia elétrica, de fato, não reage de forma linear às mudanças na temperatura. Portanto, variações de temperatura nas diferentes estações do ano têm impactos distintos na demanda de eletricidade. Estes resultados conduzem à conclusão de que é importante considerar os fatores climáticos no estudo da demanda de eletricidade para que se possa obter estimativas confiáveis de sua relação com os seus determinantes. Além disso, é importante desagregar a temperatura a fim de captar a verdadeira influência do clima sobre o consumo, dada a relação não linear existente.

As simulações realizadas indicaram que a demanda residencial de energia elétrica do Brasil e de suas regiões poderão sofrer impacto significativo do aquecimento global, com elevação da quantidade de eletricidade consumida, caso confirmem-se as projeções de aumento da temperatura. Embora seja esperado um impacto positivo sobre a demanda e sobre todas as regiões do país, a magnitude do aumento esperado não será homogênea. Para o Norte e Nordeste estão previstos os maiores aumentos de temperatura média, o que pode resultar no maior consumo de energia para se adaptar aos períodos de calor extremo. Já na região Sul, que tem temperatura média relativamente baixa, o aumento da temperatura projetado para o período de 2010 – 2039 poderá ter impacto negativo sobre a demanda de energia. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que o aumento projetado de temperatura média na região para este período implique menor necessidade de aquecimento dos ambientes domésticos nos trimestres mais frios, resultando em queda da demanda de energia. Logo, considerar as diferenças das projeções regionais, possibilita a adoção de políticas de planejamento específicas como resposta aos diferentes impactos causados em cada região.

Apontam-se, como limitação desta pesquisa, os pressupostos necessários para a realização do exercício de simulação do impacto das mudanças climáticas. Para a execução deste exercício, foi realizada a previsão do consumo futuro que, assim como em qualquer trabalho que se proponha a fazer previsão, implica assumir que a relação entre as variáveis manter-se-á constante como o passar dos anos. Tal estabilidade pode não se concretizar para longo período de análise, pois podem ocorrer mudanças estruturais que modifiquem o relação entre as variáveis.

Referências

AHN, S. C.; SCHMIDT, P. Efficient Estimation of Models for Dynamic Panel Data Models. *Journal of Econometrics*, v.68, p.5-27, 1995.

- ANDRADE, T. A.; LOBÃO, W. J. A. **Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, Jul. 1997. (Texto para Discussão, n. 489).
- ANDERSON, T. W.; HSIAO, C. Estimation of Dynamic Models with Error Components. **Journal of the American Statistical Association**, v.76, p. 598-606, 1981.
- ANDERSON, T. W.; HSIAO, C. Formulation and Estimation of Dynamic Models using Panel Data. **Journal of Econometrics**, v.18, p. 47-82, 1982.
- AR4 – Quarto Relatório de Avaliação. **Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas** (IPCC), 2007.
- ARELLANO, M.; BOND, S. R. Some Tests of Especification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and Application to Employment Equations. **Review of Economic Studies**, v.58, p. 277-297, 1991.
- ARELLANO, M.; BOVER, O. Another Look at the Instrumental Variables Estimation of Error Component Models. **Journal of Econometrics**, v.68, p.29-51, 1995.
- AROONRUENGSAWAT, A.; AUFFHAMMER, M. Impacts of Climate Change on Building Residential Electricity Consumption: Evidence from Billing Data. Department of Agricultural and Resource Economics, UC Berkley, Mar. 2009.
- AROUCA, M.C. **Análise da Demanda de Energia no Setor Residencial no Brasil**. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1982.
- BALTAGI, B. H. **Análise Econométrica de dados em painel**, 4ed., J Wiley & Sons, 2008.
- BAUGHMAN, M.; JOSKOW, P. Energy Consumption and Fuel Choice by Residential and Commercial Consumers in the United States. **Energy Syst Policy**, v.1, p. 305-323, 1976.
- BEN – **Balanco Energético Nacional**. Elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), 2010. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>.
- BENTZEN, J.; ENGSTED, T. Short and long-run elasticities in energy demand: a cointegration approach. **Energy Economics**, v.15, n.15, p.9-16, Jan.1993.
- BERNDT, E. R. **The practice of Econometrics: classic and contemporary**. [S. I.] Addison-Wesley Publishing Company, Cap. 7, p. 306-337. p.702, 1991.
- BIGANO, A.; BOSELLO, F.; MARANO, G. **Energy Demand and Temperature: A Dynamic Panel Analysis**. Fondazione Eni Enrico Mattei, 2006. (Nota Di Lavoro 112).
- BLUNDELL, R.; BOND, S. Inicial Conditions and Moment Restrictions in Dynamic Panel Data Models. **Journal of Econometrics**, v. 87, p.115-143, 1998.
- BOND, S. **Dynamic Panel Data Models: A Guide to Micro Data Methods and Practice**. Londres: Cemmap, 2002. (Working Paper CWP09/02)

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics Using Stata**. Texas: Stata Press, 2009.

