

---

# ANÁLISE ESPACIAL DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CEARÁ: UM EXAME DESENVOLVIMENTISTA COM ESTRUTURAS VERTICAIS

*Spatial analysis of electric energy consumption in Ceará: a developmental examination with vertical structures*

**Wendell Cassemiro da Silva**

Economista. Mestre em Ciências Econômicas – Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Técnico Administrativo na Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). wendellcasemiro@hotmail.com

**Augusta Pelinski Raiher**

Economista. Doutora em Ciências Econômicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas, do Programa de Pós-Graduação em Ciências Sociais e do curso de Ciências Econômicas na Universidade Estadual de Ponta Grossa. apelinski@gmail.com

---

**Resumo:** O objetivo deste estudo foi avaliar os impactos do preço, do desenvolvimento humano, do programa Bolsa Família e da variação da atividade econômica no consumo de energia elétrica em baixa tensão nos municípios do estado do Ceará, no período entre 2005 e 2016, com uso de painel espacial. Os resultados evidenciaram a existência de dependência espacial nos dados. Foi verificado que tal demanda é elástica ao preço. Quanto ao desenvolvimento humano, este exerce efeito no referido consumo, entretanto, é significativo apenas a 10%, consequência provável da não significância estatística dos seus subíndices de saúde e renda. Ademais, o Programa Bolsa Família foi significativo para impactar o consumo de energia elétrica, embora apresente espaços para amadurecimento de seus impactos. Por fim, as flutuações da atividade econômica são relevantes para a determinação do consumo desse bem essencial.

**Palavras-chave:** consumo; energia elétrica; análise regional; econometria espacial.

**Abstract:** The aim of this study was to evaluate the impacts of price, human development, the Bolsa Família program and the variation of economic activity on low voltage electricity consumption in the municipalities of the State of Ceará, in the period between 2005 and 2016, with the use of spatial panel. The results showed the existence of spatial dependence in the data. It was found that such demand is price elastic. As for human development, this exerts an effect on that consumption, however it is significant only at 10%, a likely consequence of the statistical non-significance of its health and income sub-indices. Furthermore, the Bolsa Família Program was significant in impacting the consumption of electricity, although it has spaces for maturing its impacts. Finally, fluctuations in economic activity are relevant for determining consumption of this essential good.

**Keywords:** consumption; electric energy; regional analysis; spatial econometrics.

**Classificação JEL:** C23, D12 e R10.

# 1 INTRODUÇÃO

A maneira mais fácil de se imaginar a entrega de energia elétrica aos usuários finais é verificar que ela pode, considerando as estruturas necessárias, variar conforme seu nível de tensão. De acordo com Lucinda e Neto (2014), nesse aspecto classificatório, existem duas classes de consumidores: aqueles conectados em alta<sup>1</sup> e em baixa tensão. Contudo, a extensa maioria dos trabalhos sobre a demanda desse bem essencial<sup>2</sup> foca na análise por classes de consumo, ou análise horizontal. Logo, é comum verificar pesquisas sobre o consumo residencial, comercial ou industrial, por exemplo.

Não obstante, cabe frisar que, teoricamente, existe relevância em se avaliar os impactos de certos determinantes sobre estruturas semelhantes da demanda por energia elétrica, uma vez que as diferenças estruturais representam custos díspares na formação dos preços. Essa classificação, focada nas estruturas semelhantes e cujos custos de capacidade são agrupados por nível de tensão, de acordo com El Hage, Oliveira e Machado (2011), convencionou-se chamar de estrutura vertical. Nesse sentido, avaliar todos os consumidores conectados ao nível de baixa tensão permitiria verificar seu grau de sensibilidade ao preço e a outros determinantes. E esse é um dos diferenciais da presente pesquisa: trazer à pauta um estudo focado em análise vertical.

É preciso citar que o consumo de energia em baixa tensão requer estruturas menos robustas e, conseqüentemente, mais baratas quando comparadas àquelas que são demandadas pela alta tensão. Logo, é de se esperar uma maior sensibilidade desse mercado quando comparado com o mercado de alta tensão, pois no mercado de baixa tensão encontram-se os consumidores com maior sensibilidade às variações da renda.

