

Consumo de eletricidade e PIB: uma análise em dados em painel para o Brasil no período de 2002 a 2015

Barbosa, Paulo André M.
Profeta, Graciela Aparecida
Santos, Vladimir Faria dos

Resumo

Estudos que abordam o consumo de energia como um fator preponderante para explicar os processos de desenvolvimento e crescimento socioeconômico vêm ganhando espaço na literatura ao longo dos últimos anos. A eletricidade, por exemplo, é muitas vezes referida como um importante insumo de infraestrutura econômica dado seu impacto direto sobre a produção dos meios de subsistência. O Brasil, devido às suas proporções continentais, apresenta um cenário de grande heterogeneidade socioeconômica entre suas regiões geográficas, característica essa que pode se refletir em variações significativas na relação entre o consumo de energia elétrica e o crescimento econômico de uma localidade para outra. Desse modo, partindo de uma estrutura de produção agregada neoclássica de um setor, esse estudo buscou analisar a relação entre as diferentes classes de consumo de energia elétrica (residencial, comercial, industrial e outros) e o Produto Interno Bruto (PIB) real *per capita* a partir de dados referentes às cinco regiões geográficas (Norte, Nordeste, Sul, Centro-Oeste e Sudeste) que compõe o território brasileiro por meio de uma abordagem de dados em painel. Os resultados mostraram que das quatro classes que compõe o consumo total de energia elétrica, apenas duas foram estatisticamente significativas em relação ao PIB *per capita*, sendo estas as classes comercial e residencial. A primeira apresentou uma relação positiva com PIB *per capita* que pode ser atribuída ao fato de que um aumento no consumo de energia do setor elétrico seja reflexo de um aumento da oferta de bens e serviços, já a segunda apresentou uma relação negativa, que pode ser interpretada pelo fato de que ao elevarem seu consumo de energia, as famílias estariam destinando uma parcela menor de sua renda para o consumo de bens e serviços produzidos por outros setores, ocasionando um impacto negativo no crescimento econômico.

Palavras-Chave: Energia Elétrica, PIB *per capita*, Dados em Painel, Brasil.

Abstract

Studies that approach energy consumption as a major factor to explain the processes of development and socioeconomic growth have been gaining space in the literature over the past few years. Electricity, for example, is often referred to as an important input for economic infrastructure, given its direct impact on livelihood production. Brazil, due to its continental proportions, presents a scenario of great socioeconomic heterogeneity between its geographic regions, a characteristic that can be reflected in significant variations in the relationship between the consumption of electricity and economic growth from one location to another. Thereby, starting from a neoclassical aggregated production structure of a sector, this study sought to analyze the relationship between the different classes of electricity consumption (residential, commercial, industrial and others) and the real Gross Domestic Product (GDP) per capita from data referring to the five geographic regions (North, Northeast, South, Midwest and Southeast) that make up the Brazilian territory through a panel data approach. The results showed that of the four classes that make up the total consumption of electricity, only two were statistically significant in relation to GDP per capita, these being the commercial and residential classes. The first presented a positive relationship with GDP per capita that

can be attributed to the fact that an increase in energy consumption in the electricity sector reflects an increase in the supply of goods and services, while the second presented a negative relationship, which can be interpreted by the fact that by raising their energy consumption, families would be allocating a smaller portion of their income to the consumption of goods and services produced by other sectors, causing a negative impact on economic growth.

Keywords: Electricity, GDP per capita, Panel data, Brazil.

Resumen

Los estudios que abordan el consumo de energía como un factor importante para explicar los procesos de desarrollo y crecimiento socioeconómico han ido ganando espacio en la literatura en los últimos años. La electricidad, por ejemplo, a menudo se conoce como un importante aporte de infraestructura económica dado su impacto directo en la producción de medios de vida. Brasil, debido a sus proporciones continentales, presenta un escenario de gran heterogeneidad socioeconómica entre sus regiones geográficas, una característica que puede reflejarse en variaciones significativas en la relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico de un lugar a otro. Así, a partir de una estructura de producción agregada neoclásica de un sector, este estudio buscó analizar la relación entre las diferentes clases de consumo de electricidad (residencial, comercial, industrial y otros) y el Producto Interno Bruto (PIB) real per cápita a partir de datos que se refieren a las cinco regiones geográficas (Norte, Noreste, Sur, Medio Oeste y Sudeste) que conforman el territorio brasileño a través de un enfoque de panel de datos. Los resultados mostraron que de las cuatro clases que conforman el consumo total de electricidad, solo dos fueron estadísticamente significativas en relación con el PIB per cápita, siendo estas las clases comerciales y residenciales. El primero presentó una relación positiva con el PIB per cápita que puede atribuirse al hecho de que un aumento en el consumo de energía en el sector eléctrico refleja un aumento en la oferta de bienes y servicios, mientras que el segundo presentó una relación negativa, que puede ser interpretado por el hecho de que al aumentar su consumo de energía, las familias estarían asignando una porción más pequeña de sus ingresos al consumo de bienes y servicios producidos por otros sectores, causando un impacto negativo en el crecimiento económico.

Palabras clave: electricidad, PIB per cápita, datos del panel, Brasil.

INTRODUÇÃO

A importância do consumo de energia elétrica em países em desenvolvimento como o Brasil, tem sido vista ao longo dos últimos anos como um fator significativo, dado o importante papel que a energia desempenha como insumo de infraestrutura¹ vital para os processos de crescimento e desenvolvimento socioeconômico.

Na literatura econômica encontram-se, basicamente, duas vertentes que podem ser usadas para analisar a relação entre consumo de energia e crescimento econômico. A primeira descreve o papel da energia como sendo mínimo ou neutro em relação aos demais insumos de infraestrutura, o que decorre do fato de que o consumo de energia, em particular, a elétrica, não afeta o crescimento econômico, uma vez que a energia representa uma parcela muito pequena do produto interno bruto de um país. Nesse cenário, entende-se que, à medida que uma economia cresce, é provável que sua estrutura produtiva se concentre cada vez mais no setor de serviços que, em comparação ao setor industrial, não necessita de um uso muito intensivo de energia.

