

ISMAEL DE FARIA NETO

**ANÁLISE DA ELASTICIDADE RENDA E PREÇO DA DEMANDA
RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Monografia apresentada à Faculdade de
Economia, Administração, Contabilidade
e Atuária da Universidade de São Paulo,
como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Ciências
Econômicas.**

**Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Menon
Simões Moita**

Coordenador: Prof. Dr. Luís E. N. Meloni

SÃO PAULO

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Neto, Ismael de Faria

Análise da Elasticidade Renda e Preço para a Demanda Residencial de Energia Elétrica– São Paulo, 2021.

56 páginas.

Área de concentração: Economia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Menon Simões Moita

Monografia – Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária, Universidade de São Paulo, Bacharel em Ciências Econômicas.

1. Microeconomia; 2. Elasticidade; 3. Energia Elétrica.

AGRADECIMENTOS

À minha família por todo apoio e dedicação com a minha formação.

Ao professor Dr. Rodrigo Moita por toda orientação, incentivo e sugestões nesta monografia.

Ao corpo docente da FEA/USP pelos ensinamentos e aprendizados proporcionados ao longo de todo o curso.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| LISTA DE GRÁFICOS | VI |
| LISTA DE TABELAS | VII |
| RESUMO..... | VIII |
| ABSTRACT..... | IX |
| | |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 1.1 Objetivos..... | 11 |
| 1.2 Organização..... | 12 |
| 2 O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PELO SETOR RESIDENCIAL..... | 14 |
| | |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA..... | 16 |
| 3.1 Primeiros estudos acerca da demanda por energia elétrica..... | 16 |
| 3.2 Estudos de demanda por energia elétrica no contexto brasileiro..... | 19 |
| 4 MODELO TEÓRICO..... | 29 |
| | |
| 5 METODOLOGIA..... | 33 |
| 5.1 Modelo de microdados..... | 33 |
| 5.2 Modelo de dados agregados..... | 35 |
| | |
| 6 DADOS..... | 38 |
| 6.1 Fonte e critérios de tratamento..... | 38 |
| 6.2 Pesquisa de Orçamentos Familiares (2017-2018)..... | 38 |
| 6.2.1 Estatísticas descritivas..... | 40 |
| 6.3 Dados agregados..... | 42 |
| 6.3.1 Estatísticas descritivas..... | 44 |
| | |
| 7 RESULTADOS..... | 46 |
| 7.1 Resultados: modelo de dados transversais..... | 46 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| | 7.2 Resultados: modelo de dados agregados..... | 48 |
| 8 | CONCLUSÃO..... | 53 |
| 9 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 54 |
| | APÊNDICE..... | 56 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Evolução do consumo por classes..... | 10 |
| Gráfico 2 – Demanda por energia elétrica <i>per capita</i> | 43 |
| Gráfico 3 – Tarifa média real de energia elétrica para a classe residencial..... | 43 |
| Gráfico 4 – PIB real <i>per capita</i> | 43 |
| Gráfico 5 – Índice de preço real de eletrodomésticos..... | 44 |
| Gráfico 6 – Variáveis por Índice..... | 44 |
| Gráfico 7 – Participação no consumo de energia elétrica..... | 56 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Elasticidades..... | 37 |
| Tabela 2 – Concentração do consumo..... | 40 |
| Tabela 3 – Concentração da Renda..... | 41 |
| Tabela 4 – Estatísticas descritivas para microdados..... | 41 |
| Tabela 5 – Estatísticas descritivas para dados agregados..... | 45 |
| Tabela 6 – Análise de Variáveis Instrumentais..... | 47 |
| Tabela 7 – Coeficientes - Mínimos Quadrados em Dois Estágios (MQ2E) | 47 |
| Tabela 8 – Testes Dickey Fuller..... | 48 |
| Tabela 9 – Análise em primeiras diferenças..... | 49 |
| Tabela 10 – Critérios de Informação para especificação de defasagem..... | 50 |
| Tabela 11 – Teste de Cointegração de Johansen..... | 51 |
| Tabela 12 – Coeficientes Estimados – FMOLS..... | 52 |

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo estimar, empiricamente, as elasticidades preço e renda da demanda por energia elétrica para a classe residencial brasileira. O referencial teórico respaldou-se na teoria clássica do consumidor com a incorporação de Eskeland e Midksa (2010), conforme apresentado por Silva (2013), a respeito da inclusão do conforto térmico na função utilidade do consumidor residencial. Neste trabalho, foram utilizadas duas bases de dados – assim, havendo o uso de metodologias distintas – sendo elas: i) a Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) edição de 2017-2018; e, ii) uma base construída a partir de dados nacionais agregados, no período de 1996 a 2020, em consonância com a literatura nacional (ANDRADE; LEÃO, 1997; SCHMIDT; LIMA, 2004; SIQUEIRA; CORDEIRO JÚNIOR; CASTELAR, 2006). Os resultados obtidos apresentaram-se de acordo com o esperado pelo modelo teórico proposto, no entanto, as magnitudes das elasticidades estimadas foram superiores às analisadas na literatura nacional referenciada, sendo a elasticidade renda de 0,50 e preço de -0,49 ao se usar a POF, ao passo que para as séries temporais, foram estimadas uma elasticidade renda de 0,55 e a elasticidade preço não obteve significância estatística suficiente.

Palavras-chave: Microeconomia. Elasticidade. Energia Elétrica.

Classificação JEL: Q41, D12

ABSTRACT

This work aims to empirically estimate the price and income elasticities of electricity demand for the Brazilian residential class. The theoretical framework was supported by the classical consumer theory with the incorporation of Eskeland and Midksa (2010), as presented by Silva (2013), regarding the inclusion of thermal comfort in the utility function of the residential consumer. In this work, two databases were used – thus using different methodologies – namely: i) the Family Budget Survey (POF) 2017-2018 edition; and, ii) a database built from national aggregated data, in the period 1996 to 2020, in line with the national literature (ANDRADE; LEÃO, 1997; SCHMIDT; LIMA, 2004; SIQUEIRA; CORDEIRO JÚNIOR; CASTELAR, 2006). The results obtained were in accordance with what was expected by the proposed theoretical model, however, the magnitudes of the estimated elasticities were higher than those analyzed in the referenced national literature, with an income elasticity of 0.50 and a price of -0.49 per using the POF, while for the time series, an income elasticity of 0.55 was estimated and the price elasticity did not obtain sufficient statistical significance.

Key words: Microeconomics. Elasticity. Electricity.

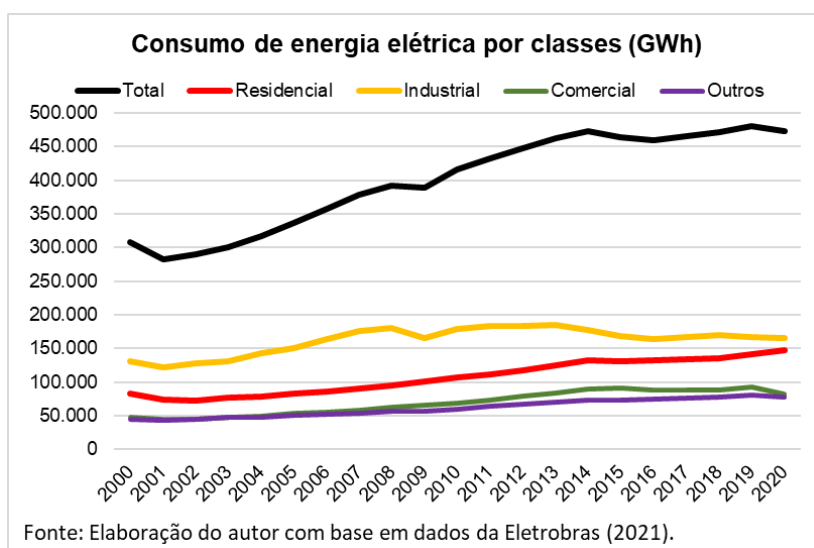
JEL: Q41, D12

1. Introdução

O consumo de energia elétrica divide-se, sobretudo, em três classes: residencial, industrial e comercial. No Gráfico 1, abaixo, é representado os diferentes níveis de consumo por classes no período entre os anos 2000 e 2020, no Brasil, com base nos dados apresentados pela Eletrobras¹. É possível observar o crescimento do consumo de energia elétrica da classe residencial frente às outras classes na economia brasileira.

A taxa média de crescimento anual do consumo de energia elétrica da classe residencial no período de 2000 a 2020 é de 2,9% a.a.², tendo aumentado de 83.614 GWh em 2000 para 148.190 GWh em 2020. Ao passo que o crescimento do consumo total apresentou taxa de 2,2% a.a., crescendo de 307.530 GWh em 2000 para 473.944 GWh em 2020. A título de comparação, as taxas do setor comercial e industrial foram, respectivamente, de 2,8% a.a. e 1,2% a.a.

Gráfico 1: Evolução do Consumo por Classes



De acordo com o Gráfico 1, pode-se observar que a classe residencial aumentou seu consumo de energia elétrica de 2018 a 2020. No entanto, no mesmo período, a classe industrial apresentou queda. Neste período, a taxa de

¹ Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/> Acessado em: 1 de set de 2021.

² Valores calculados a partir dos dados anuais de consumo de energia elétrica da Eletrobras disponibilizadas pelo Ipeadata.

crescimento para a classe residencial foi de 2,9% a.a. e a taxa da classe industrial foi de -0,76% a.a..

A participação do consumo residencial de energia elétrica cresce em relação ao consumo total no período referenciado. Em 2000, o consumo residencial representou 27% do consumo, tendo crescido para 31% no ano de 2020. Neste mesmo recorte temporal, a classe industrial passou de 43% para 35% ³.

O crescimento do consumo residencial pode ser explicado por diversos motivos, dentre eles, o aumento do estoque de eletrodomésticos e aparelhos eletrônicos em posse das famílias e o aumento de renda nas classes nos últimos anos.

Assim, dado o notável crescimento do consumo pela classe residencial, a relevância do estudo da demanda por energia elétrica desta classe apresenta-se como uma ferramenta investigativa importante para o dimensionamento da capacidade.

1.1 Objetivos

O objetivo desta monografia é estimar, empiricamente, a elasticidade renda e preço da demanda de energia elétrica no Brasil através dos microdados da Pesquisa de Orçamentos Familiares. Aliado a isso, pretende-se realizar a estimação dessas elasticidades através de dados de consumo de energia elétrica agregados. Além disso, com base na revisão bibliográfica de pesquisas anteriores, serão discutidos os estudos acerca do comportamento geral da elasticidade renda e preço para o setor residencial.

³ Os dados citados encontram-se sistematizados no Gráfico 7 (ver Apêndice).

1.2 Organização

Em termos de organização, este trabalho está estruturado em oito seções principais, antecédidos por esta introdução. Na introdução, foi apresentado o mercado de energia elétrica no Brasil, a fim de contextualizar o estado atual e as projeções dos próximos anos para este setor.

Na segunda seção, intitulada “O consumo de energia elétrica pelo setor residencial”, é realizada uma descrição mais detalhada acerca do mercado de energia como um todo, evidenciando as particularidades que a classe residencial possui.

Na terceira seção, com ênfase na revisão bibliográfica, trata-se sobre os aspectos teóricos e empíricos sobre o mercado de energia elétrica residencial brasileiro, respaldados em pesquisas anteriores. Inicia-se com os estudos pioneiros de demanda por energia elétrica para o setor residencial. Em seguida, toma-se como foco a literatura nacional com o artigo de Modiano (1984), pioneiro na análise de demanda de energia elétrica para o Brasil. Depois, a revisão do artigo de Andrade e Lobão (1997), que incorpora o estoque de bens de consumo que utilizam energia elétrica como forma de melhorar a previsão do consumo. Nesta sequência, o trabalho de Schmidt e Lima (2004) e de Siqueira, Cordeiro Júnior e Castelar (2006) expandiram a análise dos três autores predecessores. Após a apresentação da literatura nacional consolidada, é comentado sobre os trabalhos de Lins (2010) e Silva (2013) que observam o mercado de energia elétrica através de microdados e incorporam em sua análise as variáveis sociais e econômicas de nível familiar. Por último, a dissertação de mestrado de Ponte (2018), que abarca a análise de elasticidade para demanda da classe residencial retomando a análise de dados agregados.