Uma vez que a energia elétrica, enquanto bem de consumo, não apresenta diferenças quanto à qualidade do produto em si, representando homogeneidade, a forma de qualificá-la é relacioná-la com a qualidade de sua entrega. Nesse sentido, considerando que os mercados de serviços de distribuição de energia elétrica se caracterizam, entre outros aspectos, pela existência de subaditividade das funções de custo<sup>3</sup>, seu arranjo mais comum é o monopólio. Assim, dada a essencialidade desse tipo de serviço, houve também o direcionamento de controle de preços desse mercado por meio de regulação pública. Essa ação foi necessária especialmente porque a condição das empresas detentoras de outorga exclusiva para exploração dos serviços de distribuição é vantajosa quando comparada com a condição dos consumidores. Dessa forma, a ação do Estado nesse mercado é garantir que os preços praticados sejam artificialmente mais baixos que aqueles que o monopolista imporia se estivesse livre para fazê-lo (SILVA; RAIHER, 2020).

Ainda, é necessário descrever que alguns consumidores industriais podem estar conectados às redes de baixa tensão, bem como alguns consumidores típicos de baixa tensão podem estar conectados em redes de alta. Nesses exemplos contralógicos, a escolha contraria o óbvio devido às análises quanto ao preço e à demanda em cada caso.

Ademais, quanto menor a renda, maior o nível de sensibilidade e, por conseguinte, menor o consumo de energia elétrica (ANDRADE; LOBÃO, 1997). Assim, um dos objetivos específicos da presente pesquisa é verificar se a inelasticidade observada na maioria dos trabalhos da área se confirma quando estão em estudo as estruturas mais sensíveis às variações de preços e consumidores, referindo-se aos espaços cujos processos de desenvolvimento encontram-se em fase não amadurecida, como os cearenses.

1 O grupo de alta tensão, na prática, pode ainda ser subdividido em duas classes: média (< 230 kV) e alta (≥ 230kV) tensão.

2 Conforme Zuba (2017), dada a importância que o uso da energia elétrica tem em nossas vidas, ela é considerada essencial para a manutenção de nosso bem-estar.

3 Baumol (1977) foi o primeiro teórico a descrever a função de mercado que demonstra que, em alguns arranjos, o custo de existência de vários produtores ou prestadores de determinado serviço pode aumentar o custo total desse mercado.

Nesse sentido, é premente entender que a desigualdade existente em termos de desenvolvimento humano é oriunda das diferentes formas de acesso às dinâmicas econômicas influenciadoras das capacidades dos agentes e de seus processos (ACEMOGLU; ROBINSON, 2012). Por essa razão, medir o grau de influência do desenvolvimento humano para o consumo de bens essenciais, como a energia elétrica, parece-nos uma estratégia elegante para alcance de nossos objetivos.

De forma a seguir por essa linha construtiva, é necessário perceber que o índice de desenvolvimento humano (IDH) se traduz em um indicador multidisciplinar da sociedade. Diferentemente do que ocorre com o nível de desigualdade, por exemplo, em que a renda ou outra dimensão social é avaliada quanto ao seu patamar de concentração, aquele indicador avalia simultaneamente as condições de evolução social quanto aos subíndices de saúde, educação e renda. Dessa forma, é possível verificar, conjunta ou estratificadamente, como as condições de evolução social de desenvolvimento contribuem para a demanda de bens essenciais e/ou como podem influenciar o próprio processo de desigualdade.

Dadas essas considerações, este estudo avalia os impactos do preço, do desenvolvimento humano, do programa Bolsa Família e da variação da atividade econômica para o consumo de energia elétrica em baixa tensão nos municípios do estado do Ceará, no período entre 2005 e 2016.

A utilização do menor nível de informação (municipal) configura-se como um avanço empírico deste artigo. De forma geral, os trabalhos que apuram o nível de sensibilidade da demanda por energia elétrica utilizam-se de dados estaduais (agregados), o que, por vezes, pode gerar viés devido ao problema de Falácia Ecológica (PIANTADOSI; BYAR; GREEN, 1988).

Por último, a utilização da técnica econométrica-espacial para um estudo de demanda de energia elétrica em estado da Região Nordeste ainda não foi verificada na literatura. Assim, para alcançar os objetivos pretendidos, este trabalho está organizado em cinco seções, incluindo esta introdução. A seção dois apresentará as conclusões de trabalhos já realizados. Em seguida, será relatada a metodologia empregada na pesquisa. Depois disso, serão apresentados os resultados. Por último, serão tecidas considerações finais ao trabalho.