Para essa primeira vertente, a análise de causalidade consiste na abordagem mais comumente utilizada na literatura para determinar qual o papel da energia na sua relação com o crescimento econômico. Mehrara (2007), ao analisar um grupo de 11 países exportadores de petróleo, encontrou evidências de causalidade unidirecional do PIB real *per capita*² para o consumo de energia comercial *per capita*, ou seja, o consumo de energia apresentou pouco ou nenhum efeito sobre o crescimento econômico. Resultado semelhante também foi encontrado por Huang et al. (2008), ao estudar um apanhado de países com diferentes níveis de renda nacional a partir de uma abordagem de dados em painel dinâmico. Fernandes e Reddy (2020) investigaram a relação entre consumo de energia e crescimento econômico utilizando o teste de causalidade de Toda Yamamoto para alguns países da Ásia recém-industrializados. Seus resultados mostraram haver uma relação causal unidirecional do PIB para o consumo de energia em alguns países. Alsaedi e Tularam (2020), ao empregarem o teste de causalidade de Granger, encontraram uma relação de causalidade partindo do PIB para o consumo de eletricidade na Arábia Saudita.

Já a segunda vertente considera o consumo de energia como o principal meio para alcançar o crescimento econômico. Nesse cenário, espera-se que a energia desempenhe papel fundamental no alcance do progresso econômico, social e tecnológico, bem como complemente os insumos

¹ Entende-se por insumo de infraestrutura produtos e serviços como transporte, comunicação, saneamento, energia, entre outros (BRAMBILLA e MUELLER, 2004).

² PIB *per capita* corresponde ao PIB dividido pela quantidade de habitantes de um país ou região.

capital e trabalho no processo de produção, principalmente em países em desenvolvimento, como o caso do Brasil (GADELHA e CERQUEIRA, 2013).

Trabalhos como o de Xavier (2012), Gadelha e Cerqueira (2013) e Barbosa (2019) mostraram haver uma relação causal unidirecional do consumo de energia elétrica para o crescimento econômico, ao analisar o território brasileiro. O primeiro trabalho analisou a relação entre consumo de energia e a produção física industrial (utilizada pelo autor como *proxy* do crescimento econômico) na região Nordeste do Brasil. O segundo estudou a relação entre consumo de eletricidade e PIB real para a Região Sudeste. O terceiro investigou a relação entre o consumo de eletricidade e PIB real *per capita* no Brasil, entre os anos de 1952 a 2010. Os resultados sugerem que, no caso do Brasil, para haver crescimento econômico é necessário que antes haja uma oferta de energia elétrica suficiente para atender a demanda proveniente desse crescimento.

Para o cenário internacional merecem destaque outros trabalhos que também encontraram resultados que mostram uma relação de dependência do crescimento econômico em relação ao consumo de energia em diferentes países e regiões. Al-Mulali et al. (2019), ao investigarem o nexo causal entre crescimento e eletricidade nos países membros do Conselho de Cooperação do Golfo (CCG), descobriram que o consumo de eletricidade tem um efeito positivo sobre o PIB dos países membros no longo prazo. Thaker et al. (2019), ao examinarem a relação entre energia e crescimento na Malásia, constataram a presença de causalidade unidirecional de Granger indo do consumo de eletricidade ao PIB real, mas não vice-versa. Ali et al. (2020), ao analisarem a relação entre consumo de eletricidade e PIB *per capita*, constataram que o consumo de eletricidade leva ao crescimento econômico no Paquistão.

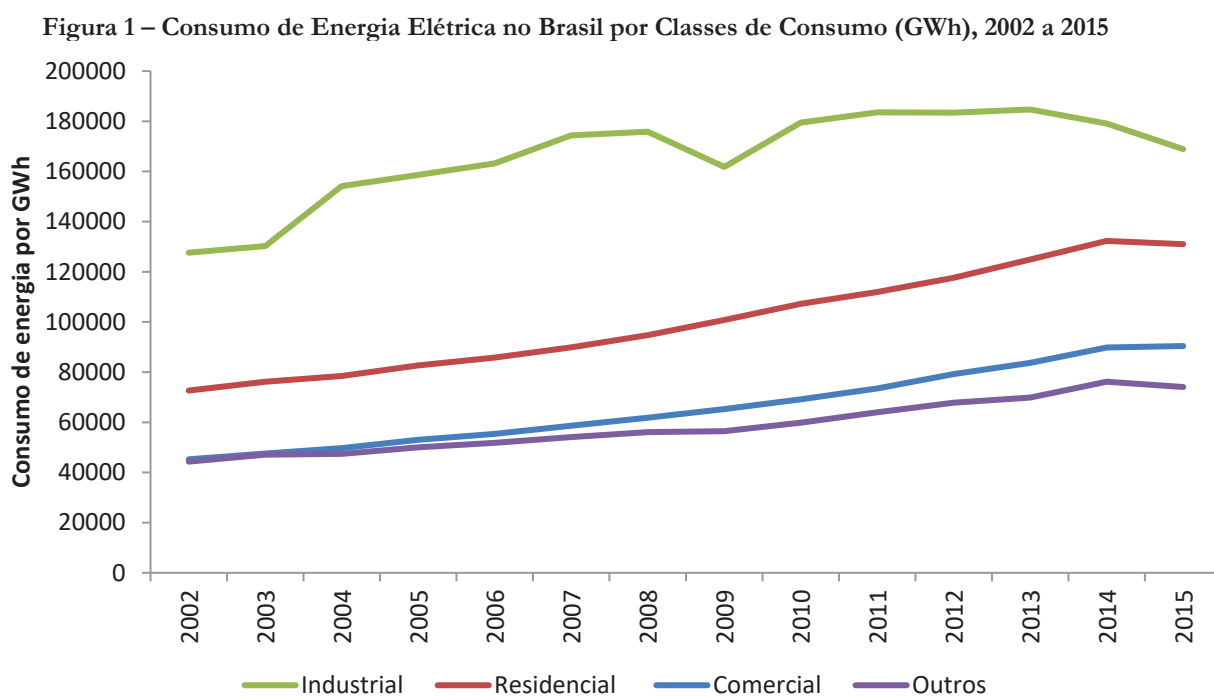
Devido às suas proporções continentais, o território brasileiro apresenta um cenário de grande heterogeneidade socioeconômica entre as regiões que o compõem. Essa característica pode refletir em variações na relação entre a energia elétrica e o crescimento econômico de uma localidade para a outra. Desse modo, tendo como base a segunda vertente apresentada - escolha alicerçada nos trabalhos de Xavier (2012), Gadelha e Cerqueira (2013) e Barbosa (2019) para o Brasil - e uma estrutura de produção agregada neoclássica de um setor, onde capital, trabalho e energia são tratados como insumos separados, esse estudo buscou determinar o impacto das diferentes classes de consumo de energia elétrica (residencial, comercial, industrial e outros³) sobre o Produto Interno Bruto (PIB) real *per capita* a partir de dados referentes às cinco regiões geográficas (Norte, Nordeste, Sul, Centro-Oeste e Sudeste) que compõe o território brasileiro e, para tanto, usou-se de uma abordagem econométrica aplicada a dados em painel.