A quarta seção trata sobre o modelo teórico. Nesta seção, será explicitada a teoria do consumidor para a caracterização da função demanda com a inovação proposta por Eskeland e Mideksa (2010) vista por Silva (2013).

A quinta seção apresenta os aspectos metodológicos deste trabalho que seguem duas abordagens encadeadas. Na primeira abordagem, é apresentada uma análise baseada em microdados, conforme a análise de Lins (2010) e Silva (2013), que utiliza os dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF)

aplicando a estimação dos coeficientes, orientada pelo método de Mínimos Quadrados em Dois Estágios. Já na segunda abordagem, é realizada uma análise de séries temporais para a classe residencial por meio de dados agregados. Desta forma, acompanhada de uma abordagem metodológica de tratamento de séries temporais em consonância com a literatura nacional consolidada.

Na sexta seção, parte-se para a apresentação e análise de dados. Para isso, coloca-se em análise os aspectos quantitativos da base de dados a serem trabalhadas, sendo elas, a Pesquisa de Orçamentos Familiares (2017-2018) e, posteriormente, uma base que reúne dados do mercado de energia elétrica residencial através de diversas fontes, dentre elas, Eletrobrás, IBGE e FGV.

Na sétima seção, é apresentado os resultados obtidos para ambas as abordagens, acompanhados por um debate a respeito dos testes realizados e dos coeficientes encontrados.

Na oitava seção, por fim, é apresentada a conclusão desta monografia tendo em vista comentários sobre a análise dos resultados estimados e as observações frente à revisão bibliográfica, realizada previamente.

E, por último, trata-se sobre as referências bibliográficas utilizadas e do Apêndice que ilustra as estimações e as estatísticas complementares dos modelos.

2. O consumo de energia elétrica pelo setor residencial

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)⁴, o mercado de energia elétrica pode ser dividido em três setores: 1) produção; 2) transmissão; e 3) distribuição. O setor produtivo gera a energia elétrica, que é transportada para os centros de consumo pelo setor de transmissão. A partir do setor de transmissão, as distribuidoras conduzem até os locais onde há o consumo de energia elétrica final.

Segundo a ANEEL⁵, o Sistema Interligado Nacional (SIN) reúne os três setores da produção de energia elétrica. Os consumidores conectados a este sistema podem ser classificados em dois tipos: livres ou cativos. Os consumidores livres podem comprar lotes de energia elétrica diretamente das empresas comercializadoras, uma vez que são clientes que consomem um grande volume de energia elétrica. Já os consumidores cativos, são consumidores de baixo volume, formado principalmente pelos consumidores residenciais. Por conta disso, a distribuidora é responsável pelo fornecimento e distribuição de energia.

O artigo de Fugimoto (2010) realiza uma análise da estrutura de tarifas de energia elétrica. Na presente estrutura tarifária, há um regime tarifário para cada tipo de consumidor. Para o consumidor cativo, a empresa distribuidora de energia elétrica é responsável pelo transporte e o produto. Desta forma, o consumidor cativo paga à distribuidora a tarifa de uso do sistema (TUSD) e a tarifa de energia (TE). Quanto ao consumidor livre, este paga à distribuidora local somente a TUSD, para o custo de transmissão, e negocia livremente com empresas comercializadoras a quantidade e preço de energia elétrica que irá consumir.

Frente às classificações apresentadas, identificamos que os consumidores residenciais, urbanos ou rurais, enquadram-se na classe de cativos. Portanto, estão sujeitos à distribuidora local para se conectar ao SIN e obter a energia que utilizará.

⁴ Fonte: Por dentro da conta de luz, 7ed, ANEEL, 2016

⁵ Consulta ao site da ANEEL – www.aneel.gov.br. Acessado em 10 de set de 2021.

Dentre uma das particularidades do mercado de energia elétrica, é possível ressaltar que esta utilidade não é um bem de consumo direto, ou seja, para obter a utilidade provinda da energia é necessário um bem que a consuma. No caso do consumidor residencial, a utilização de energia elétrica será derivada do estoque de aparelhos que consomem eletricidade. Dessa forma, é possível fazer uma relação sobre como o aumento dos estoques de aparelhos eletrodomésticos está ligado ao aumento do consumo da classe residencial.

3. Revisão de Literatura

3.1 Primeiros estudos acerca da elasticidade da demanda por energia elétrica

A extensa revisão de literatura desenvolvida por Taylor (1975) elenca os estudos pioneiros relevantes sobre a demanda por energia elétrica, no âmbito internacional. Tendo como foco a classe residencial, foi possível selecionar os estudos que serão comentados a seguir.

O estudo pioneiro de análise da demanda por energia elétrica foi realizado por Houthakker (1951). Neste estudo, o autor investiga a demanda da classe residencial para o Reino Unido no período dos anos de 1937 e 1938. A análise de Houthakker (1951) foi inovadora, pois incluiu uma abordagem de tarifação em duas partes, a tarifa fixa e a tarifa marginal, de acordo com o consumo de energia elétrica. O seu estudo encontrou a elasticidade preço de -0,89 e renda de 1,17, bem como a elasticidade cruzada com o preço marginal do gás natural de 0,21 (HOUTHAKKER, 1951).

Os autores Fisher e Kaysen (1962) realizaram um estudo sobre a demanda de energia elétrica para as classes residencial e industrial para 47 Estados dos Estados Unidos nos períodos de 1946 a 1949 e de 1951 a 1957⁶. Os autores foram os primeiros a aplicar uma análise de curto e longo prazo na estimação das elasticidades de renda e preço, também incorporaram em seu modelo o estoque de “*white goods*”⁷, que representa os eletrodomésticos da linha branca para a classe residencial.

Houthakker e Taylor (1970) estimaram as elasticidades da demanda por energia elétrica para a classe residencial utilizando dados em séries temporais para o consumo pessoal de no período de 1947 a 1964. Os autores utilizaram o estoque de bens duráveis, não-duráveis ou de serviços⁸, o rendimento domiciliar, e preços relativos à demanda por energia elétrica. Para auxiliar a explicação da variável de estoques, é realizada uma função que explica o estoque com base

⁶ Fischer e Kaysen (1962) omitiram os dados de 1950 por conta do efeito que a Guerra da Coreia causou sobre a demanda por eletrodomésticos da linha branca.

⁷ Fischer e Kaysen (1962) listam “*white goods*” como sendo as categorias: geladeira, ferro de passar roupa elétrico, fogão elétrico, máquina de lavar roupa e aquecedor de água elétrico.

⁸ Houthakker e Taylor (1970) utilizaram esta variável para capturar também o efeito do hábito de utilização de um eletrodoméstico.

na renda e na depreciação, em que esta é assumida se comportar de maneira exponencial. Em seu trabalho, é obtido que a elasticidade preço e renda de longo prazo para a classe residencial é de -1,89 e 1,93, respectivamente (HOUTHAKKER; TAYLOR, 1970).

Seguindo a cronologia da revisão de literatura de Taylor (1975), com ênfase na classe residencial, destaca-se a tese de doutorado de Wilson (1971). Neste trabalho, é analisado a demanda residencial por eletricidade bem como a demanda energética por seis categorias de eletrodomésticos⁹. A base utilizada foi em formato de dados transversais (*cross section*) para os dois casos. O autor analisou 77 cidades para a análise residencial no ano de 1966. Além desta amostra, o autor utilizou 83 *SMSA's* (*Standart Metropolitan Statistical Area*)¹⁰ para a análise de eletrodomésticos no ano de 1960.

O modelo apresentado por Wilson (1971) contou com a incorporação das seguintes variáveis: a quantidade média de energia elétrica consumida por domicílio, a tarifa média de energia elétrica para um consumo médio de 500 KWh por mês, a tarifa média de gás natural, a renda média familiar, o número médio de quartos por domicílio, e o número de dias quentes.

O estudo de Anderson (1973) utilizou dados dos censos norte-americanos de 1960 e 1970 para analisar a demanda de energia elétrica e gás. A abordagem proposta por Anderson (1973) pautou-se em duas frentes: primeiramente, foi realizada uma previsão para o estoque de equipamentos abastecidos por eletricidade; depois, para prever o consumo de energia elétrica. O modelo de demanda por energia elétrica contou com as seguintes variáveis: o consumo de energia elétrica do domicílio, a tarifa de energia elétrica, a tarifa do gás, a tarifa do gás para aquecimento, o preço do carvão, o preço do gás engarrafado, a renda do domicílio, o tamanho médio da família, a parcela de *single-detached*

⁹ As categorias de eletrodomésticos são: 1) fogões elétricos; 2) aquecedores de água; 3) secadores de roupa; 4) congeladores domésticos; 5) aparelhos de ar condicionado e 6) aquecedores de ambiente (WILSON, 1971).

¹⁰ Medida utilizada pelo *United States Office of Management and Budget (OMB)* – órgão responsável pelo censo nos Estados Unidos para demarcação de uma área a ser estudada.

*houses*¹¹, a parcela de casas não-urbanas, a temperatura média de dezembro, e a temperatura média de julho.

Houthakker, Verleger e Sheehan (1973) utilizaram dados anuais em séries temporais e dados em corte transversal (*cross section*) para o período de 1960 a 1971 para analisar a demanda residencial por energia elétrica usando como base o modelo de Houthakker e Taylor (1970). Os autores utilizaram a tarifa marginal para o intervalo de 250KWh a 500KWh, e encontraram que a elasticidade preço e renda de longo prazo é de -1,02 e 1,64, respectivamente (HOUTHAKKER; VERLEGER; SHEEHAN, 1973).

O estudo de Reiss e White (2005) buscou desenvolver um modelo para avaliar o efeito de políticas tarifárias alternativas e para estimar como o consumidor irá responder a esta variação tarifária. O estudo observou o consumo de 1.307 domicílios no estado da Califórnia, nos Estados Unidos, no período de 1993 a 1997. O modelo dos autores incluiu a análise de tarifas não-lineares e a análise da heterogeneidade no estoque domiciliar de eletrodomésticos. Neste sentido, o estudo encontrou uma assimetria na distribuição da elasticidade da classe residencial por conta da diferença em estoques de eletrodomésticos. Ao especificar separadamente a demanda de eletricidade dos eletrodomésticos, os autores identificaram que o grupo de eletrodomésticos mais acessíveis e comuns (como geladeiras e lâmpadas) possuem elasticidades-preço menores do que os eletrodomésticos de consumo intensivo de eletricidade (como aquecedores e aparelhos de ar condicionado).

¹¹ Este termo não possui tradução direta para o português, mas refere-se a uma casa que não está ligada a uma estrutura vizinha, ou seja, possui espaço aberto em todos seus lados no seu próprio terreno.

3.2 Estudos de demanda por energia elétrica no contexto brasileiro

O artigo de Modiano (1984) apresenta uma análise da evolução do consumo e dos preços de energia elétrica por classes de consumidores, divididas em 1) residencial; 2) industrial; 3) comercial; e, 4) outros. Segundo Modiano (1984), a relevância do estudo das características de consumo para cada classe de consumo se dá pela necessidade em delimitar políticas de dimensionamento da capacidade produtiva de acordo com o crescimento da economia.

Modiano (1984) estima as elasticidades de curto e longo prazo para o período de 1963 a 1981, utilizando dados anuais. O autor utilizou dois modelos alternativos para o consumo de energia elétrica, ambos baseados na premissa de que a oferta é infinitamente elástica.

No primeiro modelo do artigo de Modiano (1984), foi proposto que a demanda é dada por:

$$\ln q_i = a_{0i} + a_{1i} \ln y + a_{2i} \ln p_i \quad (1)$$
$$a_{1i} > 0 \text{ e } a_{2i} < 0 \quad i = 1, 2, 3 \text{ e } 4$$

Em que: q^i representa a demanda por energia elétrica da classe i , y denota a renda real da economia e p^i representa a tarifa média real para a classe consumidora i . Dessa forma, no modelo proposto pelo autor, a_{1i} e a_{2i} representam as elasticidades renda e preço para a classe i , respectivamente.

Para a proposta do segundo modelo, o artigo de Modiano (1984) descreve o seguinte ajustamento parcial do consumo à demanda:

$$\ln q^i - \ln q_{-1}^i = \lambda_i (\ln q^i - \ln q_{-1}^i) \quad (2)$$
$$0 < \lambda_i < 1 \quad i = 1, 2, 3 \text{ e } 4$$

Onde, q^i representa o consumo efetivo de energia elétrica da classe i e λ_i o coeficiente de ajustamento da respectiva classe.