## 2 DEMANDA POR ENERGIA ELÉTRICA: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

O primeiro trabalho focado na análise acerca da demanda por energia elétrica foi desenvolvido por Houthakker (1951)<sup>4</sup>. No caso, foi estimada para as províncias da Grã-Bretanha, com dados de 1938 a 1948. Foram empregados como determinantes a renda média, o preço marginal da energia associada à tarifação em duas partes (estudo específico), o preço marginal do gás na composição das tarifas de energia elétrica e os estoques médios de equipamentos domésticos por consumidor. Contudo, foi da década de 1970 que houve uma onda de trabalhos impulsionadores da análise da demanda por energia elétrica. Entre o trabalho de Houthakker e este momento, as variáveis não econômicas estavam no centro do debate, como em Fisher e Keyser (1962). Todavia, foram as análises focadas em variáveis econômicas as maiores influenciadoras dos estudos conduzidos internacionalmente.

Nas pesquisas empíricas realizadas, o foco centrava-se tanto no estudo das classes de consumo, como em Mount, Chapman e Tyrrell (1973), como na apreciação do consumo agregado, como em Burney (1995). Nas análises mais contemporâneas, como em Ros (2017), que avaliou dados de 1972 a 2009 de 72 empresas de distribuição de energia elétrica nos Estados Unidos, verificou-se que o nível médio de sensibilidade da demanda ao preço da energia elétrica variou entre -0,40 e -0,61, para as residências; entre -0,33 e -0,77, para os comércios; e -0,60 para a indústria. Por sua vez, o nível médio de sensibilidade à renda variou entre 0,34 e 0,41, para o consumo residencial; entre 0,43 e 0,79, para o consumo comercial; e entre 1,3 e 4,6, para o consumo residencial.

4 A afirmação é descrita por Garcez e Ghirardi (2003), bem como por Souza, Mattos e Almeida (2017).

Logo, percebe-se que a sensibilidade média, quanto ao preço e à renda, dos consumidores conectados em baixa tensão para o país foi menor que aquela observada para consumidores conectados em alta tensão.

Quanto aos efeitos do desenvolvimento humano para a referida demanda, foram verificados os estudos realizados por Burney (1995) e Niu *et al.* (2013). No primeiro estudo, realizado para um conjunto de 97 países com dados de toda a década de 1980, demonstrou-se que variáveis condicionadoras de níveis mais elevados de desenvolvimento levam a maiores consumos de energia elétrica. No segundo, foi verificado que os países com níveis mais baixos de desenvolvimento são mais sensíveis às variações dos determinantes relacionados à renda e ao desenvolvimento.

Em análises com uso da técnica econométrica-espacial, Ohtsuka, Oga e Kakamu (2010) e Gomez, Filippini e Heimsch (2013) demonstraram que existe dependência espacial nos dados relacionados com o consumo de energia elétrica, bem como modelos espaciais melhoram o resultado das previsões.

Em uma perspectiva nacional, a primeira pesquisa de destaque foi realizada por Modiano (1984). Foi utilizada a técnica de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e dados em séries temporais para determinar as demandas de curto e longo prazo para o Brasil. Em seus resultados, ficou demonstrada a inelasticidade da demanda por energia elétrica em relação ao preço. Entre suas considerações mais importantes, destaca-se que uma avaliação concisa das elasticidades de tal demanda é imperativa para orientação de políticas públicas.

Por sua vez, Schmidt e Lima (2004), ainda em uma análise nacional, utilizaram Modelos de Vetores Autorregressivos com Vetor de Correção de Erros (VAR-VCE) e constataram que as demandas de longo prazo em relação ao preço eram inelásticas para as classes residencial -0,085, comercial -0,174 e industrial -0,129.

Entretanto, também foram observados resultados elásticos na literatura, a exemplo de Amaral e Lima (2006), para os quais tanto em período anterior à crise de fornecimento de energia de 2001 como no pós-crise, a demanda residencial brasileira foi elástica à renda e ao preço. Contudo, cabe salientar que a *proxy* de preço utilizada fugiu ao padrão empregado na literatura (preço médio) para utilizar a razão IPCA-Energia/IPCA.

Em análises regionais, em especial para a Região Nordeste, tem-se o trabalho de Garcez e Ghirardi (2003), os quais empregaram vários modelos dinâmicos para estimação da demanda residencial no estado da Bahia. O período utilizado (1994 a 2002) é similar ao analisado por Amaral e Lima (2006), contudo, a *proxy* de preço utilizada foi o preço médio real. Os pesquisadores observaram que a demanda residencial variou de -0,03 a -0,07 quando se analisa o preço. Logo, observou-se que, mesmo contemplando períodos de crise de oferta, quando utilizado preço médio, a demanda por energia residencial foi inelástica ao preço.