³ (Rural + Iluminação Pub. + Serviço Pub. + Poder Pub. + Consumo Próprio).

1. PIB E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E REGIÕES

De acordo com dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2016, disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Brasil contava, até 2015, com mais de 206 milhões de habitantes e cerca de 80 milhões de unidades consumidoras de energia elétrica, das quais mais de 85% correspondiam a consumidores residenciais. O país apresentava também uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, onde a geração hidráulica se destacava por responder a 65,8% da oferta interna e mais de 60% da capacidade instalada.

Por sua vez, no período de 2002 a 2015, o consumo final de energia elétrica apresentou uma taxa média de crescimento de 4,30% ao ano, totalizando um aumento de 60,21% ao final de 2015. O elevado padrão de crescimento do consumo desse recurso energético no Brasil pode ser observado na Figura 1, que reproduz o comportamento das quatro classes de consumo analisadas nesse estudo: residencial, comercial, industrial e outros. Considerou-se o período de 2002 a 2015.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

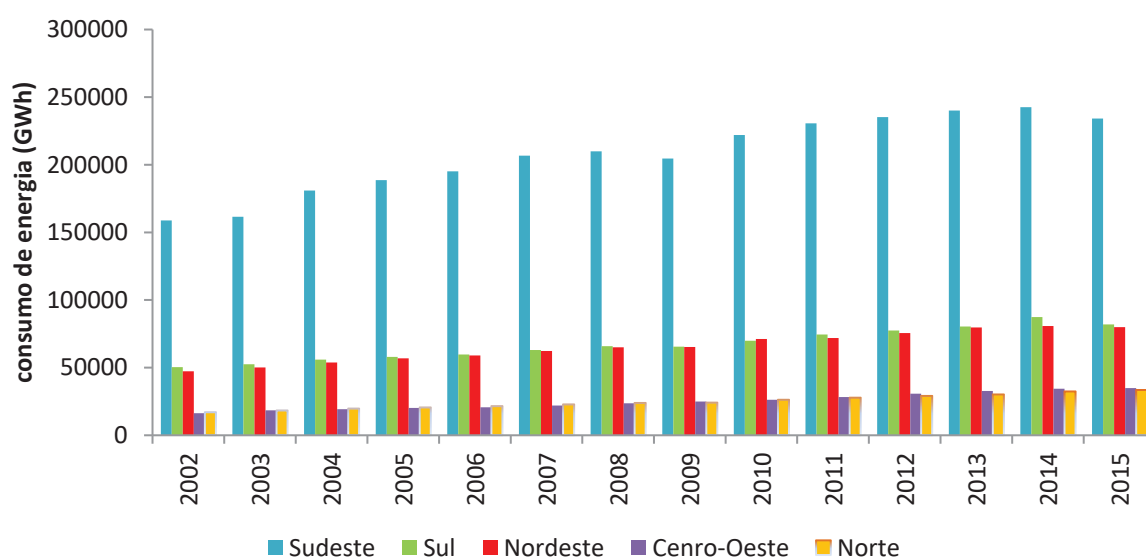
Ao analisar a Figura 1, pode-se observar que a classe comercial apresentou, do ano de 2002 para o ano de 2015, um crescimento no consumo de energia de aproximadamente 99,8%, seguida

da classe residencial com 80,3%, a industrial com 32,3% e outros com 67%. Ressalta-se também que a classe de consumo industrial apresentou o nível de consumo mais elevado das quatro, correspondendo a mais de 42% do consumo total acumulado do período, acompanhada pela classe residencial, responsável por 26%, e a classe comercial e outros por 17% e 15%, respectivamente.

Das cinco regiões geográficas que compõem o Brasil, a Região Sudeste se destaca em todos os segmentos do setor elétrico brasileiro, a saber: geração, consumo, transmissão e distribuição, além de ser a região mais desenvolvida em termos econômicos e sociais, concentrando pouco mais de 50% do PIB brasileiro no ano de 2015 (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2016).

A participação de cada região geográfica do Brasil, de 2002 a 2015, no consumo total de energia elétrica do país pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 – Consumo Total de Energia Elétrica no Brasil por Região (GWh), 2002 a 2015



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

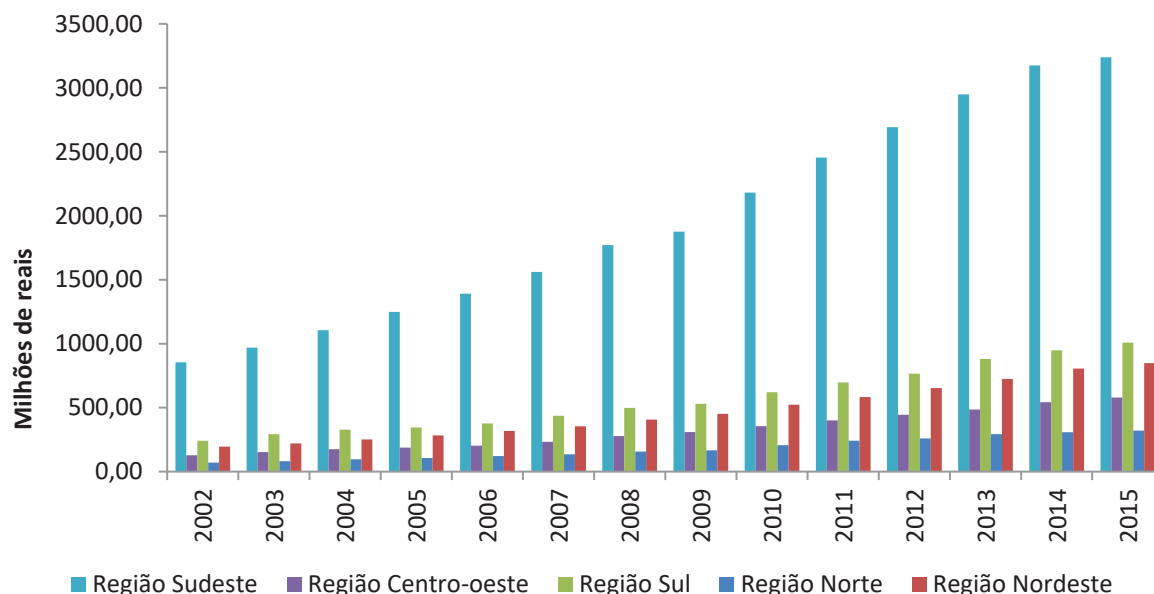
Conforme pode-se notar ao examinar a Figura 2, o Sudeste do Brasil é a principal região consumidora de energia do país, respondendo por pouco mais de 53% da carga do Sistema Integrado Nacional (SIN), no período de 2002 a 2015. Em se tratando das demais regiões, o Sul foi responsável por pouco mais de 17% do consumo total de energia, acompanhada do Nordeste com 16,8%, Centro-Oeste com 6,4% e a Região Norte com 6,3%.