EMCB – **Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades**. São Paulo: IBEP Gráfica, 2010.

DePAULA, G., MENDELSON, R. **Development and the Impact of Climate Change on Energy Demand: Evidence from Brazil**. Outubro, 2010. Disponível em: http://cbey.yale.edu/uploads/Environmental%20Economics%20Seminar/Brazil_Energy_Paper_1027210.docx.

DESCHÊNES, O.; GREENSTONE, M. **Climate Change, Mortality and Adaptation: Evidence from annual fluctuations in weather in the U.S.** Massachusetts: National Bureau of Economic Research (NBER), June 2007. (Working Paper n. 13178).

DEWEES, D.N.; WILSON, T.A. Cold Houses and Warm Climates Revisited: On Keeping Warm in Chicago, or Paradox Lost. **Journal of Political Economy**, v 98, n.3 p.656-63, 1990.

DUBIN, J. A.; MIEDEMA, A. K.; CHANDRAN, R. V. Price Effects of energy-efficient technologies: a study of residential demand for heating and cooling. **Rand Journal of Economics**, v.17, n.3, p. 310-325, Autumn, 1986.

ESKELAND, G. S.; MIDEKSA, T.K. Electricity demand in a changing climate. **Mitig Adapt Strateg Glob Change**, v.15, p.877-897, 2010.

GOTTLIEB, M. Urban domestic demand for water: a Kansa study. **Land Economics**, v. 39, p. 204-210, 1963.

HAUSMAN, J. A. Individual Discount Rates and the Purchase and Utilization of Energy-Using Durables. **Bell Journal of Economics**, v.10, n.1, p. 33-54, Spring, 1979.

HAUSMAN, J. A. The Econometrics of Nonlinear Budget Sets. **Econometrica**, v. 53, n. 6, p.1255-82, Nov.1985.

HOLLANDA, L., DIAS, V. P., SARAIVA, J. D. Essays on Economic Regulation: **Chapter 2 – A Microdata Approach to Household Electricity Demand in Brazil** Rio de Janeiro: Escola de Pós-Graduação em Economia da Fundação Getulio Vargas (EPGE), 2012. (Tese de doutorado).

HOLTZ-EAKIN, D.; NEWEY, W.; ROSEN, H.S. Estimating vector autoregressions with panel data. **Econometrica**, v. 56, p. 1371-1395.

HOWE, C.; LINAWEAVER JR., F.P. The impact of price on residential water demand and its relation to system design and price structure. **Water Resources Research**, v.3, n.1, p.13-32, 1967.

IRFFI, G.; CASTELAR, I.; SIQUEIRA, M. L.; LINHARES, F. C. Previsão da demanda por energia elétrica para classes de consumo na região Nordeste, usando OLS dinâmico e mudança de regime. **Economia Aplicada**, São Paulo, v.13, n.1, p.69-98, Jan./Mar. 2009.

KAMERSCHEN, D. R.; PORTER, D. V. The demand for residential, industrial and total electricity, 1973 – 1998. **Energy Economics**, v. 26, n.1, p. 87-100, 2004.

MANSUR, E. T.; MENDELSON, R.; MORRISON, W. Climate Change Adaptation: A Study of Fuel Choice and Consumption in the U.S Energy Sector. **Journal of Environmental Economics and Management**, v.55, p.175-193, Out. 2008.

MATTOS, L. B.; LIMA, J. E. Demanda Residencial de energia elétrica em Minas Gerais: 1970-2002. **Nova Economia**, v.15, n.3, p.31-52, Set./Dez. 2005.

MATTOS, L. B.; REIS, B. S.; LIMA, J. E.; LÍRIO, V. S. Demanda industrial de energia elétrica em Minas Gerais, 1970-2002. **Revista de Economia e Agronegócio**, v.3, n.1, p.97-120, 2005.

MODIANO, E. M. **Elasticidade-renda e preço da demanda de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Departamento de Economia PUC, 1984. (Texto para Discussão, n. 68).

SCHAEFFER, R. Sumário Executivo do Relatório **Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil**. Rio de Janeiro:COPPE/UFRJ, jun. 2008.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. A demanda por energia elétrica no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 58, n.1, p. 67-98, Jan./Mar. 2004.

SILK, J. I.; JOUTZ, F. L. Short and long-run elasticities in US residential electricity demand: a co-integration approach. **Energy Economics**, Washington, v.19, p. 493-513, 1997.

SIQUEIRA, M. L.; CORDEIRO JR., H. H.; CASTELAR, I. A demanda por energia elétrica no Nordeste brasileiro após o racionamento de 2001-2002: previsões de longo prazo. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 36, n. 1, p. 137-178, 2006.