Para outras regiões do País, os trabalhos de Mattos e Lima (2005), Mattos *et al.* (2005) e Mattos *et al.* (2006) focaram no estado de Minas Gerais, analisando, respectivamente, as classes residencial, comercial e industrial, demonstrando, em todos os estudos, a existência de inelasticidade na demanda por energia elétrica, tanto em relação ao preço, quanto em relação à renda. Observou-se ainda que a sensibilidade média dos consumos mais alinhados à baixa tensão (residencial e comercial) foi maior que a verificada para alta tensão.

Quanto ao uso da técnica econométrica-espacial, verificamos a tese desenvolvida por Cabral (2017), na qual o autor aplicou tal metodologia às cinco macrorregiões brasileiras, analisando dados de 2004 a 2014. Como corolário, comprovou-se a existência de dependência espacial entre as macrorregiões do País para o consumo regional de energia elétrica, evidenciando ser inelástica a sensibilidade entre os determinantes analisados<sup>5</sup>.

5 As sensibilidades verificadas foram de 0,713 em relação à demanda anterior; 0,39 em relação ao número de unidades consumidoras; -0,152 em relação ao preço; 0,055 em relação à renda; e 0,037 em relação à temperatura.

Logo, a partir das análises realizadas em trabalhos anteriores, restou comprovado que a demanda por energia elétrica foi majoritariamente inelástica ao preço, inelástica à renda, e que características relacionadas com o desenvolvimento foram impulsionadoras do referido consumo.

### 3 ELEMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo verifica os níveis de elasticidade da demanda por energia elétrica em baixa tensão decorrentes das alterações no preço, no nível de desenvolvimento humano e seus subíndices, bem como do impacto gerado pelo principal programa de desenvolvimento de renda existente no Brasil e das flutuações da atividade econômica, considerando os municípios do estado Ceará, no período entre os anos 2005 e 2016, organizados em painel. Assim, nesta seção, serão abordados os modelos empíricos e a metodologia de estimação. Além disso, serão tratadas as motivações para a escolha do estado do Ceará, descritos os exames preliminares quanto às considerações socioeconômicas da região escolhida, e comentados os tratamentos realizados nos dados.

#### 3.1 Os modelos empíricos e a metodologia espacial

A forma mais usual de apreciação da demanda por qualquer bem é verificada por meio das relações examinadas na teoria do consumidor. Assim, considerando que os demandantes têm uma restrição orçamentária, a solução ótima do problema enfrentado por eles é a escolha da melhor cesta de consumo que maximize sua utilidade. Em outras palavras, um consumidor, considerando os pressupostos técnicos de racionalidade<sup>6</sup>, escolherá a cesta de bens que maximize a utilidade que ele próprio dá ao conjunto de opções colocadas à sua disposição e pelas quais pode pagar (NICHOLSON; SNYDER, 2008).

Logo, é possível, a partir das concepções marshallianas sobre demanda, descrever a utilidade desse consumidor a partir de uma função do tipo Cobb-Douglas em que constam o preço, a renda e o preço de substitutos como determinantes. A equação (1) resume a concepção algébrica dessa proposição mais básica da teoria do consumidor.

$$C_i = P_i^\alpha \cdot Y_i^\beta \cdot PS_i^\gamma \quad (1)$$

$(\alpha < 0; \beta > 0; \gamma > 0)$

Nela, o subscrito *i* representa cada município; *C* identifica o consumo *per capita* de energia elétrica em baixa tensão; *P* identifica o preço médio da energia elétrica associada ao consumo em baixa tensão; *PS* identifica o preço de bens substitutos; e *Y* identifica a renda *per capita* dos consumidores. É necessário descrever que outro pressuposto de análise considera que a oferta de geração e transporte de energia elétrica é infinitamente elástica. Logo, todas as variações de consumo são atendidas por toda a cadeia necessária para levar a energia elétrica aos consumidores. Como as alterações de oferta, de modo a garantir tal pressuposto, somente podem ser atendidas com certo decurso de tempo, o modelo empregado considera tão somente previsões de longo prazo para tal fenômeno.

Após essa exposição teórica básica, é necessário, com intuito de alcançar os objetivos pretendidos, que ajustes sejam realizados na formulação descrita em (1). A primeira observação que se faz é que, muito embora tenha-se verificado na literatura a utilização do óleo combustível como um possível substituto para o consumo de energia elétrica, uma vez que alguns consumidores utilizavam geradores para produção de energia elétrica, no caso da energia elétrica em baixa tensão, atualmente, não existem substitutos globais efetivos. Logo, o termo  $PS_i^\gamma$  será excluído.