Destaca-se, de acordo com dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2016, que mais da metade do PIB brasileiro advém do Sudeste e a relação dos cinco maiores PIBs do Brasil, que nunca mudou desde 2002, continua se concentrando entre

os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Rio grande do Sul e Paraná. A participação destes estados, em 2002, correspondia a 68,1% do PIB, e foi para 64,9% em 2015.

A distribuição do PIB real brasileiro entre suas regiões geográficas para o período analisado pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 – PIB real no Brasil por Região (R\$), 2002 a 2015



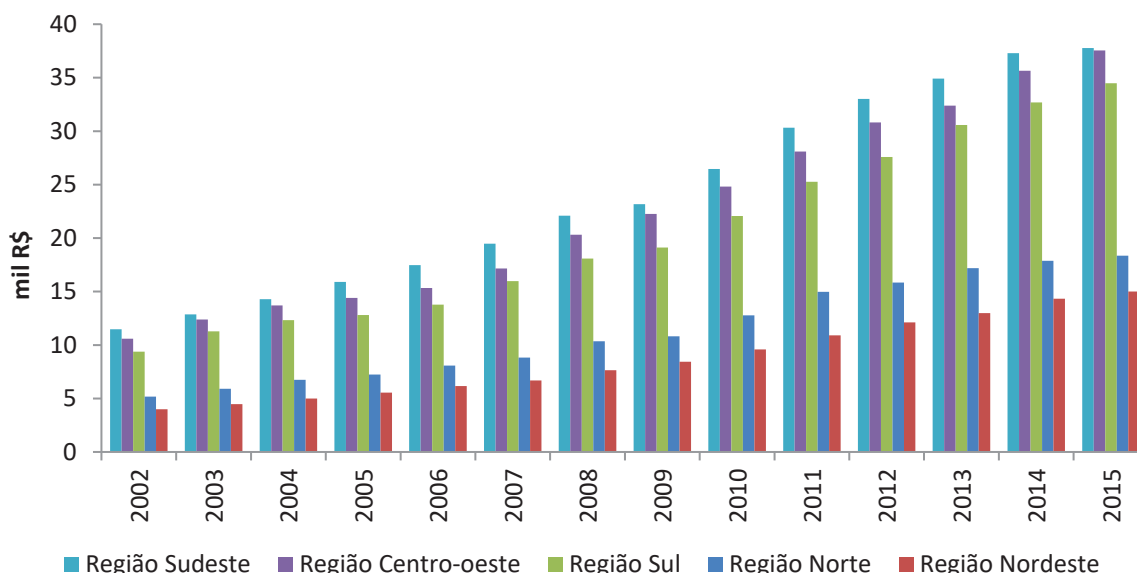
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

Conforme a Figura 3, notou-se que mesmo concentrando mais da metade do PIB brasileiro, a Região Sudeste vem perdendo participação ao longo dos anos. Em 2002, o Sudeste era responsável por 57,4% do PIB, reduzindo sua participação para 54% em 2015. Enquanto isso, embora a Região Norte tenha a menor participação no PIB brasileiro, foi a que apresentou maior crescimento no período analisado, seguido do Centro-Oeste e Nordeste. A participação do Norte, em 2002, foi de 4,7% para 5,4% em 2015. Os dados evidenciam uma desconcentração da economia, ainda que “tímida”, mas constante nos últimos anos.

Cabe destacar que a heterogeneidade do território brasileiro se estende para além das características econômicas, como a distribuição do PIB apresentada anteriormente. A distribuição da população entre as regiões também é bastante desigual. A Região Sudeste, por exemplo, além de concentrar a maior parcela do PIB também concentra a maior parcela da população, chegando a 41,9% em 2015, seguida pelo Nordeste com 27,7% e o Sul com 14,4%.

Para visualizar essa heterogeneidade entre as regiões que compõe o território brasileiro, principalmente no que se refere ao aspecto econômico, pode-se comparar a distribuição regional do PIB e do PIB *per capita*, de 2002 a 2015, como apresentado na Figura 4.

Figura 4 – PIB *per capita* no Brasil por Região (R\$), 2002 a 2015



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da pesquisa.

A partir da análise da Figura 4, pode-se observar que o Sudeste, em termos do PIB *per capita*, ainda é a região com a maior importância econômica, apresentando um valor médio para o período de 2002 a 2015 de aproximadamente R\$24 mil, seguida de perto pelas Regiões Centro-Oeste e Sul com R\$22 mil e R\$20 mil respectivamente. Já a Região Nordeste foi a que apresentou maior aumento no produto *per capita*, cerca de 276% no período analisado, seguida pela Região Sul, com 267%. Cabe ainda destacar que o Sudeste foi a região que menos cresceu entre 2002 e 2015, cerca de 229%. Ademais, salienta-se que o consumo de energia elétrica total por região e o PIB *per capita* do período 2002 a 2015 podem ser observados na Tabela 1A (Apêndice).

3. BASE TEÓRICA

Com o objetivo de investigar o impacto das diferentes classes de consumo de eletricidade sobre o PIB brasileiro, esse estudo se baseou em uma estrutura de produção agregada neoclássica de um setor.