Ao substituir a equação 2 em 1, o autor obtém o segundo modelo:

$$\log q^i = \lambda_i a_{0i} + \lambda_i a_{1i} \log y + \lambda_i a_{2i} \log p_i + (1 - \lambda_i) \ln q_{-1}^i \quad (3)$$
$$0 < \lambda_i < 1; a_{1i} > 0 \text{ e } a_{2i} < 0 \quad i = 1, 2, 3 \text{ e } 4$$

Na equação 3, de acordo com Modiano (1984), os coeficientes $\lambda_i a_{1i}$ e $\lambda_i a_{2i}$ indicam, respectivamente, as elasticidades renda e preço de curto prazo, ao passo que $\frac{\lambda_i a_{1i}}{1-\lambda_i}$ e $\frac{\lambda_i a_{2i}}{1-\lambda_i}$ representam, respectivamente, as elasticidades renda e preço de longo prazo para a classe i .

Através desses dois modelos, o autor encontrou evidências de que o setor industrial é o mais sensível no curto prazo para choques de preço e que o setor residencial é mais sensível aos choques de longo prazo. Para as variações de renda, o autor conclui que o setor industrial é o mais sensível no curto e longo prazo. Deste modo, as elasticidades estimadas por Modiano (1984) para a classe residencial foram de -0,40 e 1,13 para preço e renda, respectivamente.

O artigo de Andrade e Lobão (1997) também analisa a elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica para o Brasil. No artigo, os autores estimam as elasticidades renda e preço para o período de 1963 a 1995 com a finalidade de realizar projeções para o período de 1997 a 2005. Os autores buscaram ampliar o modelo utilizado por Modiano (1984) ao incorporar a variação do preço dos equipamentos domésticos como variável explicativa. A justificativa desta variável foi feita com o objetivo de aumentar a especificação da função demanda de energia elétrica. Pois, um indivíduo obtém a utilidade provinda da eletricidade através de um aparelho que é alimentado por ela. Dessa forma, o estoque de aparelhos eletrodomésticos está diretamente ligado à demanda deste indivíduo.

O artigo de Andrade e Lobão (1997) se baseou em três premissas para a construção da função demanda, sendo elas:

1) A demanda dos consumidores residenciais conectados ao sistema nacional é efetivamente fornecida. Assim sendo, não há demanda reprimida e a oferta é infinitamente elástica;

2) No longo prazo, o comportamento da demanda residencial é influenciado somente pela tarifa energética, pela renda familiar e pelo estoque domiciliar de aparelhos eletrodomésticos. Dessa forma, há expectativa de que um aumento na tarifa implique em uma redução na demanda de energia, e que

aumentos em renda e em estoque de eletrodomésticos aumentem o consumo energético residencial.

Desse modo, o modelo proposto por Andrade e Lobão (1997):

$$C_t = K P_t^\alpha Y_t^\beta E_t^\delta \quad (4)$$

$$K > 0, \alpha < 0, \beta > 0 \text{ e } \delta > 0$$

Onde, C_t é o consumo residencial de energia elétrica no tempo t , P_t é a tarifa residencial de energia elétrica no tempo t , Y_t é a renda familiar no tempo t e E_t é o estoque familiar de aparelhos eletrodomésticos no tempo t .

3) Segundo os autores, como o estoque de aparelhos domésticos familiar sofre depreciação e é repostado ou incrementado, o estoque pode ser representado através do preço dos eletrodomésticos (PE_T) e da renda familiar (Y_t). Dessa forma, o estoque irá responder positivamente aos aumentos de renda familiar e negativamente aos aumentos de preço de eletrodomésticos.

Assim:

$$E_t = \Delta P E_t^\mu Y_t^\theta \quad (5)$$

$$\Delta > 0, \mu < 0 \text{ e } \theta > 0$$

Ao substituir a equação 5 em 4 e aplicar uma função logaritmo, temos:

$$c_t = \phi_1 + \phi_2 p_t + \phi_3 y_t + \phi_4 pe_t \quad (6)$$

Onde, c_t , p_t , y_t e pe_t são, respectivamente os logaritmos de C_t , P_t , Y_t e PE_t . E, também, os coeficientes: $\phi_1 = \ln(K\Delta^\delta)$, $\phi_2 = \alpha < 0$, $\phi_3 = \beta + \delta\theta > 0$, e $\phi_4 = \delta\mu < 0$.

Desse modo, o coeficiente ϕ_2 representa a elasticidade para a demanda residencial por energia elétrica em relação ao preço de energia, o coeficiente ϕ_3 representa a elasticidade da renda familiar, e o coeficiente ϕ_4 representa a elasticidade do preço dos eletrodomésticos.

Andrade e Lobão (1997) realizaram as estimações do modelo, representado pela equação 6, através de três métodos, sendo eles: i) mínimos quadrados ordinários (MQO); ii) variáveis instrumentais (VI); e, iii) vetor

autorregressivo (VAR) sob a representação de um modelo de correção de erro (VEC).

Andrade e Lobão (1997) encontraram resultados significativos para os modelos de MQO e VI, sendo o melhor, o modelo de VI sem o termo constante. Para a estimação do modelo de correção de erros (VEC), obtiveram resultados fortemente significativos e os resíduos não apresentaram problemas de autocorrelação, normalidade e heterocedasticidade.

Os autores também apontam que existem outras variáveis que afetam a quantidade de energia elétrica residencial além do nível de estoques de eletrodomésticos. É notado que os estoques de eletrodomésticos se expandiram no período analisado pelos autores por motivos como a queda real dos preços, a estabilização monetária e a maior facilidade do acesso ao crédito familiar (ANDRADE; LOBÃO, 1997). Os autores encontraram que a elasticidade renda e preço de longo prazo para a classe residencial de 0,21 e -0,05, respectivamente (ANDRADE; LOBÃO, 1997).

O estudo realizado por Schmidt e Lima (2004) busca estimar, por cointegração, os parâmetros da função de demanda por energia elétrica através das três classes consumidoras: industrial, comercial e residencial. Os autores também realizaram uma projeção para o consumo de 2001 a 2005.

A função demanda por energia elétrica proposta pelos autores é caracterizada abaixo:

$$C_t = k P_t^\alpha Y_t^\beta L_t^\delta S_t^\theta \quad (7)$$
$$k > 0, \alpha < 0, \beta > 0, \delta < 0, \theta > 0$$

Ao aplicar a função logaritmo da função demanda, obtém-se:

$$\ln C_t = \ln k + \alpha \ln P_t + \beta \ln Y_t + \delta \ln L_t + \theta \ln S_t \quad (8)$$

De acordo com os autores: C_t é quantidade consumida de energia elétrica no período t , P_t é a tarifa do período t , Y_t é a renda do período t . No caso residencial, a renda utilizada foi o rendimento do trabalhador, ao passo que nos casos industriais e comerciais foi utilizado o PIB. L_t é o preço dos aparelhos eletrodomésticos para o caso residencial, e para os casos industrial e comercial,

a variável representa os preços de eletrointensivos no período t . S_t é o preço de um bem substituto à energia elétrica no período t . No caso da realização do bem substituto, os autores, Schmidt e Lima (2004), afirmam que somente o setor industrial tem a possibilidade de haver um bem substituto. Desta forma, tal variável não é incorporada nos modelos residencial e comercial.

Sendo assim, as elasticidades da demanda por energia elétrica são assumidas por α para a elasticidade-preço, β para a elasticidade-renda, δ para a elasticidade preço do estoque de aparelhos consumidores de eletricidade de cada setor, θ é a elasticidade-preço do bem substituto no caso industrial, e, por fim, k é uma constante.

No estudo de Schmidt e Lima (2004), a metodologia utilizada para a estimação da função demanda foi através do modelo de vetores autor-regressivos (VAR) para estimação de vetores de cointegração. Assim, os autores obtiveram as elasticidades de longo prazo para o consumo de energia elétrica. Schmidt e Lima (2004) afirmam que esse tipo de modelagem é o mais apropriado para esta estimação ao se levar em consideração as variáveis e, também, suas defasagens.

Os resultados do estudo desenvolvido por Schmidt e Lima (2004) para a classe residencial foram pouco distintos quando comparados aos trabalhos de Modiano (1984) e de Andrade e Lobão (1997). Para a classe industrial e comercial, houve um resultado superior para a elasticidade renda que vai de acordo com a ressalva apontada pelo trabalho de Modiano (1984) em sua premissa de que há a possibilidade de que a elasticidade seja maior do que um. Em seu trabalho, Schmidt e Lima (2004) encontraram que a elasticidade renda e preço de longo prazo para a classe residencial foram de 1,05 e -0,15, respectivamente.

No artigo de Siqueira, Cordeiro Júnior e Castelar (2006) foi proposto uma metodologia para adequar previsões de retomada para o mercado de energia elétrica do Nordeste frente aos racionamentos de energia elétrica que foram aplicados à esta região. Nesse sentido, os autores buscaram estimar as elasticidades de curto e longo prazo para a demanda por energia elétrica para as três classes de consumo: industrial, residencial e comercial.

Siqueira, Cordeiro Júnior e Castelar (2006) utilizaram-se do modelo abaixo:

$$C_t = k_1 P_t^\alpha Y_t^\beta E_t^\gamma P C_t^\delta \quad (9)$$

Neste modelo, os autores utilizam C_t para representar a quantidade demanda de energia elétrica no período t , P_t para a tarifa média realizada no tempo t , Y_t é, para o caso residencial, a renda familiar, E_t para o estoque de aparelhos elétricos no tempo t e $P C_t$ é o preço dos bens substitutos da classe de consumo no tempo t .

Os autores expandiram a análise do termo de estoque de aparelhos elétricos através da representação:

$$E_t = k_2 P E_t^\mu Y_t^\theta \quad (10)$$

Para assim, indicar que o estoque domiciliar responda à um impacto positivo no aumento da renda familiar e negativamente ao aumento do preço dos aparelhos elétricos.

Após essa expansão, os autores, optaram por incorporar a equação 10 na equação 9, e aplicar a transformação em logaritmo para obter a equação 11:

$$\ln C_t = \Theta_1 + \Theta_2 \ln P_t + \Theta_3 \ln Y_t + \Theta_4 \ln P E_t + \Theta_5 \ln P C_t + \varepsilon_t \quad (11)$$

Onde, os autores representam: $\Theta_1 = \ln(k_1 k_2^\gamma)$, $\Theta_2 = \alpha$, $\Theta_3 = \beta + \gamma\theta$, $\Theta_4 = \gamma\mu$ e $\Theta_5 = \delta$. Assim, os coeficientes, Θ_2 , Θ_3 , Θ_4 e Θ_5 , irão representar, respectivamente, as elasticidades preço, renda, preço dos equipamentos elétricos e preço de bens substitutos.

A partir deste modelo foram realizadas estimações pelo método de mínimos quadrados ordinários (MQO), mínimos quadrados ordinários de dois estágios (MQ2E) e vetores auto-regressivos com representação de um vetor de correção de erros (VAR/VEC). As duas primeiras estimações foram realizadas para efeitos de comparação de elasticidades, visto que o modelo pelo qual os autores realizaram a sua previsão foi estimado por VAR/VEC com a introdução de uma variável *dummy* para capturar o efeito do racionamento de energia elétrica.

Para a representação do modelo de correção de erros (MCE), os autores utilizaram a forma:

$$\Delta C_t = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta P_t + \alpha_2 \Delta Y_t + \alpha_3 \Delta P E_t + \alpha_4 \Delta P C_t + \alpha_5 \sum_{i=1}^k \Delta \rho_{t-i} + \alpha_6 E C_{t-1} + \varepsilon_t \quad (12)$$

Onde $E C_t$ indica o termo de correção do erro. Nesta especificação, os autores estimaram a dinâmica de curto prazo por MQO. Os resultados obtidos para o modelo VEC foi dentro do esperado pela teoria e os coeficientes do vetor de cointegração foram significativos, o que de acordo com os autores, sugere que o sistema tende a se ajustar para o equilíbrio longo prazo após um determinado choque. Os autores obtiveram resultados que estão em sinais e magnitudes alinhados com a literatura acerca do tema com estimações estatisticamente significantes.