6 Preferências completas, reflexivas e transitivas.

Ainda, como na literatura percebe-se que existe forte correlação entre desenvolvimento e renda, a inclusão daquele objetivo específico na pesquisa exige a exclusão desta. Esse ajuste é forçoso em razão da possibilidade de a manutenção da renda gerar resultados superestimados devido à multicolinearidade entre esses determinantes (MILOCA; CONEJO, 2013). Nesse sentido, é imperativo esclarecer que a exclusão de um determinante importante como a renda pode gerar dúvidas quanto ao resultado do modelo. Contudo, como indicam Lesage e Pace (2009), por vezes, o estudo econômico, com intuito de obter informações complementares de determinado bem econômico, aceita pequenos ajustes em função de seu esclarecimento teórico. Dessa forma, em (1), foi excluído o item  $Y_i^\beta$  e incluída *proxy* relativa ao índice de desenvolvimento humano apurado por município ( $F_i^\beta$ ).

Entretanto, a exclusão da renda requer certa compensação por sua saída. Assim, entraram, como variáveis de controle, os outros objetivos específicos de pesquisa: o Programa de desenvolvimento de renda Bolsa Família ( $BF_i^\gamma$ ) e a variação da atividade econômica ( $VPIB_i^\varphi$ ). A primeira foi escolhida para se avaliar se o referido programa serve, para o Ceará, como um possível indicador de renda mínima ou pobreza, conforme seu resultado. Por sua vez, a segunda foi escolhida porque foi identificado que dentro do período de pesquisa ocorreram duas crises econômicas: a primeira, iniciada em 2008, com efeitos no crescimento do País em 2009, sendo uma crise de origem externa; enquanto a segunda, de origem interna, se estabeleceu no País durante os anos de 2014 a 2016. Dessa forma, verificar o impacto que tais variações podem ter para o consumo de energia elétrica em baixa tensão pode auxiliar na fundamentação de políticas públicas. Assim, o primeiro modelo de estimação que será empregado nessa pesquisa segue a proposição contida na equação (2):

$$C_i = P_i^\alpha \cdot F_i^\beta \cdot BF_i^\gamma \cdot VPIB_i^\varphi \quad (2)$$

$(\alpha < 0; \beta > 0; \gamma < 0 \text{ ou } > 0; \varphi > 0)$

Chamamos atenção para o sinal esperado do determinante relacionado com o Programa Bolsa Família ( $BF_i^\gamma$ ), pois ele pode variar em função do estágio em que esteja na região de análise. Caso seja negativo, indicaria que o programa não alcançou seu objetivo e que, por consequência, seu resultado pode ser interpretado como uma *proxy* para o nível de pobreza ou dependência social. Por outro lado, caso seja positivo, indicaria que ele alcançou seu objetivo de desenvolver o nível de renda das famílias hipossuficientes, servindo como *proxy* de renda mínima local. Os demais sinais esperados estão alinhados com o contido na literatura.

A fim de permitir uma análise direta dos índices de sensibilidade dos determinantes, será realizada uma transformação monotônica, conforme proposto por Wilson (1971). Esse ajuste considera a aplicação de logaritmo em ambos os lados da igualdade contida em (2). Desse modo, a interpretação dos resultados da estimativa funcionaria como o nível de alteração da variável dependente em função de cada determinante. Assim, esse modelo será estimado conforme a equação (3) e será identificado como modelo 1 a partir de então.

$$\text{Log } C_i = \alpha \cdot \text{Log } P_i + \beta \cdot \text{Log } F_i + \gamma \cdot \text{Log } BF_i + \varphi \cdot \text{Log } VPIB_i \quad (3)$$

Contudo, para uma análise mais detalhada dos impactos do desenvolvimento humano sobre a demanda por energia elétrica em baixa tensão, será estimado outro modelo. Neste, o citado indicador socioeconômico descrito em (2) ( $F_i^\beta$ ) será substituído por seus subíndices – saúde ( $FS_i^{\beta 1}$ ),



educação ( $FE_i^{\beta_2}$ ) e renda ( $FR_i^{\beta_3}$ ). Logo, a segunda estimativa a ser realizada é, após os ajustes propostos por Wilson (1971), estruturada conforme equação abaixo. Esse modelo será citado a partir desse momento como modelo 2.

$$\begin{aligned} \text{Log } C_i &= \alpha \cdot \text{Log } P_i + \beta_1 \cdot \text{Log } FS_i + \beta_2 \cdot \text{Log } FE_i + \beta_3 \cdot \text{Log } FR_i \\ &+ \gamma \cdot \text{Log } BF_i + \varphi \cdot \text{Log } VPIB_i \end{aligned} \quad (4)$$

Quanto à metodologia a ser utilizada para estimar os modelos 1 e 2, será aplicada a técnica econométrica-espacial com dados em painel e estimador por máxima verossimilhança.