Uma abordagem convencional dessa estrutura é considerar o produto, Y , sendo determinado pelo estoque de capital, K , e pelo estoque de mão de obra, L . Dentro dessa estrutura, entretanto, é possível incorporar outro insumo de fundamental importância, a energia. Assim, de acordo com Ghali e Sakka (2004) e Sari e Soytas (2007), a função de produção pode ser especificada da seguinte maneira, como exposto na Equação (1).

$$Y_t = f(K_t, L_t, E_t) \quad (1)$$

em que Y é o PIB real, K o estoque de capital, L o nível de emprego; E é o total de consumo de energia; e, o subscrito t denota o período tempo. Tomando a diferencial total de (1), obtém-se a seguinte expressão representada pela Equação (2).

$$\dot{Y}_t = a\dot{K}_t + b\dot{L}_t + c\dot{E}_t \quad (2)$$

em que o ponto a cima das variáveis significa que as mesmas estão na forma de taxa de crescimento. Os parâmetros a , b e c são as elasticidades do produto com respeito ao capital, trabalho e energia, respectivamente. Logo, por meio da Equação (1) e (2) é possível, então, estimar a participação do consumo de energia na determinação do PIB. Essa mesma abordagem também pode ser observada nos estudos de Pala (2020) e Churchill e Ivanovski (2020).

4. METODOLOGIA

O modelo econométrico utilizado nesse estudo é baseado na análise de Dados em Painel⁴, tendo em vista sua utilidade em pesquisas aplicadas que envolvem uma amostra que apresenta característica que podem ser diferentes ao longo do tempo e entre as unidades, como pode ser o caso das regiões do Brasil. Em outras palavras, tal estrutura exige uma combinação de dados de séries temporais com uma análise de seção cruzada.

Salienta-se que o uso de dados em painel apresenta diversas vantagens, pois permite examinar um número maior de observações com mais e melhores informações, suporta um maior número de variáveis, e os dados possuem menor multicolinearidade entre as variáveis explicativas, assim como maior eficiência na estimação. Diferentemente do modelo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), o modelo de dados em painel leva em consideração a existência dos problemas de autocorrelação e heterocedasticidade, tanto dentro, quanto entre os grupos, ou ambas as situações simultaneamente (CORREIA, 2014).

⁴ Para mais detalhes ver Gujarati (2011).

Contudo, cabe também destacar que a metodologia de dados em painel não está isenta de problemas e pode apresentar limitações, como: problemas de cobertura - contabilização incompleta da população de interesse; tempo das séries temporais curto - esta situação é típica em dados em micro painel, devido aos dados serem anuais e desta forma cobrirem um curto espaço de tempo para cada indivíduo; e a dependência de dados em *cross-section* - dados em painel a nível macro de países ou regiões com séries temporais longas que não contabilizam a dependência de *cross-country* podem levar a uma conclusão enganosa (LOPES, 2013).

4.1. Teste de Raiz Unitária

Por se tratar de uma análise que envolve dados agrupados ao longo do tempo, um primeiro e importante passo antes da estimação de um modelo de dados em painel é a realização do teste de raiz unitária, de forma a assegurar que todas as variáveis apresentem as mesmas propriedades ao longo do tempo, e que essas sejam estacionárias. Sendo assim, o teste de raiz unitária empregado nesse estudo foi o teste de Levin-Lin-Chu⁵ (LLC), cujo ponto de partida é a regressão dada por:

$$\Delta y_{it} = \phi y_{i,t-1} + z'_{it} \gamma_i + \sum_{j=1}^{p_i} \theta_{ij} \Delta y_{i,t-j} + u_{it} \quad (3)$$

O teste LLC assume que o termo de erro é distribuído de forma independente através de painéis e segue um processo estacionário de modo que com muitas defasagens de Δy_{it} incluído no modelo acima, garantirá o termo de erro sendo um ruído branco⁶, e, portanto, implica em variância heterogênea entre painéis. A hipótese nula do teste considera que os painéis contêm raiz unitária, enquanto a hipótese alternativa considera que os painéis são estacionários.

4.2. Especificação do Modelo

Para analisar de forma econométrica o impacto das diferentes classes de consumo de energia elétrica sobre o PIB real *per capita* do Brasil, foi utilizada uma série de tempo com dados anuais de janeiro de 2002 a dezembro de 2015. Desse modo, o painel se compôs de cinco ($i=5$) regiões geográficas para um período de 14 anos ($t=14$), contabilizando 70 observações ($N = iT$).

⁵ Para mais detalhes ver Levin, Lin e Chu (2002).

⁶ Uma série temporal y_t é chamada de ruído branco se $\{y_t\}$ for uma sequência de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas com média zero e variância constante.

Assim, o modelo de regressão, via dados em painel, estimado nesse estudo está apresentado na Equação (4).

$$\text{LPIBPER}_{it} = \beta_0 + \beta_{1t} \text{LCECO}_{it} + \beta_{2t} \text{LCERE}_{it} + \beta_{3t} \text{LCEIN}_{it} + \beta_{4t} \text{LCEOU}_{it} + \epsilon_{it}$$

(4)

em que: LPIBPER_{it} refere-se ao logaritmo do produto interno bruto (PIB) *per capita* de cada região (i) no período (t); LCECO_{it} corresponde ao logaritmo do consumo de energia comercial; LCERE_{it} denota o logaritmo do consumo de energia residencial; LCEIN_{it} diz respeito ao logaritmo do consumo de energia industrial; e LCEOU_{it} corresponde ao logaritmo do consumo de energia das demais (ou outras) classes de consumo. ϵ_{it} refere-se ao termo de erro estocástico para a região (i) no tempo (t) e os β'_s são os parâmetros a serem estimados.

Destaca-se que para estimação correta dos parâmetros da Equação (4) é necessário escolher o melhor modelo de dados em painel de acordo com suas suposições e a qualidade do ajustamento. Nesse estudo foram considerados e testados três modelos principais de dados em painel: modelo de Mínimos Quadrados Agrupados ou modelo “*Pool*”; modelo de Efeitos Fixos (EF); e o modelo de Efeitos Aleatórios (EA).