A tese de doutorado de Lins (2010) busca analisar a demanda por energia elétrica através dos microdados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) nos períodos de 2002-2003 e 2008-2009. Com foco no setor residencial-urbano, a autora propõe um modelo que abarca diversas variáveis de controle a fim de representar os estratos sociais e como estas variáveis influenciam no consumo de energia elétrica.

Lins (2010) buscou dividir os decis de renda para isolar os efeitos que as variações de caráter social influenciam sobre as quantidades demandadas de energia elétrica. Lins (2010) conclui que a atual política tarifária pode estar incluindo subsídios às classes que não os necessitam, ao passo que não incluem estratos sociais que se obteriam melhor retorno sobre estes subsídios.

Silva (2013) realizou um estudo acerca da demanda por energia elétrica utilizando os dados da POF 2008-2009. Este trabalho realizou uma estimação utilizando o Método de Regressão Quantílica com Variável Instrumental (MQRVI), para estimar as elasticidades de acordo com os decis da distribuição para que seja corrigido o problema de endogeneidade referente à estimação da demanda de um bem utilizando-se a tarifa média deste bem.

O modelo teórico a ser estimado que foi proposto por Silva (2013) se deu na especificação abaixo:

$$\ln E_i = \beta_0 + \beta_i \ln P_{E_i} + \beta_2 \ln R_i + \beta_3 T_{B_i} + \beta_4 T_{A_i} + v_i \quad (13)$$

Onde, E_i representa a demanda por energia elétrica, P_{E_i} é o preço da eletricidade, R_i representa a renda domiciliar, T_{B_i} e T_{A_i} representam a temperatura média em estações frias e das estações quentes, respectivamente.

Silva (2013) encontrou que os decis da distribuição respondem de maneira diferente as variações de renda e tarifa, deste modo, os indivíduos localizados nos extremos da distribuição respondem de maneira mais sensível às variações de preço e renda em seu consumo de energia elétrica.

Dantas, Costa e Silva (2016) buscaram estimar as elasticidades preço e renda da demanda por energia elétrica para as três classes de consumo (residencial, industrial e comercial) utilizando o recorte das regiões brasileiras no período de 2000 a 2015. Os autores utilizaram dados em painel e realizaram uma estimação através de painel dinâmico utilizando o Método dos Momentos Generalizados (GMM) na versão de um *System-GMM*.

Nesse artigo, os autores representaram a função de demanda por energia elétrica através da seguinte equação:

$$Y_t = \beta_0 Y_{t-1} + \beta_1 T_t + \beta_2 TB_t + \beta_3 R_t + \beta_4 P_t + \alpha Z_i + \varepsilon_t \quad (14)$$

Após a realização de uma transformação através de logaritmo neperiano, os autores obtiveram:

$$\ln Y_t = \beta_0 \ln Y_{t-1} + \beta_1 \ln T_t + \beta_2 \ln TB_t + \beta_3 \ln R_t + \beta_4 \ln P_t + \alpha Z_i + \varepsilon_t \quad (15)$$

Onde, Y_t representa a demanda por energia elétrica no período t , Y_{t-1} representa a demanda por energia elétrica no período $t - 1$, T_t representa a tarifa no período t , TB_t representa a tarifa do bem substituto (aplicável somente para a classe industrial), R_t representa a renda da classe no período t , P_t representa o preço dos bens que consomem eletricidade no período t , e, Z_i representa um vetor de variáveis *dummies* a fim de caracterizar a região estudada.

O trabalho de Dantas, Costa e Silva (2016) encontrou que a região Norte é a que possui maior sensibilidade ao preço, sendo sua elasticidade-preço estimada em -0,27. Já a região Nordeste apresentou a menor sensibilidade ao

preço e sua elasticidade-preço estimada em -0,15. A região Sul, segundo os autores, possui a menor elasticidade-renda: 0,04. Já a região Centro-Oeste possui a maior elasticidade-renda: 0,38. A região Sudeste apresentou a maior sensibilidade ao preço de eletrodomésticos sendo sua elasticidade estimada em -0,64 e possui a elasticidade-preço de energia elétrica em -0,24.

Uhr, Chagas e Uhr (2017) estimaram a elasticidade preço e renda de curto e longo prazo da demanda por energia elétrica para a classe residencial utilizando dados estaduais no período de 2004 a 2014. Os autores estimaram a função demanda de energia elétrica através do Método de Momentos Generalizados (GMM) seguindo a metodologia proposta por Windmeijer (2005) com o modelo abaixo representado.

$$\ln C_t = \gamma \ln C_{it-1} + \beta_1 \ln I_{it} + \beta_2 \ln P_{it} + X_{it}\delta + u_{it} \quad (16)$$

Onde, $\ln C_t$ representa o logaritmo neperiano do consumo residencial de energia elétrica no período t para o estado i , $\ln I_{it}$ representa o logaritmo neperiano da renda familiar *per capita* deflacionada a partir do Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA/FGV) no período t para o estado i , $\ln P_{it}$ representa o logaritmo neperiano da tarifa residencial de energia elétrica (KWh) no período t para o estado i , o vetor X_{it} representa um conjunto de variáveis de controle no período t para o estado i e u_{it} representa o termo de erro no período t para o estado i .

O trabalho de Uhr, Chagas e Uhr (2017) encontrou elasticidades preço de longo prazo para a tarifa de energia elétrica variando de -0,61 a -1,47. Para elasticidades renda de longo prazo os resultados variam de 0,32 a 1,09.

A dissertação de Ponte (2018) realizou uma estimação de elasticidade para a classe residencial, tomando como referência o período de 2003 a 2015, através de um modelo de painel de dados do tipo estático e dinâmico. Ponte (2018) utilizou dados de concessionárias de energia elétrica.

A metodologia que o autor propôs se baseou na construção de uma função para expressar a demanda por energia elétrica, e assim, estimar empiricamente seus coeficientes.

A função demanda por energia elétrica proposta fora:

$$C_{it} = \beta_0 I_{it}^{\beta_1} P_{it}^{\beta_2} X_{it}^{\gamma} u_{it} \quad (17)$$

Após aplicar o logaritmo, obtém-se:

$$\ln C_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln I_{it} + \beta_2 \ln P_{it} + \gamma \ln X_{it} + u_{it} \quad (18)$$

Assim, C_{it} representa o consumo de energia elétrica da classe residencial (em MWh) pela área de concessão de cada concessionária i no tempo t , I_{it} representa a renda familiar *per capita* pela área de cada concessionária i no tempo t , P_{it} representa o preço da energia elétrica da classe residencial (em R\$/MWh) pela área de cada concessionária i no tempo t , e X_{it} representa outras variáveis de controle.

Dessa forma, os parâmetros a serem estimados são: $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ e γ . As elasticidades da demanda por energia elétrica na classe residencial são representadas por β_1 , elasticidade renda, e β_2 , elasticidade preço.

A função demanda foi estimada pelo método de painel de dados estáticos e dinâmicos. Ponte (2018) constatou que a demanda da classe residencial em relação ao preço é inelástica no curto prazo e elástica no longo prazo.

4. Modelo Teórico

Seguindo a exposição da literatura nacional e internacional acerca da elasticidade renda e preço para a demanda por energia elétrica para a classe residencial, esta seção foca em propor o modelo teórico sobre o qual o consumidor realiza sua escolha de consumo.

Neste presente trabalho, as referências teóricas serão primeiramente alinhadas ao trabalho de Silva (2013), utilizando a base de Pesquisa de Orçamentos Familiares trabalhada pela autora exposto nesta seção, e depois, será proposto um modelo que servirá de base para a estimação através de dados agregados, seguindo de forma mais próxima aos trabalhos de Andrade e Lobão (1997), Schmidt e Lima (2004) e Siqueira, Cordeiro Júnior e Castelar (2006) que será caracterizado posteriormente na seção de Metodologia.

Desse modo, para o modelo de microdados será seguido o modelo teórico conforme trabalhado por Silva (2013), para a proposição de um modelo que represente a demanda por energia elétrica pela classe residencial. Assim, a autora recorreu ao trabalho de Eskeland e Mideksa (2010) para basear sua proposta metodológica ao invés da abordagem clássica de escolha do consumidor.

Nesse sentido, a proposta teórica de Eskeland e Mideksa (2010), segundo Silva (2013), consiste em especificar a utilidade como uma junção da função de conforto térmico e do consumo dos demais bens conforme exposto abaixo.

$$U_{it} = u(Q_{it}, C_{it}) \quad (19)$$

Onde U_{it} representa a utilidade para o indivíduo i no período t , Q_{it} representa um vetor de bens de consumo e serviços para o indivíduo i no período t , C_{it} representa o conforto térmico para o indivíduo i no período t .

Silva (2013) descreve que para que seja garantida a condição de convexidade da função utilidade, a taxa marginal de substituição entre Q_{it} e C_i deve ser decrescente. Dessa forma, pode ser assumido que $u_v(Q_{it}, C_{it}) > 0$ e $u_{vv}(Q_{it}, C_{it}) < 0$. Assim, a utilidade marginal será crescente com o aumento do consumo em uma taxa de crescimento decrescente, sendo representado pela

primeira e segunda derivada da função utilidade, respectivamente. Esta condição garantirá a existência um ponto de máximo.

Em seguida, Silva (2013) descreve a função de conforto térmico proposta por Eskeland e Mideksa (2010):

$$C_{it} = f(T, E_{it}, W_t, h_i) \quad (20)$$

Onde: C_{it} se encontra representado em função da temperatura exterior T , E_{it} representa o consumo energético do indivíduo i no período t e W_t , a eficiência energética do equipamento do indivíduo i no período t , e h_i representa o isolamento térmico que é uma característica de cada domicílio.

Dessa forma, será possível representar o consumo de energia elétrica de acordo com a temperatura exterior. Assim, se torna possível capturar o efeito que uma mudança de temperatura pode haver sobre o consumo energético de equipamentos eletrodomésticos que proporcionam melhor conforto térmico, como equipamentos de ar condicionado, ventiladores, ou no caso de locais onde as estações frias são mais expressivas, o uso de aquecedores de espaço.

Ao explicitar a equação que representa o conforto térmico (20) na forma de uma equação Cobb-Douglas, Silva (2013) utiliza;

$$C_{it} = c E_{it}^m T_{Bit}^\alpha T_{Ait}^{-\alpha} \quad (21)$$

Onde: T_{Bit}^α e $T_{Ait}^{-\alpha}$ representam respectivamente a temperatura de inverno e a temperatura de verão e $c = h_i(W_t)^m$ é uma variável que agrega as características domiciliares e fatores referentes ao consumo energético de eletrodomésticos previamente descritas do indivíduo i no período t .

Neste processo, será tomada uma abordagem divergente de Silva (2013) onde é levado em consideração o impacto de ambas as estações. Contudo, neste trabalho, será considerado somente o impacto que a temperatura de verão exerce sobre o consumo de energia elétrica. A justificativa se dá pela concentração populacional brasileira ser na região Sudeste e Nordeste, que se caracterizam por serem locais onde a temperatura média dos centros populacionais não requerer o uso extensivo de equipamentos que geram conforto térmico nas estações frias. Desse modo, somente o impacto da

temperatura em estações quentes será considerado no modelo teórico, e espera-se um efeito positivo sobre o consumo de energia elétrica, ou seja, para o aumento de temperatura máxima média do período é esperado que o consumo energético *per capita* seja superior.

Então, é assumido que o consumidor gaste sua renda no consumo de energia elétrica (E_{it}) e os demais bens (Q_{it}). Assim, Silva (2013) normaliza o preço de outros bens e toma Q_{it} como numerário. E a restrição orçamentária do consumidor será definida como:

$$Q_{it} + P_{E_{it}}E_{it} = R_{it} \quad (22)$$

Onde: R_{it} representa a renda do consumidor e $P_{E_{it}}$, o preço da energia elétrica.

A demanda por energia elétrica residencial é considerada por Silva (2013) assumir a função de utilidade de elasticidade de substituição constante (CES):

$$U_{it} = \frac{aQ_{it}^{1-\gamma} + (1-a)C_{it}^{1-\gamma}}{1-\gamma}, \text{ em que } a \in (0,1) \quad (23)$$

Assim, o problema do consumidor será maximizar sua utilidade dada a sua restrição orçamentária. Este processo pode ser representado por:

Maximizar U_{it} , sujeito a $Q_{it} + P_{E_{it}}E_{it} = R_{it}$, em que $C_{it} = vE_{it}^m T_{Ait}^{-\alpha}$.