A técnica espacial “diferencia-se da convencional por incorporar explicitamente na modelagem os chamados efeitos espaciais” (ALMEIDA, 2012, p. 16). Esses efeitos são a dependência e a heterogeneidade espaciais. O primeiro, como consequência da primeira Lei de Tobler, estabelece que “tudo está relacionado com todo o resto, mas as coisas próximas estão mais relacionadas do que as coisas distantes” (TOBLER, 1970, p. 236, tradução nossa). Logo, os efeitos de um determinante ultrapassam as barreiras locais. O segundo efeito espacial diz respeito às diferentes respostas que as unidades espaciais podem apresentar entre si, uma vez que elas apresentam diferenças estruturais. Dessa forma, não tratar o espaço, quando ele é relevante para o conjunto de dados, gera viés nas estimativas.

A métrica espacial é determinada pela possibilidade de um conjunto analítico incluir a oportunidade de influência dos determinantes, da própria variável de estudo e dos termos de erro de uma localidade nas localidades de sua vizinhança, de modo a controlar a dependência espacial constante nos dados. Uma representação geral dessa métrica pode ser verificada nas equações (5.1) a (5.3).

$$y = \beta_0 + \rho W y + \beta X + W X \tau + \xi \quad (5.1)$$

$$\xi = \lambda W \xi + \varepsilon \quad (5.2)$$

ou

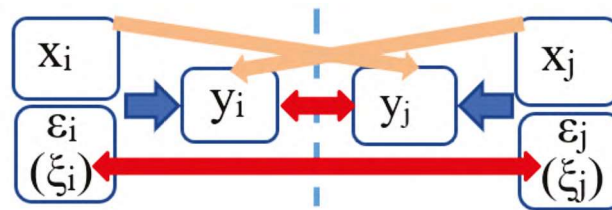
$$\xi = \gamma W \varepsilon \quad (5.3)$$

Os coeficientes  $\rho$ ,  $\lambda$  e  $\gamma$  representam os níveis de relação espacial entre municípios vizinhos dos tipos  $(y_i - y_j)$ ,  $(x_i - x_j)$ ,  $(\xi_i - \xi_j)$  e  $(\varepsilon_i - \varepsilon_j)$ , respectivamente. Uma orientação espacial dessas relações pode ser vista na Figura 1. Uma consequência desse conjunto de possibilidades é que existem diversas formas de controlar a dependência espacial. Contudo, para determinação de quais serão efetivamente empregadas, devem-se buscar justificativas teóricas plausíveis, sob pena de se realizar estimações à revelia (ANSELIN, 1988). Dessa forma, para esta pesquisa, serão empregadas quatro formas de controle da dependência espacial diferentes: Modelo de Defasagem Espacial (SAR), cuja relação de dependência espacial está na variável dependente, com efeitos globais<sup>7</sup>; Modelo de Erro Autorregressivo Espacial (SEM), com a defasagem espacial no termo de erro, também com efeitos globais; Modelo de Durbin Espacial (SDM), que inclui a defasagem espacial das explicativas, com efeito local<sup>8</sup>, ao modelo SAR; e Modelo de Durbin Espacial do Erro (SDEM), que inclui a defasagem espacial das explicativas, com efeito local, ao modelo SEM. Logo, os modelos a serem testados apresentam uma ideia de complementariedade.

7 Efeitos globais sugerem que eles se alastram por todo o conjunto de regiões.

8 Efeitos locais sugerem que eles perdem força, à medida que se afastam dos centros influenciadores.

Figura 1 – Arranjo espacial combinado do conjunto de diferentes formas de associação espacial<sup>9</sup> empregadas



Fonte: Adaptado de Baller *et al.* (2001) e Almeida (2012).

Quanto à preferência pela utilização de dados em painel em detrimento das demais formas de organização de dados, esta fundamenta-se pelo fato de aumentar a eficiência do estimador, reduzir a influência de omissão de variáveis relevantes e invariantes no tempo, diluir o efeito de anos atípicos e controlar a heterogeneidade não observada por meio de modelos fixos ou aleatório (ALMEIDA, 2012; WOOLDRIDGE, 2014).