As principais características de cada modelo podem ser resumidas da seguinte forma: i) modelo “*Pool*” - a estimação é feita assumindo que a constante ou intercepto (β_0) é comum para todos os indivíduos, ou seja, assume-se que todos os elementos da amostra possuem comportamento idêntico, além de não considerar o efeito do tempo e nem o efeito individual de cada unidade; ii) modelo de Efeitos Fixos - a estimação é feita assumindo que a heterogeneidade dos indivíduos é captada na parte constante (β_0), que é diferente de indivíduo para indivíduo, o que permite detectar diferenças invariantes no tempo; e, iv) modelo de Efeitos Aleatórios - a estimação é feita introduzindo a heterogeneidade dos indivíduos no termo de erro (ϵ_{it}). Esse modelo considera a constante não como um parâmetro fixo, mas como um parâmetro aleatório não observável.

Para determinar qual dos três modelos é o mais adequado, existem três testes principais que podem ser aplicados: o teste de Chow (teste F restrito), cuja hipótese nula é de que o modelo “*Pool*” é o mais indicado enquanto a hipótese alternativa refere-se ao modelo EF como o mais consistente; o teste de Hausman, onde a rejeição da hipótese nula de que o modelo EA seja consistente, indica a existência de EF; e o teste LM de Breusch-Pagan, onde a rejeição da hipótese nula de que o

modelo “Pool” seja o mais apropriado, indica que a hipótese alternativa de um modelo EA é o mais adequado (GUJARATI, 2011).

4.3. Descrição das Variáveis e Fonte de Dados

Os dados utilizados para análise empírica correspondem a séries anuais do PIB real, população e consumo de eletricidade por classe (residencial, comercial, industrial e outros) para as cinco regiões geográficas (Norte, Nordeste, Sul, Centro-Oeste e Sudeste) que compõe o Brasil, de janeiro de 2002 a dezembro de 2015. Os dados referentes ao PIB real (deflacionado de acordo com o IGP-DI) e a população foram coletados no *site* do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), enquanto os dados referentes ao consumo de eletricidade por classe foram coletados no *site* do Banco Central do Brasil.

A escolha do período analisado (2002 a 2015) se deve ao fato de ser um período de maior estabilidade econômico-financeira do Brasil e do setor energético, tendo em vista a consolidação do Plano Real e a reestruturação do setor energético ocorridos ao final dos anos 1990 e também por ser um período pré-crise político-econômica que teve início a partir 2015, e também devido à disponibilidade dos dados.

Cabe enfatizar que as variáveis foram trabalhadas em sua forma logarítmica. Logo, os coeficientes estimados retratam as elasticidades. Em tempo, para realização dos procedimentos e testes de dados em painel mencionados acima, utilizou-se o programa estatístico *Gretl*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como um primeiro passo antes da estimação dos modelos de dados em painel, foi realizado o teste Levin-Lin-Chu (LLC) de raiz unitária. Os resultados encontrados podem ser observados na Tabela (1).

Tabela 1 – Resultado do teste Levin-Lin-Chu (LLC) de raiz unitária

| Variáveis | Em Nível | | |
|-----------|---------------|---------------|---------------------------|
| | Sem constante | Com constante | Com constante e tendência |
| LPIBPER | -0,0077* | -0,3821 NS | -0,6219** |
| LCECO | -0,0076*** | -0,0608 NS | -0,6450** |
| LCERE | -0,0075*** | 0,0876 NS | -0,1851 NS |
| LCEIN | -0,0151*** | -0,1103 NS | -0,5528 NS |
| LCEOU | -0,0155*** | -0,1752** | -0,9277* |

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Nota 1: (NS), (*), (**), (***) refere-se a não significativo e à significativo a 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Nota 2: LPIBPER – Produto Interno Bruto per capita (forma log); LCECO – consumo de energia elétrica comercial (forma log); LCERE – consumo de energia elétrica residencial (forma log); LCEIN – consumo de energia elétrica industrial (forma log); LCEOU – consumo de energia elétrica outras classes (forma log).

Conforme resultados do teste LLC apresentados na Tabela (1), pode-se observar que ao nível de significância de 10%, todas as variáveis se mostraram estacionárias em nível ao se desconsiderar a constante na equação do teste. Assim, as estimações podem ser realizadas por MQO, EF ou EA.

De forma a escolher o melhor modelo de dados em painel de acordo com suas suposições e a qualidade do ajustamento, o próximo passo foi a estimação dos três principais modelos de dados em painel apresentados anteriormente. Os resultados obtidos a partir dos modelos de MQO, Efeitos Fixos (EF) e Efeitos Aleatórios (EA) foram apresentados de forma resumida na Tabela (2).

Tabela 2 – Resumo das estimativas de MQO, Efeitos Fixos (EF) e Efeitos Aleatórios (EA) para a relação entre PIB *per capita* e as classes de consumo de eletricidade para as regiões do Brasil, no período de 2002 a 2015

| Variável dependente: LPIPER | MQO | Efeitos fixos | Efeitos Aleatórios |
|--------------------------------|------------|-----------------------|-------------------------|
| Constante | 4,4444*** | -11,0356*** | -10,9490*** |
| LCECO | 4,1516*** | 2,1752*** | 2,1923*** |
| LCERE | -2,4642*** | -0,4742** | -0,4863*** |
| LCEIN | -0,6518*** | -0,0178 ^{NS} | -0,0265 ^{NS} |
| LCEOU | -1,0342*** | -0,1469 ^{NS} | -0,1512 ^{NS} |
| R ² | 0,7961 | - | - |
| R ² Ajustado | 0,7836 | - | - |
| R ² Por Dentro | - | 0,9839 | - |
| R ² LSDV | - | 0,9919 | - |
| Teste F | 63,4529*** | 935,0352*** | - |
| Teste LM BP | - | - | Prob> $\chi^2 = 0,0023$ |
| Teste Hausman | - | - | Prob> $\chi^2 = 0,4089$ |
| Nº de Regiões | 5 | 5 | 5 |
| Nº de Observações | 70 | 70 | 70 |

Nota 1: (NS), (*), (**), (***) refere-se a não significativo e à significativo a 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Nota 2: LPIBPER – Produto Interno Bruto per capita (forma log); LCECO – consumo de energia elétrica comercial (forma log); LCERE – consumo de energia elétrica residencial (forma log); LCEIN – consumo de energia elétrica industrial (forma log); LCEOU – consumo de energia elétrica outras classes (forma log).