Ao realizar a maximização de utilidade do consumidor e aplicar o logaritmo neperiano, e aplicar as substituições necessárias, será obtido:

$$\ln E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln P_{E_{it}} + \beta_2 \ln R_{it} + \beta_3 T_{Ait} + c_i + v_{it} \quad (24)$$

Na equação 24, acima, β_1 representa a elasticidade preço da energia elétrica e β_2 representa a elasticidade renda para o consumo de energia elétrica. O elemento c_i representa, conforme descrito anteriormente, um vetor de características domiciliares e de seus eletrodomésticos. No entanto, neste modelo, os dados utilizados estão em formato de corte transversal e, portanto, não serão incorporados em sua forma estrutural. O termo v_i é o termo de erro do modelo a ser estimado. Desse modo, a equação a ser estimada, será:

$$\ln E_i = \beta_0 + \beta_1 \ln P_{E_i} + \beta_2 \ln R_i + \beta_3 T_{Ait} + v_i \quad (25)$$

O usual método de estimação através de Mínimos Quadrados Ordinários não poderá ser aplicado nesta situação por contar com a questão da simultaneidade relativa à estimação da demanda por energia elétrica utilizando a tarifa média de energia como variável explicativa. Silva (2013) analisa que a hipótese de correlação nula entre a variável explicativa e o termo de erro estocástico pode estar sendo invalidada e, portanto, os resultados serão tendenciosos para a elasticidade preço da demanda por energia elétrica.

Dessa forma, para a estimação desta função, será utilizado o Método de Mínimos Quadrados em Dois Estágios (MQ2E) conforme proposto por Andrade e Lobão (1997) com a finalidade de coibir o viés gerado pela estimação usual em MQO.

5. Metodologia

A abordagem metodológica do presente trabalho baseia-se em duas frentes. Primeiramente, é apresentado um modelo para estimação das elasticidades renda e preço, utilizando uma abordagem por microdados, tendo em vista os trabalhos de Lins (2010) e Silva (2013), através da estimação pelo método de Mínimos Quadrados em Dois Estágios (MQ2E). A segunda abordagem, é referenciada por autores consolidados nas produções acadêmicas do contexto nacional através dos dados agregados.

5.1 Modelo de microdados

Entender a demanda por energia elétrica através de microdados para a classe residencial é uma abordagem interessante do ponto de vista da análise econométrica. Os microdados permitem realizar um estudo que reflita as variedades geográficas e demográficas enfrentadas no nível familiar (LINS, 2010). Assim, ao abarcar a heterogeneidade presente na amostra, enriquece a análise baseada na teoria de preferências, conforme exposta na seção anterior.

Utilizar uma pesquisa de microdados para um estudo econométrico também possui desvantagens, pois como a pesquisa utilizada é obtida através de entrevistas aos indivíduos, há a possibilidade de inclusão de erros nas respostas dos indivíduos entrevistados, a omissão ou imprecisão de informações importantes acerca do objeto estudado. Uma desvantagem que é presente em uma pesquisa de nível individual é um recorte adequado de uma amostra que reflita a população a ser estudada. Contudo, existem ferramentas estatísticas que permitem que essa desvantagem seja atenuada (IBGE, 2019, p. 31).

Ao estimar uma demanda utilizando como variável explicativa encontra-se o problema de simultaneidade, pois a escolha do consumidor em maximizar sua utilidade está diretamente ligada à tarifa enfrentada por ele. Dessa forma, é proposto a estimação pelo Método dos Mínimos Quadrados em Dois Estágios como exposto por Siqueira, Cordeiro Júnior e Castelar (2006).

Seguindo o proposto no trabalho de Silva (2013), foram utilizadas duas variáveis instrumentais. A primeira, refere-se ao custo de energia elétrica

enfrentado pelas distribuidoras de energia elétrica. Silva (2013) argumenta que esta variável pode ser utilizada como instrumento, pois está correlacionada com a tarifa média enfrentada pelo consumidor e de que se trata de um componente de custo da empresa distribuidora de energia elétrica. Este fator de custo não é observado pelo consumidor em sua decisão de consumo. A segunda variável instrumental a ser utilizada será a tarifa média do ano anterior

Para a estimação do modelo de microdados, será utilizada a representação abaixo:

$$\ln D_i = a \ln Y_i + b \ln P_i + cT_e \quad (26)$$

$$\ln P_i = \ln CT_e + \ln T_{-1,e} \quad (27)$$

Onde:

D_i : representa a demanda por energia elétrica *per capita*;

Y_i : representa a renda *per capita*;

P_i : representa a tarifa média domiciliar;

T_e : representa a temperatura máxima média do estado em que o domicílio se localiza;

CT_e : representa o custo de aquisição de energia elétrica da empresa distribuidora;

$T_{-1,e}$: representa a tarifa média estadual do ano anterior.

A equação 26 representa a demanda por energia elétrica *per capita* em função da renda *per capita*, da tarifa média e da temperatura máxima do estado. A equação 27 representa a relação instrumental que permitirá tratar a variável endógena tarifa média com as variáveis instrumentais custo de aquisição de energia das empresas distribuidoras e a tarifa média do ano anterior.

5.2 Modelo de dados agregados

Após a proposição de modelos de dados em corte transversal, será realizada uma estimação para as elasticidades renda e preço de longo prazo através de dados agregados. Esta etapa é referenciada pelos modelos propostos por Andrade e Lobão (1997), Schmidt e Lima (2004) e Siqueira, Cordeiro Júnior e Castelar (2006).

Como a energia elétrica não é um bem diretamente consumido, o indivíduo que deseja aumentar sua utilidade através dela, necessita de um bem que a consuma, portanto, a função de demanda deve levar em consideração a quantidade de bens de consumo domésticos que consomem eletricidade. Assim, torna-se possível a introdução de uma variável que capture este efeito para melhor especificar a função demanda.

Deste modo, para a especificação da função demanda, em consonância com a proposta de Andrade e Lobão (1997), serão levantadas três hipóteses que devem ser respeitadas, sendo elas:

1) Todos os consumidores conectados ao Sistema Interligado Nacional (SIN) – sistema brasileiro que conecta os geradores de energia elétrica aos consumidores das três classes – recebem a quantidade demandada por eles. Dessa forma, o modelo não admite que haja demanda reprimida nem que a oferta de energia seja infinita.

2) A demanda residencial pode ser definida através de uma função cujos fatores sejam: renda familiar *per capita*, tarifa média de energia elétrica e do estoque de aparelhos eletrodomésticos residenciais. Pode-se justificar que a decisão de consumo de energia elétrica parte fundamentalmente dessas três variáveis, tendo em vista que o consumidor objetiva maximizar sua utilidade dada sua restrição orçamentária. Assim, é dada justificativa para a inclusão da tarifa e da renda parte para a representação da restrição orçamentária, já a inclusão do estoque de eletrodomésticos permite capturar o efeito de que a energia elétrica não é um bem de consumo direto. Sendo, portanto, necessária a utilização de uma máquina que consuma energia para gerar utilidade ao indivíduo.

Dessa forma, pode-se esperar que o consumo de energia elétrica responda positivamente ao aumento da renda real familiar *per capita* e do estoque de eletrodomésticos, e, negativamente, ao aumento da tarifa.

$$C_t = K P_t^\alpha Y_t^\beta E_t^\delta \quad (28)$$

Em que: $K > 0$, $\alpha < 0$, $\beta > 0$ e $\delta > 0$

Os itens da função demanda seguem definidos: C_t representa o consumo *per capita* de energia elétrica pela classe residencial no período t , P_t é a tarifa média residencial para o período t , Y_t representa a renda *per capita* no período t , e E_t representa o estoque residencial de aparelhos eletrodomésticos no período t .

3) Expandindo a análise do estoque de eletrodomésticos residenciais, como realizado no trabalho de Andrade e Lobão (1997), propõe-se que o estoque pode ser definido através da renda familiar *per capita* e do preço de eletrodomésticos, pois o estoque domiciliar deprecia ao longo do tempo e sua reposição está diretamente ligada à renda familiar. Assim:

$$E_t = \Delta P E_t^\mu Y_t^\theta \quad (29)$$

Em que: $\Delta > 0$, $\mu < 0$ e $\theta > 0$

A partir dessa especificação, retomaremos a equação 28 e realizaremos a substituição pela equação 29. Dessa forma, a nova especificação será dada pela equação 30 abaixo representada:

$$C_t = K P_t^\alpha Y_t^\beta (\Delta P E_t^\mu Y_t^\theta)^\delta \quad (30)$$

Tomando-se o logaritmo neperiano para a equação 30, obteremos a equação 31:

$$\ln C_t = \ln(K\Delta^\delta) + \alpha \ln P_t + (\beta + \delta\theta) \ln Y_t + \delta\mu \ln P E_t \quad (31)$$

Para tornar as notações mais leves, realizaremos as seguintes renomeações: $\phi_1 = \ln(K\Delta^\delta)$, $\phi_2 = \alpha$, $\phi_3 = \beta + \delta\theta$ e $\phi_4 = \delta\mu$. Deste modo:

$$\ln C_t = \phi_1 + \phi_2 \ln P_t + \phi_3 \ln Y_t + \phi_4 \ln P E_t \quad (32)$$

De acordo com a especificação proposta, temos a representação das elasticidades da demanda por energia elétrica para a classe residencial na tabela a seguir:

Tabela 1: Elasticidades

| | |
|----------|---|
| ϕ_2 | Elasticidade-preço |
| ϕ_3 | Elasticidade-renda |
| ϕ_4 | Elasticidade-preço dos eletrodomésticos |

Será realizado o teste de Dickey Fuller Aumentado (1979, 1981) para análise de estacionaridade da série com e sem a presença de tendência e constante, bem como os testes de traço e autovalor propostos por Johansen e Juselius (1990). Pontuado isso, de acordo com os resultados a serem expostos, será proposta a metodologia adequada para o tratamento da série.

6. Dados

6.1 Fonte e critérios de tratamento

Apresentada a proposta metodológica deste trabalho, serão tratadas, separadamente, as duas bases de dados utilizadas para as estimações dos modelos apresentados. Primeiramente, é trabalhada a Pesquisa de Orçamentos Familiares, baseada em microdados. Depois, são reunidos dados agregados que representam o consumo nacional de energia elétrica.

6.2 Pesquisa de Orçamentos Familiares (2017-2018)

A Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), trata-se de uma pesquisa domiciliar, de natureza amostral, cujo objetivo é coletar informações a respeito da alocação orçamentária familiar.

Esta pesquisa analisa, principalmente, a unidade de consumo, que é uma medida estabelecida pelo IBGE para realizar a análise dos orçamentos familiares, que compreende desde um indivíduo à um conjunto de moradores que compartilham o mesmo estoque de alimentação na mesma habitação. Segundo o IBGE, a unidade de consumo é um termo equivalente ao de “família”.

Neste trabalho, será utilizada a edição mais recentes da POF a fim de analisar os fatores que influenciam a demanda por energia elétrica no período de 11 de julho de 2017 a 9 de julho de 2018 (IBGE, 2019).

Na edição de 2017-2018 da POF, foram consultadas 52.182 unidades de consumo reportadas na base de dados “Despesas Coletivas”. Esta base representa o dispêndio da unidade de consumo, pois busca representar como é realizada a despesa em bens e serviços que atendem todos os habitantes em domicílio. Esta base inclui a aquisição de bens e utilidades como energia elétrica, água encanada e esgoto.

A renda a ser utilizada no modelo de microdados será a renda familiar *per capita*. Para obtê-la, será dividida a renda total familiar pela quantidade de moradores da mesma unidade de consumo. Para a obter a quantidade de

indivíduos pertencentes à mesma unidade de consumo realizou-se o cruzamento da base “Despesas Coletivas” com a base “Despesas Individuais”, utilizando o localizador de unidade de consumo concatenado com o identificador de unidade primária de amostragem – um recorte espacial definido pelo IBGE (2019). Este caminho se deu porque esta base possui a variável “cod_informante” que representa o indivíduo participante da unidade de consumo. Desta forma, é possível relacionar a unidade de consumo à quantidade de informantes e obter a renda *per capita*.

Para o cálculo da tarifa média de energia elétrica, será realizada a divisão entre o valor em reais pago no consumo de energia elétrica e a quantidade final consumida em kilowatt-hora (kwh) da unidade de consumo.