No tocante à escolha do estimador, Elhorst (2010) e Almeida (2012) concordam que a utilização do estimador por Máxima Verossimilhança (MV) garante a solução dos problemas de estimação existentes nas métricas espaciais escolhidas. Contudo, aparece um novo inconveniente: como entre as metodologias espaciais empregadas existem aquelas cuja autocorrelação espacial dos termos de erro é empregada (SEM e SDEM), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) deixa de ser um indicador eficiente para determinar, entre as técnicas empregadas, qual melhor controla a dependência espacial e, por conseguinte, pode ser considerada a que apresenta os melhores resultados (ALMEIDA, 2012). Para superar essa questão, foram utilizados os critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayes (BIC).

Por fim, o uso de variáveis instrumentais foi efetivado nos modelos 1 e 2, visando a evitar problemas de endogeneidade, conforme será comentado na seção 3.3, quando realizarmos comentários quanto à variável Preço ( $P_i$ ).

### 3.2 Escolha da região analisada e informações preliminares

Para que os objetivos de pesquisa fossem alcançados, escolheu-se um estado cujo processo de desenvolvimento estivesse em fase não totalmente amadurecida, mas que apresentasse modificações ao longo do período analisado. Essa premissa se alinha com o objetivo de verificar se alterações no nível de desenvolvimento impactam o consumo. Ainda, era necessário que existissem dados dos determinantes propostos a nível municipal. Esse grau de informação é necessário para evitar a Falácia Ecológica, um problema que ocorre quando se tenta tirar conclusões para observações a partir de dados agregados (ROBINSON, 1950).

Nesse interim, o estado do Ceará apresentava, no início do período avaliativo, classificação de condição regular de desenvolvimento humano (0,49), obtendo, ao fim do período, um nível moderado (0,67). Logo, percebe-se que no decurso de tempo analisado, o estado do Ceará apresentou melhora nas condições de desenvolvimento sem, no entanto, chegar a níveis altos. Logo, a escolha dessa unidade da Federação apresenta duas vantagens para a presente análise: (i) não estar em nível alto de desenvolvimento, o que iria ferir os objetivos de pesquisa; e (ii) ter demonstrado evolução no período recente, o que refletirá nos resultados de pesquisa. O Gráfico 1 apresenta a evolução dos municípios cearenses e a classificação desse indicador.

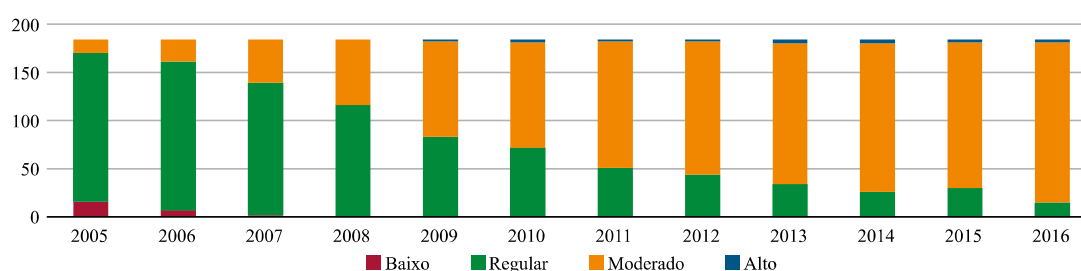
<sup>9</sup> Considerando apenas as setas que representam efeitos espaciais (cores vermelha e nude), no modelo SAR existe apenas a seta vermelha ligando as variáveis explicativas espacialmente relacionadas, e no modelo SEM existe apenas a seta vermelha ligando os termos de erro espacialmente relacionados. Os modelos SDM e SDEM, respectivamente, complementam os dois primeiros, incluindo tão somente as setas em cor nude.



Quanto aos resultados do desenvolvimento humano do último ano de pesquisa, salienta-se que o estado do Ceará apresenta classificação média (0,67), abaixo de todos os estados das regiões mais desenvolvidas do País. Essa informação qualifica nossa escolha pela unidade da Federação em análise, uma vez que ainda é também o primeiro estado em ordem de classificação fora desse grupo. Como meio de comparação, os três melhores classificados nesse indicador foram o Distrito Federal (0,78), São Paulo (0,76) e Santa Catarina (0,74). Por sua vez, os três últimos foram o Maranhão (0,53), o Amapá (0,53) e o Amazonas (0,50).

Por último, frisamos que o estado do Ceará não apresentava nenhum município com alto nível de desenvolvimento humano no período inicial de pesquisa, enquanto apenas três municípios (Eusébio, São Gonçalo do Amarante e Sobral) tinham alcançado esse resultado em 2016. Quanto ao nível de classificação moderado, o estado evoluiu de 7,61% (14 municípios) em 2005 para 90,22% (166 municípios) em 2016.