De acordo com os resultados da Tabela (2), observou-se que os três modelos apresentaram bom ajustamento, dado a significância estatística apresentada pela maioria dos coeficientes estimados e os valores do teste F e do R². Contudo, para escolher qual dos modelos melhor se adequa à realidade do estudo, avaliou-se, via teste LM e de Hausman, qual o melhor modelo a ser utilizado para estimar as relações entre o PIB *per capita* e as classes de consumo de eletricidade.

Os resultados obtidos para o teste LM e de Hausman podem ser observados de forma mais detalhada na Tabela 2A (Apêndice) e apontaram que o modelo EA é preferível ao modelo MQO e que entre os modelos EA e EF, o modelo EA se mostrou o mais adequado. Dessa forma, o estimador de Efeitos Aleatórios (EA) foi o escolhido para realizar as análises acerca da relação entre as variáveis supracitadas. Os resultados estimados podem ser observados na Tabela (3).

Tabela 3 - Estimativa de Efeitos Aleatórios para a relação entre PIB *per capita* e as classes de consumo de eletricidade para as regiões do Brasil, no período de 2002 a 2015

| Variável dependente: LPIPER | Coefficiente | Erro-Padrão | P> z |
|-----------------------------|-----------------------|-------------|-------|
| Constante | -10,9490*** | 0,9181 | 0,00 |
| LCECO | 2,1923*** | 0,2181 | 0,00 |
| LCERE | -0,4863*** | 0,1837 | 0,00 |
| LCEIN | -0,0265 ^{NS} | 0,0786 | 0,74 |
| LCEOU | -0,1512 ^{NS} | 0,1796 | 0,40 |

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Nota 1: (NS), (*), (**), (***) refere-se a não significativo e à significativo a 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Nota 2: LPIBPER – Produto Interno Bruto per capita (forma log); LCECO – consumo de energia elétrica comercial (forma log); LCERE – consumo de energia elétrica residencial (forma log); LCEIN – consumo de energia elétrica industrial (forma log); LCEOU – consumo de energia elétrica outras classes (forma log).

Os resultados da Tabela (3) permitem observar que apenas as classes de consumo de energia elétrica comercial e residencial se mostraram significativas. O consumo comercial demonstra ter impacto positivo sobre o PIB *per capita*, onde um aumento de 1% no consumo de eletricidade dentro dessa classe leva a um aumento no PIB *per capita* de 2,19%, *ceteris paribus*. Já o consumo residencial apresentou um impacto negativo sobre o PIB *per capita*, onde um aumento de 1% no consumo de eletricidade dentro dessa classe leva a uma redução do PIB *per capita* de 0,49%, *ceteris paribus*.

Apesar de corresponder ao maior montante de energia elétrica consumida no período, a classe de consumo industrial não se mostrou significativa em relação ao PIB *per capita* nem mesmo ao nível de 10% de significância estatística, o que pode ser interpretado como um reflexo da participação decrescente do setor industrial no PIB brasileiro nos últimos anos, como destacado pelo relatório publicado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) em 2017. Esse resultado vai contra ao encontrado por Brambilla e Mueller (2004) em seu estudo sobre o impacto da energia elétrica no crescimento econômico do Brasil para o período de 1966-2001. Os autores mostraram que os preços das tarifas médias de energia e o consumo de energia elétrica do setor industrial têm impacto positivo sobre o crescimento econômico do país.

Em tempo, salienta-se que os resultados do presente artigo também mostraram uma não significância estatística da classe de consumo classificada como outros, o que pode ser atribuído ao baixo nível de consumo apresentado por essa classe e a baixa contribuição para o PIB dos setores por ela representados, quais sejam: Rural + Iluminação Pub. + Serviço Pub. + Poder Pub. + Consumo Próprio).

CONCLUSÃO

Esse estudo teve como propósito determinar o impacto das diferentes classes de consumo de energia elétrica (residencial, comercial, industrial e outros) sobre o PIB real *per capita*, a partir de dados referentes às cinco regiões geográficas (Norte, Nordeste, Sul, Centro-Oeste e Sudeste) brasileiras, no período de 2002 a 2015.

Os resultados permitem concluir que das quatro classes que compõe o consumo total de energia elétrica, apenas duas foram estatisticamente significativas em relação ao PIB *per capita*, as classes comercial e residencial. O impacto positivo da classe comercial sobre o PIB *per capita* pode ser atribuído ao fato de que um aumento no consumo de energia do setor elétrico seja reflexo de um aumento da oferta de bens e serviços, o que influenciaria positivamente o crescimento da economia.

Já o impacto negativo sobre o PIB *per capita* apresentado pela classe residencial, pode ser interpretado pelo fato de que ao elevarem seu consumo de energia, as famílias estariam destinando uma parcela menor de sua renda para o consumo de bens e serviços produzidos por outros setores, ocasionando um impacto negativo no crescimento econômico.

No que tange à não significância estatística da classe de consumo industrial em relação ao PIB *per capita* pode ser atribuída à redução da participação do setor industrial na formação do produto nacional durante o período analisado. Quanto à classe de consumo resumida como outros (Rural + Iluminação Pub. + Serviço Pub. + Poder Pub. + Consumo Próprio), a pesar do aumento de 67% no período analisado, esta não apresentou nenhum impacto significativo sobre o PIB *per capita*, o que pode ser atribuído ao fato de que os setores representados por ela são inexpressivos quanto ao montante consumido de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

ALI, S.; ZHANG, J.; AZEEM, A.; MAHMOOD, A. "Impact of Electricity Consumption on Economic Growth: An Application of Vector Error Correction Model and Artificial Neural Networks. *The Journal of Developing Areas*. v. 54, n. 4, p. 89-104, 2020.

AL-MULALI, U.; TANG, C. F.; TAN, B. W.; OZTURK, I. The nexus of electricity consumption and economic growth in Gulf Cooperation Council economies: evidence from non-stationary panel data methods. *Geosystem Engineering*. v. 22 (1), p. 40-47, 2019.

ALSAEDI, Y. H.; TULARAM, G. A. The relationship between electricity consumption, peak load and GDP in Saudi Arabia: A VAR analysis. *Mathematics and Computers in Simulation*. v. 175, p. 164-178, 2020.

BARBOSA, P. A. M. *Relação Entre Consumo de Energia Elétrica e Crescimento Econômico na Região Sudeste do Brasil para o Período de 1995 a 2017*. Dissertação (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2019.