Conforme descrito na seção intitulada como “Metodologia”, foi proposto o uso da variável instrumental que representa o custo de aquisição de energia elétrica enfrentado pelas empresas distribuidoras. Construída através dos dados disponíveis pela ANEEL, esta variável expõe o custo de energia elétrica arcado pelas empresas distribuidoras. Este custo incorpora o custo de geração de energia referente ao ano de 2017 de cada distribuidora concessionária, assim como, o custo de transmissão da energia elétrica até a chegada desta nas estações das empresas distribuidoras. Depois, é realizado uma ponderação através das unidades consumidoras residenciais do mesmo período para o mesmo estado, conforme informação obtida pela ANEEL. Assim, é obtido um custo de aquisição médio para o estado que pode ser aplicado como variável explicativa da tarifa média no ano de 2017.

Para a variável de tarifa média do ano anterior, a segunda variável instrumental adotada, foi criada com a mesma ponderação realizada para a variável de custo de aquisição, ou seja, através da informação reportada pelas empresas distribuidoras foi ponderado uma tarifa média estadual referente ao ano anterior. No entanto, a construção desta possui uma diferença de abordagem em relação ao estudo de Silva (2013). A autora utiliza a tarifa média incluindo a carga tributária, ao passo que neste trabalho foi utilizada a tarifa média sem os encargos tributários do setor. Deste modo, obteve-se a tarifa média de cada estado para a classe residencial no ano de 2016.

Os dados referentes à temperatura foram obtidos através do projeto *Nasa Power*¹², realizado pela Agência de Pesquisas Espaciais Norte Americana (NASA). Os dados foram obtidos através da preparação de um *script* na linguagem de programação R, em que são obtidos os dados de temperatura máxima e mínima diárias georreferenciados pelo sistema do projeto. Na sequência, é feito um cruzamento com a base de georreferenciamento das cidades brasileiras para obter as temperaturas máximas e mínimas diárias de cada município. Para tanto, é realizada uma ponderação de acordo com a população do município reportada no ano de 2017 a fim de calcular uma temperatura média máxima e uma temperatura média mínima que represente o Estado. Feito isso, é identificado a temperatura média máxima e mínima do Estado em que a unidade de consumo se localiza.

Para a construção desta variável seria possível uma alternativa à preparação deste *script* onde poderiam ser utilizadas as temperaturas obtidas por estações meteorológicas presentes fisicamente nas cidades. No entanto, sua cobertura é limitada em relação à totalidade do território nacional por necessitar de uma estação em cada município. Assim, a diferença entre os dois métodos de coleta se dá principalmente em nível, ou seja, as temperaturas reportadas variam em mesma intensidade, porém reportam níveis diferentes devido ao método de coleta de dados.

6.2.1 Estatísticas Descritivas

A Tabela 2 abaixo, explicita como é concentrado o consumo entre as classes socioeconômicas. A tabela foi calculada a partir dos dados de consumo da base “Despesa Coletiva” da POF 2017-2018, tendo realizado o tratamento exposto na seção 6.2.1. Na Tabela 2, a linha “Consumo” indica a demanda realizada do domicílio consultado. A linha abaixo, intitulada “Parcela”, indica a porcentagem em relação ao total reportado pela pesquisa. O consumo em relação ao total compara como o consumo *per capita* de cada classe se compara ao consumo *per capita* do total de indivíduos consultados, assim, permitindo

¹² Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/> Acessado em: 10 de set de 2021.

observar as diferenças do consumo *per capita* entre classes socioeconômicas propostas pelo IBGE.

Tabela 2: Concentração do consumo

| Concentração do Consumo Através das Classes Socioeconômicas | | | | | | |
|--|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Total | Classe A | Classe B | Classe C | Classe D | Classe E |
| Consumo (kwh) | 8.951.956 | 533.656 | 1.088.430 | 3.105.881 | 2.649.054 | 1.574.935 |
| Parcela | 100% | 6% | 12% | 35% | 30% | 18% |
| Domicílios Consultados | 51.617 | 1.476 | 3.812 | 14.847 | 17.743 | 13.739 |
| Parcela | 100% | 3% | 7% | 29% | 34% | 27% |
| População Consultada | 114.512 | 3.779 | 9.977 | 37.885 | 38.461 | 24.410 |
| Parcela | 100% | 3% | 9% | 33% | 34% | 21% |
| Consumo <i>per capita</i> (kwh/pop) | 78,17 | 141,22 | 109,09 | 81,98 | 68,88 | 64,52 |
| Consumo em relação à média total | 100% | 181% | 140% | 105% | 88% | 83% |

Fonte: Pesquisa de Orçamentos Familiares (2017-2018), Elaboração Própria

A Tabela 3, abaixo, apresenta uma análise da concentração da renda para o recorte de classes socioeconômicas.

Tabela 3: Concentração da Renda

| Concentração da Renda Através das Classes Socioeconômicas | | | | | | |
|--|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Total | Classe A | Classe B | Classe C | Classe D | Classe E |
| Renda Total Domiciliar (R\$) | 252.624.851 | 51.350.446 | 49.000.936 | 85.970.212 | 49.033.911 | 17.269.346 |
| Parcela | 100% | 20% | 19% | 34% | 19% | 7% |
| Renda <i>per capita</i> | 2206,10 | 13588,37 | 4911,39 | 2269,24 | 1274,90 | 707,47 |
| Renda em relação à média total | 100% | 616% | 223% | 103% | 58% | 32% |

Fonte: Pesquisa de Orçamentos Familiares (2017-2018), Elaboração Própria

Para os dados que serão analisados no modelo de microdados, a Tabela 4 representa as estatísticas descritivas:

Tabela 4: Estatísticas descritivas para microdados

| Estatísticas descritivas | | | | | |
|---|-----------|-----------|-------------|---------|---------------|
| | Média | Mediana | Máximo | Mínimo | Desvio Padrão |
| Demanda PC (KWh/pop) | 90,6298 | 70,0000 | 1640,0000 | 2,8571 | 81,0143 |
| Renda PC | 2455,6601 | 1539,9500 | 336445,4800 | 5,2850 | 4357,3170 |
| Tarifa Média | 0,7210 | 0,7103 | 6,6667 | 0,0400 | 0,2595 |
| Tarifa Média Estadual do ano anterior (R\$/KWh) | 0,4537 | 0,4517 | 0,5237 | 0,2836 | 0,0401 |
| Custo de aquisição de energia elétrica (R\$/KWh) | 0,1945 | 0,1979 | 0,2387 | 0,1436 | 0,0180 |
| Temperatura Máxima Média (°C) | 28,9905 | 29,4004 | 33,8320 | 23,8434 | 2,6423 |

6.3 Dados agregados

Para a segunda abordagem, alinhada com a literatura brasileira consolidada no campo, serão reunidos dados agregados para representar o consumo de energia elétrica no cenário nacional. Serão utilizados, em periodicidade anual, uma amostra que irá cobrir o recorte temporal de 1996 a 2020. Os dados de consumo de energia elétrica e a tarifa média de energia elétrica da classe residencial foram reportados pela Eletrobras e obtidos através de consulta ao sistema do Instituto de Pesquisa Econômica (Ipeadata). Os dados de PIB e população foram obtidos pelo IBGE.

Nesse sentido, a base a ser utilizada para a estimação é composta pelas seguintes variáveis:

D_t : Consumo de energia elétrica *per capita* (em KWh/pop), obtido pela divisão do consumo reportado pela Eletrobrás e a estimativa populacional por ano do IBGE.

Y_t : Produto Interno Bruto *per capita*, reportado pelo IBGE nominalmente, e deflacionado para preços de 1996 pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI).

P_t : Tarifa média de energia elétrica arcada pela classe residencial, reportado pela Eletrobrás e deflacionado pelo IGP-DI para preços de 1996.

PE_t : Preço de eletrodomésticos, em índice, obtido pelo Índice de Preços ao Produtor Amplo – Disponibilidade Interna (IPA-DI) reportado pela FGV e composto para gerar o índice anual e deflacionado para preços 1996 pelo IGP-DI.

Em seguida, são apresentados os gráficos que representam as variáveis que serão utilizadas após o tratamento acima mencionado.

Gráfico 2: Demanda por energia elétrica *per capita*

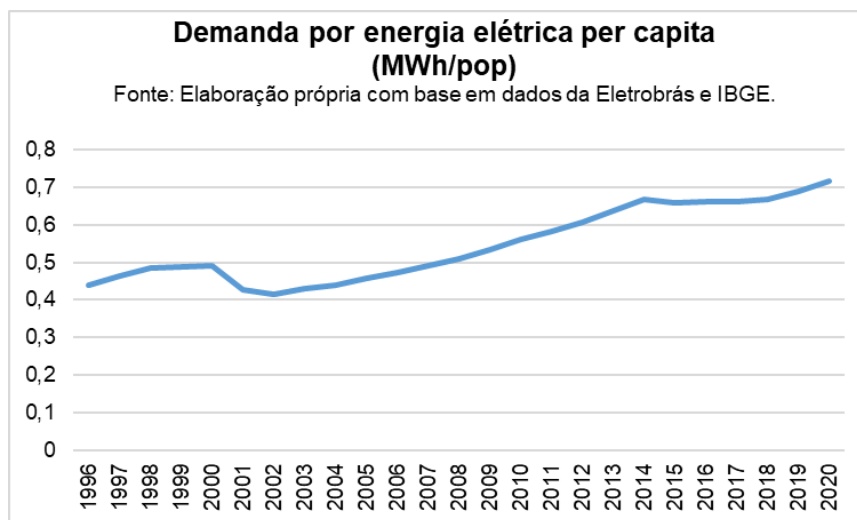


Gráfico 3: Tarifa média real de energia elétrica para a classe residencial.

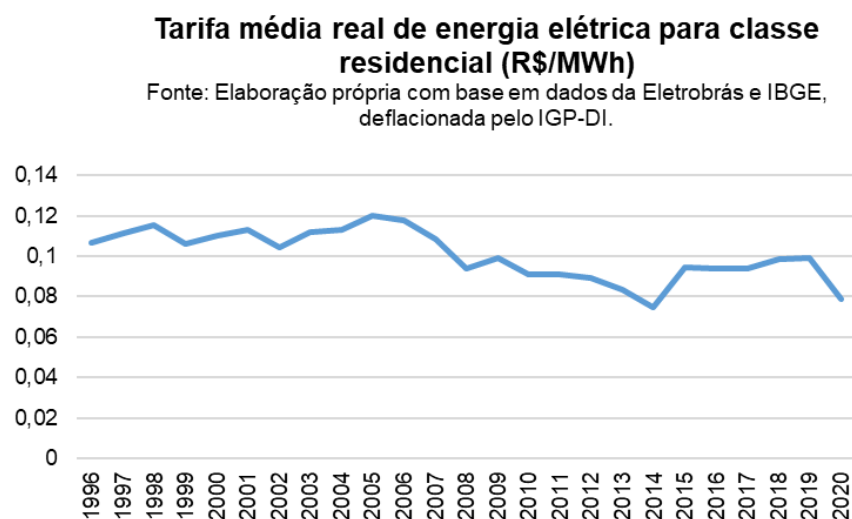


Gráfico 4: PIB real *per capita*

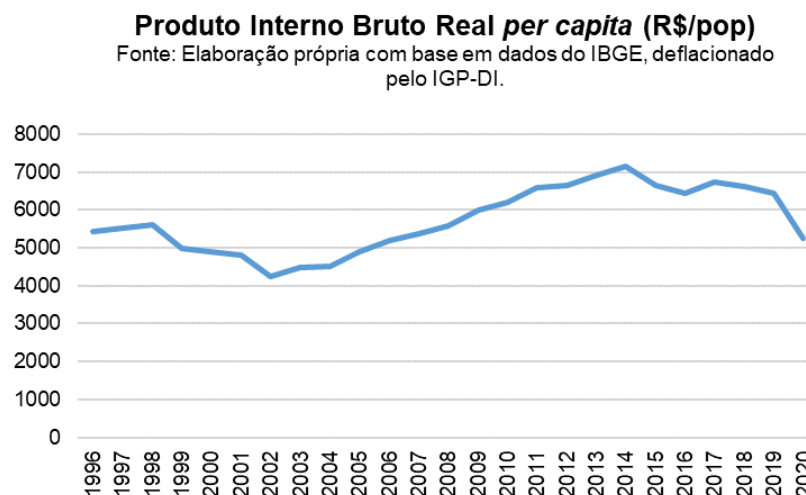
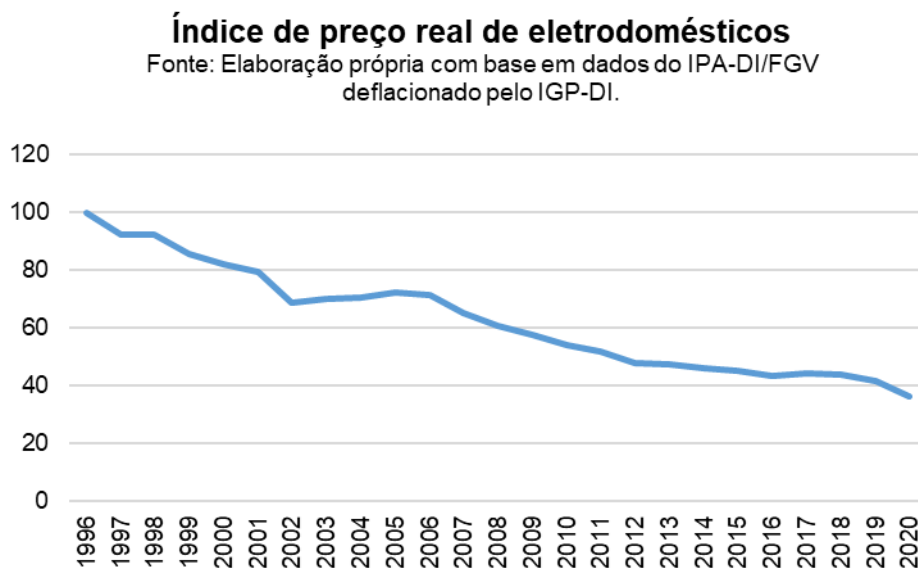
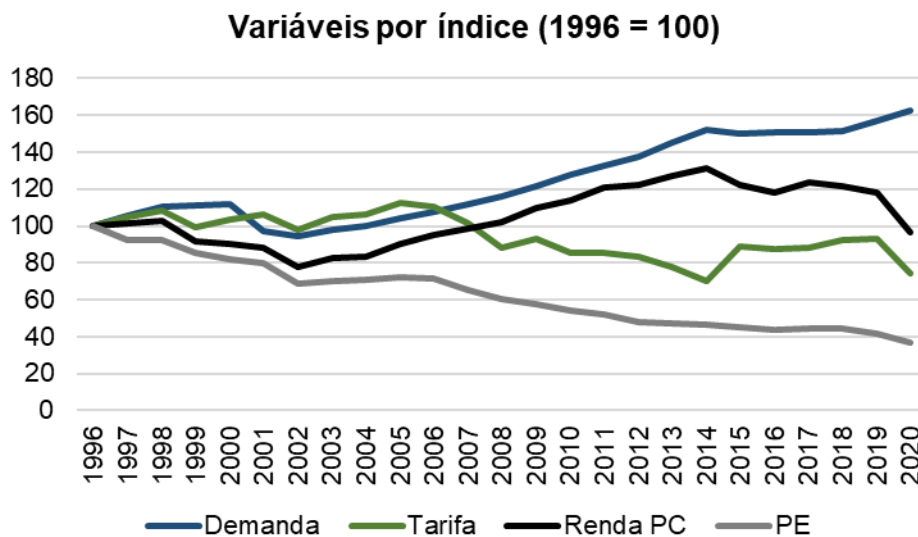


Gráfico 5: Índice de preço real de eletrodomésticos



A fim de ilustrar a variação das séries utilizadas, foi preparado o Gráfico 6 que assume o valor inicial 100 para todas as séries, e indica a variação ano a ano que a série sofre, para que desse modo seja possível visualizar o comportamento das variáveis quando iniciadas do mesmo nível.

Gráfico 6: Variáveis por índice



6.3.1 Estatísticas descritivas

Abaixo, são indicadas as estatísticas descritivas para os dados em formato agregado, onde os dados monetários já se encontram deflacionados para o ano base de 1996.

Tabela 5: Estatísticas Descritivas para dados agregados.

| Tabela descritiva | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| | Média | Mediana | Máximo | Mínimo | Desvio Padrão |
| Demanda PC (KWh/pop) | 546,2757 | 508,9299 | 715,2163 | 415,8315 | 98,5757 |
| Tarifa Média Real (R\$/KWh) | 0,1008 | 0,0991 | 0,1198 | 0,0746 | 0,0123 |
| Renda Real PC | 5722,9483 | 5566,2950 | 7148,1242 | 4238,5251 | 858,3829 |
| Preço dos Eletrodomésticos (índice) | 62,9167 | 60,7360 | 100,0000 | 36,4390 | 18,3436 |

7. Resultados

7.1 Resultados: modelo de dados transversais

Nesta seção, serão apresentados os resultados da estimação para o modelo em microdados obtidos pela POF. Os resultados foram obtidos através da estimação dos coeficientes do modelo proposto (equações 15 e 16) pelo método de Mínimos Quadrados em Dois Estágios, e utilizando as variáveis instrumentais custo de aquisição de energia e tarifa média no ano anterior como proposto por Silva (2013).

Previamente à estimação do método de Mínimos Quadrados em Dois Estágios (MQ2E), é importante analisar o grau de explicação que as variáveis instrumentais possuem sobre a variável instrumentada. Neste caso, é estimado pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários um modelo cuja variável explicada é o consumo de energia elétrica *per capita* através das variáveis explicativas de custo médio de aquisição de energia elétrica por Estado e a tarifa média de energia elétrica da classe residencial no ano anterior, que fora ponderada por Estado conforme descrito na seção de Dados.

Os resultados para o primeiro estágio, representados abaixo na Tabela 6, apontam coeficientes em sinal e magnitude de acordo com o esperado, ou seja, para um aumento da tarifa em um período anterior, há um aumento esperado da tarifa média calculada pela POF, ao passo que para um aumento do custo médio de aquisição, há um aumento na tarifa média experienciada pela classe residencial. Em relação à magnitude dos coeficientes, era esperado que a elasticidade da tarifa do ano anterior fosse superior à do custo de energia. A intuição desta comparação parte do princípio de que um aumento do custo será repassado em menor magnitude por não ser o único componente de custo das empresas distribuidoras, pois além do custo da energia gerada, há também o custo de transmissão entre a empresa geradora e a empresa distribuidora, conforme explicado na seção 2. Ambos os coeficientes estimados podem ser aceitos ao nível de significância de 1%.

Tabela 6: Análise de Variáveis Instrumentais

| Estimação de Variáveis Instrumentais | |
|---|--------------------|
| Variáveis (Em logaritmo natural) | Coefficientes |
| Tarifa Média (t-1) | 0,7026 (0,0175) |
| Custo Médio | 0,2670 (0,0175) |

Dessa forma, após a análise das variáveis instrumentais estarem alinhadas com o esperado, pode-se realizar a estimação pelo método de MQ2E. Os coeficientes estimados encontram-se reportados na tabela 7, abaixo. As variáveis de renda *per capita* e tarifa média foram transformadas para logaritmo neperiano, bem como a variável explicada, o consumo de energia elétrica *per capita*.

Tabela 7: Coeficientes - Mínimos Quadrados em Dois Estágios (MQ2E)

| Método de Mínimos Quadrados em Dois Estágios (MQ2E) | |
|--|---------------------|
| Variáveis | Coefficientes |
| Renda <i>per capita</i> | 0,5043 (0,0025) |
| Tarifa Média | -0,4935 (0,0346) |
| Temperatura Máxima | 0,0112 (0,0009) |
| R ² | 0,877 |
| R ² ajustado | 0,875 |

Os resultados obtidos para a estimação em MQ2E está em consonância com o esperado pelo modelo teórico, assim, as elasticidades renda e preço com sinais positivo e negativo, respectivamente. O coeficiente associado à temperatura média máxima também, pois espera-se que os Estados com maiores temperaturas máximas tendem a influenciar um consumo energético *per capita* superior. Os três coeficientes estimados podem ser aceitos ao nível de significância de 1%.

7.2 Resultados: modelo de dados agregados

Para a análise de presença de raiz unitária foi realizado o teste de Dickey Fuller Aumentado – ADF (1979, 1981). Assim, após ter sido aplicado a transformação por logaritmo nas variáveis analisadas, foi testado a presença de raiz unitária onde a hipótese nula é de que a série possui uma raiz unitária. Caso seja rejeitada a hipótese nula, pode-se concluir que a série não é estacionária. A tabela abaixo reúne os resultados dos testes aplicados:

Tabela 8: Testes Dickey Fuller

| Variável | Termos da equação | Defasagens | Estatística t - ADF | Valor Crítico | |
|----------|---|------------|---------------------|---------------|--------|
| | | | | 5% | 1% |
| ln D | Constante, tendência e dummy de quebra estrutural | 1 | -4,973 | -4,860 | -5,348 |
| ln P | Constante e tendência | 6 | -3,642 | -3,691 | -4,572 |
| ln Y | Constante | 0 | -1,038 | -2,992 | 3,738 |
| ln PE | Constante e tendência | 5 | -3,664 | -3,674 | -4,533 |

Desta forma, análogo ao trabalho de Schmidt e Lima (2004), podemos admitir que o critério de escolha dos termos da equação foi a significância estatística. Assim, caso a hipótese nula em que a tendência tem capacidade explicativa não seja rejeitada, o teste de Dickey Fuller admitirá constante e tendência. Nesse sentido, a variável *dummy* de quebra estrutural – a fim de representar o racionamento do ano de 2001, como fora analisado no artigo de Siqueira, Cordeiro Júnior e Castelar (2006) – obteve o mesmo tratamento, seguindo assim o trabalho de Perron (1989) na adaptação do teste de Dickey Fuller em séries com choques estruturais.

Em seguida, conforme aplicado no estudo de Schmidt e Lima (2004) para definir o melhor número de defasagens, foi inicialmente considerado o critério de informação Akaike limitado à 6 defasagens. Depois, foi testado reduzir as defasagens até que a última considerada tenha um coeficiente significativo em 10%.

A série da demanda, transformada por logaritmo neperiano, obteve maior nível de especificação com a presença de tendência. No entanto, não é possível rejeitar a hipótese nula de presença de raiz unitária a 5% quando não é

considerado a presença de quebra estrutural. Contudo, ao utilizar a melhor especificação para o teste, somente não se rejeitaria a hipótese nula ao nível de significância de 1%. Desse modo, pode ser considerada estacionária ou não, pois ficará a critério subjetivo de análise. Nas séries transformadas por logaritmo, preço médio real de energia elétrica, renda real *per capita* e preço de eletrodomésticos não foi possível rejeitar a hipótese nula de não estacionariedade ao nível de significância de 5%.

Os artigos de Andrade e Lobão (1997) e Siqueira, Cordeiro Júnior e Castelar (2006) não rejeitaram a hipótese nula em que as séries possuíam raiz unitária a 5% para nenhuma variável, no entanto, Schmidt e Lima (2004) identificaram que a série transformada para logaritmo do consumo de energia elétrica não seria estacionária ao nível de significância de 5% como fora encontrado no presente trabalho. Diante disso, prossegue-se de acordo com o trabalho de Schmidt e Lima (2004) em que foi realizada a análise das variáveis em primeira diferença.

Tabela 9: Análise em primeiras diferenças.

| Variável | Termos da equação | Defasagens | Estatística t - | Valor Crítico | |
|----------|--|------------|-----------------|---------------|--------|
| | | | ADF | 5% | 1% |
| ln D | Constante e dummy de quebra estrutural | 0 | -7,103 | -4,444 | -4,949 |
| ln P | Constante | 4 | -3,163 | -3,030 | -3,832 |
| ln Y | Constante | 0 | -2,667 | -2,998 | -3,753 |
| ln PE | Constante | 6 | -3,359 | -3,052 | -3,89 |

No resultado do teste ADF nas primeiras diferenças, a série transformada por logaritmo neperiano do consumo de energia elétrica é estacionária em primeira diferença ao nível de significância de 1%, ao passo que a série de preço médio da energia elétrica e preços de eletrodomésticos com o mesmo tratamento aplicado à série de consumo – transformação logarítmica – obtém-se que seria rejeitada a condição de não estacionariedade somente ao nível de significância de 5%.