BRAMBILLA, P. H. M.; MUELLER, B. M. P. Impacto da energia elétrica no crescimento econômico. UNOPAR Cient., *Ciênc. Juríd. Empres.*, Londrina, v. 5, p. 33-45, mar. 2004.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). *A Indústria em Números*. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2017/7/a-industria-em-numeros/#a-industria-em-numeros-dezembro-2017%20>. Acesso em 20 de novembro de 2018.

CORREIA, E. A. *Relação Entre Arrecadação do ICMS e o Crescimento Econômico para o Brasil no Período de Janeiro de 2000 a Dezembro de 2010*. Dissertação (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2014.

CHURCHILL, S. A.; IVANOVSKI, K. Electricity consumption and economic growth across Australian states and territories. *Applied Economics*. v. 52, p. 866-878, 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) E MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Anuário estatístico de energia elétrica 2017*. Rio de Janeiro: EPE e MME, 2017.

Bioenergia em Revista: Diálogos, ano/vol. 10, n. 1, p. 92-110, jan./jun. 2020.

Barbosa, P. A.; Profeta, G. A.; Santos, V. F.;

Consumo de eletricidade e PIB: uma análise em dados em painel para o Brasil no período de 2002 a 2015

FERNANDES, K.; REDDY, Y. V. Energy Consumption and Economic Growth in Newly Industrialised Countries of Asia. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 10(4), p. 384-391, 2020.

GADELHA, S. R. B.; CERQUEIRA, R. M. G. Consumo de eletricidade e crescimento econômico no Brasil, 1952-2010: uma análise de causalidade. *Texto para Discussão*, n. 016, Tesouro Nacional, 2013.

GHALI, K. H.; EL-SAKKA, M. I. T. Energy use and output growth in Canada: a multivariate cointegration analysis. *Energy Economics*. v. 26, p. 225-238, 2004.

GUJARATI, D.N. *Econometria Básica*. Editora AMGM. 5. edição. 2011.

HUANG, B. N., HWANG, M. J., YANG, C. W. Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: a dynamic panel data approach. *Ecological Economics*. V. 67, p. 41–54, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em 20 de novembro de 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Acesso em 25 de setembro de 2018.

LEVIN, A., LIN, C. F., CHU, J. Unit root in panel data: Asymptotic and finite-sample Properties, *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24, 2002.

LOPES, S. P. S. *Energia e Crescimento Econômico: Análise Painel de Países Asiáticos*. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.

MEHRARA, M. Energy consumption and economic growth: the case of oil exporting countries. *Energy Policy*. V. 35, 2939–2945, 2007.

PALA, A. Energy and economic growth in G20 countries: Panel cointegration analysis, *Economics and Business Letters*, 9(2), p. 56-72, 2020.

SARI, R.; SOYTAS, U. The growth of income and energy consumption in six developing countries. *Energy Policy*. v. 35, p. 889-898, 2007.

SISTEMA GERENCIADOR DE SÉRIES TEMPORAIS DO BANCO CENTRAL – SGS, BACEN. Disponível em <https://www3.bcb.gov.br>. Acesso em 25 de setembro de 2018.

SCHMIDT, C. A. J. LIMA, M. A. M. A Demanda por energia elétrica no Brasil. *RBE*. Rio de Janeiro. 58(1): 67-99. Jan/Mar 2004.

THAKER, M. A. M. T.; THAKER, H. M. T.; AMIN, M. F.; Pitchay, A. A. Electricity Consumption and Economic Growth: A Revisit Study of Their Causality in Malaysia. *Etikonomi: Jurnal Ekonomi*. V. 18 (1), p. 1 – 12, 2019.

XAVIER, C. A. *Relação entre consumo de energia elétrica e crescimento econômico no Nordeste brasileiro*. 86f. Dissertação (Mestrado em Administração e Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2012.

Tabela 1 A – PIB *per capita* e consumo de energia total por região em GWh, 2002 a 2015

| | Regiões | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| | Norte | Nordeste | Sul | Centro-Oeste | Sudeste | Total |
| PIB <i>per capita</i> médio (R\$) | 11442,20 | 8775,59 | 20387,12 | 22533,34 | 24039,22 | - |
| Consumo Comercial | 46132 | 134883 | 156034 | 71878 | 513494 | 922421 |
| Consumo Residencial | 79276 | 246815 | 228061 | 108606 | 743442 | 1406200 |
| Consumo Industrial | 176015 | 377710 | 388771 | 92977 | 1289465 | 2324938 |
| Outros* | 45671 | 159713 | 169699 | 79209 | 364740 | 819032 |
| Consumo Total | 347094 | 919121 | 942565 | 352670 | 2911141 | 5472591 |

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Nota 1: (*) refere-se as demais classes de consumo (Rural + Iluminação Pub. + Serviço Pub. + Poder Pub. + Consumo Próprio)

Tabela 2A - Testes LM de Breusch-Pagan e Hausman para a relação entre PIB *per capita* e as classes de consumo de eletricidade para as regiões do Brasil, no período de 2002 a 2015

| | Hausman | LM Breusch-Pagan |
|----------------|---------|------------------|
| Teste χ^2 | 3,9786 | 9,2747 |
| p-valor | 0,4089 | 0,0023 |

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

1 BARBOSA, Paulo André M. E-mail: pauloandremanhaesbarbosa@gmail.com

2 PROFETA, Graciela Aparecida. Professora Adjunto III do Curso de Ciências Econômicas da Universidade federal Fluminense- Polo de Campos dos Goytacazes. Possui Mestrado e Doutorado em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa. Graduou-se em Gestão do Agronegócio pela Universidade Federal de Viçosa (2008). Atua no curso de Graduação em Ciências Econômicas desde dezembro de 2012. Foi coordenadora do curso e presidente do Colegiado de curso e do Núcleo Estruturante Docente (NDE) de abril de 2014 a abril de 2017. Foi diretora financeira da TEC Campos de junho de 2019 a janeiro de 2020. É integrante do Núcleo de Estudos em Economia Aplicada, como pesquisadora. Atua nas áreas da Econometria/Estatística e Microeconomia com ênfase em Organização Industrial e Estudos Industriais e estudos aplicados ao desenvolvimento regional. Atualmente compõe a equipe do Departamento de Estudos Econômicos (DEE) do CADE. E-mail: graciela_profeta@yahoo.com.br

3 SANTOS, Vladimir Faria dos. E-mail: vladimirfaria@gmail.com