A variável renda real *per capita*, transformada por logaritmo, através do teste ADF em primeira diferença admitiria rejeição da hipótese nula caso seja considerada com o nível de significância de 10%. No entanto, é importante ressaltar que as séries consideradas neste trabalho são menores se comparado aos trabalhos aqui relacionados. Dessa forma, há a possibilidade de que seja

identificada a raiz unitária para o teste desta amostra e que ao se utilizar uma amostra mais ampla obtém-se o resultado divergente em que são estacionárias em primeira diferença. Logo, conforme argumentado no trabalho de Schmidt e Lima (2004), as séries econômicas utilizadas neste trabalho, em geral, possuem ordem de integração igual a um. Nesse sentido, é possível verificar o resultado do teste multiequacional de Johansen para cointegração.

Tabela 10: Critérios de Informação para especificação de defasagem.

| Critério de Informação | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Tendência da série: | Sem tendência | Sem tendência | Linear | Linear | Quadrática |
| Caracterização | Sem Intercepto Sem tendência | Com Intercepto Sem tendência | Com Intercepto Sem tendência | Com Intercepto Com tendência | Com Intercepto Com tendência |
| <i>Log Likelihood</i> | | | | | |
| Defasagem | | | | | |
| 0 | 166,09 | 166,09 | 175,86 | 175,86 | 179,71 |
| 1 | 177,27 | 185,67 | 195,44 | 195,44 | 198,40 |
| 2 | 186,87 | 196,84 | 206,24 | 206,32 | 208,86 |
| 3 | 192,05 | 206,37 | 209,36 | 212,42 | 214,95 |
| 4 | 192,70 | 209,43 | 209,43 | 215,53 | 215,53 |
| Critério de Informação Akaike | | | | | |
| Defasagem | | | | | |
| 0 | -12,19 | -12,19 | -12,71 | -12,71 | -12,70 |
| 1 | -12,47 | -13,15 | -13,76 | -13,67 | -13,67 |
| 2 | -12,62 | -13,34 | -14,02 | -13,84 | -13,89 |
| 3 | -12,36 | -13,39 | -13,57 | -13,58 | -13,72 |
| 4 | -11,70 | -12,85 | -12,85 | -13,05 | -13,05 |
| Critério de Informação de Schwarz | | | | | |
| Defasagem | | | | | |
| 0 | -10,60 | -10,60 | -10,93 | -10,93 | -10,72 |
| 1 | -10,50 | -11,12 | -11,60 | -11,44 | -11,29 |
| 2 | -10,24 | -10,87 | -11,44 | -11,17 | -11,12 |
| 3 | -9,59 | -10,47 | -10,60 | -10,46 | -10,55 |
| 4 | -8,52 | -9,48 | -9,49 | -9,48 | -9,48 |

No intuito de definir as defasagens a serem utilizadas para melhor especificação para o teste, foram realizados os testes de critério de informação e foi considerado o resultado mais parcimonioso. Desse modo, pelo critério Akaike seriam utilizados duas defasagens e um modelo com tendência linear da variável em nível com intercepto. No entanto, de modo mais parcimonioso, o menor valor para o critério de Schwarz ocorreu no modelo linear com intercepto, sem tendência no vetor auto-regressivo, com apenas uma defasagem.

Tabela 11: Teste de Cointegração de Johansen

| Teste de cointegração de Johansen | | | | |
|-----------------------------------|----------------------|---------------------|-----------|---------|
| Teste do Traço | | | | |
| Hipótese Nula | Estatística do teste | Valor crítico (95%) | Autovalor | P-valor |
| $r = 0$ | 59,49 | 47,85 | 0,829 | 0,003 |
| $r \leq 1$ | 18,9 | 29,80 | 0,439 | 0,050 |
| $r \leq 2$ | 5,59 | 15,50 | 0,201 | 0,743 |
| $r \leq 3$ | 0,44 | 3,84 | 0,019 | 0,505 |
| Teste do Traço | | | | |
| Hipótese Nula | Estatística do teste | Valor crítico (95%) | Autovalor | P-valor |
| $r = 0$ | 40,59 | 27,58 | 0,829 | 0,001 |
| $r \leq 1$ | 13,31 | 21,13 | 0,439 | 0,425 |
| $r \leq 2$ | 5,15 | 14,26 | 0,201 | 0,723 |
| $r \leq 3$ | 0,44 | 3,84 | 0,019 | 0,505 |

Nota: "r" representa o posto de cointegração

Os testes do traço e do máximo autovalor foram aplicados como desenvolvido em Johansen e Juselius (1990), e seus resultados indicam que ao nível de significância de 1% em ambos é rejeitada a não existência de nenhum vetor de cointegração. No entanto, não é possível rejeitar a hipótese que o máximo de vetores de cointegração é um. Dessa forma, é possível concluir, através dos testes de ADF e de Johansen, que as séries são cointegradas em ordem 1.

A partir disso, é realizado a estimação por *Fully-Modified Ordinary Least Squares*, como desenvolvido por Phillips e Hansen (1990) e analisado em Hansen (1992). Este método foi escolhido por gerar um estimador capaz de lidar com a correlação de longo prazo presente na equação cointegrada. Os resultados são indicados na Tabela 12, abaixo.

Tabela 12: Coeficientes Estimados - FMOLS

| Coeficientes - Fully Modified Ordinary Least Squares (FMOLS) | | | |
|--|-------------|---------------|---------|
| Variável | Coeficiente | Estatística-t | P-valor |
| Tarifa Média | -0,107 | -0,641 | 0,529 |
| Renda PC | 0,560 | 4,978 | 0,000 |
| Preço Eletrodomésticos | -0,296 | -3,821 | 0,001 |
| Intercepto | 2,410 | 2,106 | 0,048 |
| R ² | | 0,900 | |
| R ² Ajustado | | 0,885 | |
| Variância de Longo Prazo | | 0,003 | |
| Soma dos Quadrados dos Resíduos | | 0,073 | |

Os coeficientes estimados se encontram com os sinais esperados, ou seja, para um aumento da tarifa média e do preço de eletrodomésticos é esperado um decréscimo do consumo *per capita* de energia elétrica, ao passo que para o aumento da renda *per capita* é esperado um aumento do consumo de energia. Ademais, os valores encontrados se encontram em alinhamento com a literatura nacional apresentada na seção referente à Revisão de Literatura.

No entanto, o nível de significância ao qual poderíamos aceitar o coeficiente estimado para a tarifa média é de 52,9% e deste modo, não é possível aceitar a significância estatística deste coeficiente.

8. Conclusão

Este trabalho buscou encontrar evidências empíricas acerca dos determinantes da demanda por energia elétrica na classe residencial no contexto brasileiro. Para isso, foram utilizadas duas abordagens, uma utilizando uma base em microdados e aplicando uma metodologia de estimação em mínimos quadrados em dois estágios, e a segunda abordagem utilizando uma base de dados agregados para o consumo de energia elétrica para a classe residencial brasileira.

A primeira abordagem encontrou resultados superiores à literatura nacional analisada, em que as elasticidades renda e preço da demanda por energia elétrica foram estimadas em 0,50 e -0,49, respectivamente, em que ambas são aceitas ao nível de significância de 1%. A segunda abordagem utilizada, baseada na literatura nacional consolidada, obteve resultado significativo somente para a elasticidade renda, em 0,55, também acima da literatura, ao passo que o coeficiente estimado em -0,11 para a elasticidade preço não obteve significância estatística suficiente.

Os determinantes do consumo energético pela classe residencial são inúmeros e a multitude de fatores que influenciam a decisão do consumidor é vasta. Neste trabalho, objetivou analisar fatores que possam melhor explicar a decisão do consumidor residencial brasileiro como a inclusão da variável de temperatura média máxima no modelo de microdados conforme proposto por Silva (2013), baseada no trabalho de Eskeland e Midksa (2010).

Por fim, reconhecendo a complexidade do tema, convém ressaltar que diante dos resultados obtidos, a partir de aspectos metodológicos alinhados com a literatura nacional, o presente trabalho intentou fomentar diálogos no campo de estudo da demanda por energia elétrica pelo setor residencial, sobretudo, visando sustentar as discussões do ponto de vista de políticas tarifárias do setor.

9. Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2ed., 2005.

ANDERSON, K. P. Residential Energy Use: An Econometric Analysis. The Rand Corporation, 1973.

ANDRADE, T. A.; LOBÃO, W. J. A. **Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil**. Texto para Discussão nº 489 – IPEA. 1997.

DANTAS, F. C.; COSTA E. M.; SILVA J. L. M. Elasticidade Preço e Renda da Demanda por Energia Elétrica nas Regiões Brasileiras: Uma Abordagem Através de Painel Dinâmico. **Revista de Economia**, v. 43, n.3 2016.

DICKEY, D.; FULLER, W. A. Distributions of the estimates for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, v.74 p. 427-431, 1979.

_____. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. **Econometrica**, v.49 p.1057-1072.

ESKELAND, G. S.; MIDEKSA, T. K. Electricity in a Changing Climate. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**. v.15, p.877-897. 2010.

FISHER, F. M.; KAYSEN, C. A. **A Study in Econometrics**: The Demand For Electricity in the United States. Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1962.

FUGIMOTO, K. F. **Estrutura de Tarifas de Energia Elétrica Análise Crítica e Proposições Metodológicas**. Tese (Doutorado), USP, São Paulo, 2010.

HANSEN B. E. Efficient Estimation and Testing of Cointegrating Vectors in the Presence of Deterministic Trends, **Journal of Econometrics**, v.53, p.87-121. 1992.

HOUTHAKKER, H. S. Some Calculations of Electricity Consumption in Great Britain. **Journal of the Royal Statistical Society**. v.114, p.351-371, 1951.

HOUTHAKKER, H. S.; TAYLOR L. D. **Consumer Demand in the United States**. Cambridge: Harvard Univ. Press, 2ed, 1970.

HOUTHAKKER, H. S.; VERLEGER P. K.; SHEEHAN D. P. Dynamic Demand Analyses for Gasoline and Residential Electricity. **Data Resources**, 1973.

IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento. **Pesquisa de orçamentos familiares: 2017-2018: perfil das despesas no Brasil**: indicadores selecionados de alimentação, transporte, lazer e inclusão financeira. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento. **Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018: primeiros resultados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

JOHANSEN, S.; JUSELIUS K. **Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration – with Applications to the Demand for Money**. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, v.52, p.169-210, 1990.

LINS, F. E. **Demanda por Energia Elétrica Residencial Urbana no Brasil: Uma Análise Baseada nos Microdados das POFs 2002-2003 e 2008-2009.** Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

MODIANO, E. M. (1984). **Elasticidade-renda e preço da demanda de energia elétrica no Brasil.** Texto para discussão nº 68, Departamento de economia – PUC/RJ.

PHILLIPS P. C. B.; HANSEN B. E. Statistical Inference in Instrumental Variables Regression with I(1) Processes, **Review of Economics Studies**, v.57 p.99-125, 1990.

PHILLIPS, P. C. B.; MOON, H. R. Linear Regression Limit Theory for Nonstationary Panel Data, **Econometrica**, v.67, p.1057-1111.

PONTE, A. D. **Estimação de elasticidade para a classe residencial de energia elétrica.** Dissertação (Mestrado), Insper, São Paulo, 2018.

REISS, P. C.; WHITE, M. W. Household Electricity Demand, Revisited. **Review of Economic Studies** (2005) 72, p. 853-883

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

SILVA, N. R. **Demanda de Energia Elétrica Residencial no Brasil Segundo os Quantis de Consumo.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

SILVA, N. R. **Demanda de Energia Elétrica Residencial no Brasil Segundo os Quantis de Consumo.** Dissertação (Mestrado), UFV, Viçosa, 2013.

SIQUEIRA, M. L.; CORDEIRO JÚNIOR 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.

TAYLOR, L. D. The Demand for Electricity: A Survey. **The Bell Journal of Economics**, v.6, p.74-110, Spring 1975.

UHR, D. A. P.; CHAGAS, A. L. S.; UHR, J. G. Z. Demand for Residential Energy in Brazil Revisited: A Dynamic Panel Data Approach. **The Empirical Economics Letters**. 2017

WILSON, J. W. Residential Demand for Electricity. **Quartely Review of Economics and Business**. Vol. 1, nº 1, p. 7-22, 1971.

Apêndice

Gráfico 7: Participação no consumo de energia elétrica