Gráfico 1 – Evolução da quantidade de municípios cearenses, por nível de desenvolvimento – 2005 a 2016



Fonte: Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Firjan).

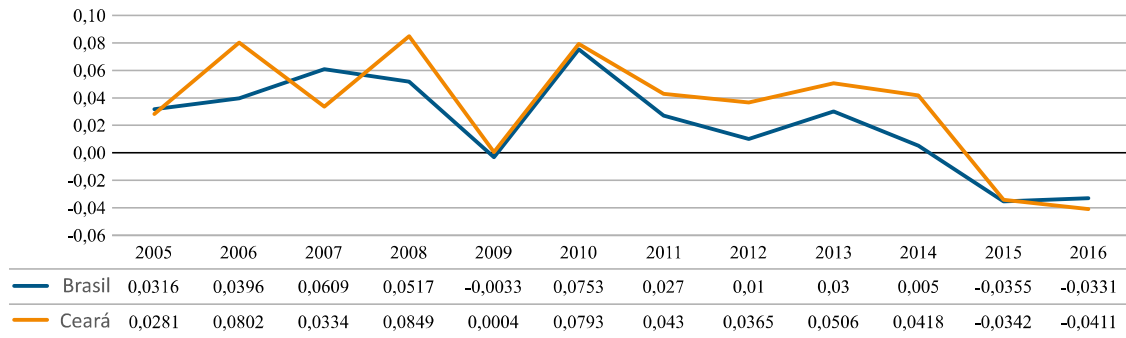
Nota: Dados trabalhados pela pesquisa.

Quanto aos dados necessários para a pesquisa, outro delimitador de escolha espacial, salienta-se que os dados estaduais (agregados) podem ser encontrados no sítio eletrônico da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Contudo, os dados detalhados por município não estão amplamente disponíveis. Essa foi outra razão pela escolha do Ceará. Para esse estado, tais informações constam no Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (Ipece).

Por sua vez, como a variação da atividade econômica (VPIB<sub>i</sub>) faz parte de nossa análise, cabe verificar que, no período de pesquisa, houve certa volatilidade do Produto Interno Bruto (PIB) cearense, com a existência de dois períodos recessivos (2009 e 2014-2015), conforme pode ser verificado no Gráfico 2, no qual também se fez uma comparação com os dados nacionais.

Uma observação mais focada nos setores econômicos demonstrou que o setor de serviços foi o principal influenciador da economia cearense. Verificou-se que esse setor evoluiu em sua composição, de 71,7% em 2005 para 76,1% em 2016. Na indústria, o Ceará demonstrou retração de sua participação na economia, tendo, ao final do período avaliativo, participação de 19,2%. O setor agropecuário foi o de menor participação em todos os períodos, fechando 2016 com apenas 4,7% de influência no PIB do estado.

Gráfico 2 – Variação real (%) do Produto Interno Bruto (PIB) – Brasil x Ceará – 2005 a 2016.



Fonte: IBGE/IPECE, organizado pela pesquisa.

Nota: Nova metodologia, referência 2010.

### 3.3 Banco de dados e tratamentos realizados

Para estimar os modelos 1 e 2, foram necessárias informações relacionadas ao consumo de energia elétrica em baixa tensão *per capita* e as variáveis explicativas selecionadas, todos a nível municipal. Para a análise relativa à variação da atividade econômica ( $VPIB_i$ ), foi tomada a razão entre o valor do PIB municipal de cada ano e sua população, conforme dados do IBGE. Contudo, nas demais variáveis foram necessários alguns tratamentos, conforme segue:

#### - Preço ( $P_i$ )

De modo a estar alinhado à metodologia proposta para construção da variável dependente, o preço também foi construído visando a refletir a proporção das tarifas médias de cada classe de consumo e sua participação no agregado que compôs o consumo de baixa tensão por município.

Por exemplo, é possível que, em determinado município do Ceará, o consumo de energia elétrica em baixa tensão apresente a seguinte distribuição: 55% tenham decorrido do consumo da classe residencial, 20% tenham sido consumidos pela classe comercial e serviços, 10% tenham sido consumidos pela classe rural, 10% pela classe industrial e 5% pelas demais classes de consumo. Assim, após apuradas as tarifas médias para o consumo em baixa tensão em cada classe, conforme informações extraídas do sistema SAMP, a tarifa média atribuída à baixa tensão correspondeu à média ponderada dessas proporções.

Todavia, como identificado por Schmidt e Lima (2004) e Oliveira, Tavares e Tavares (2018), tende-se a ter simultaneidade entre preço e consumo de energia elétrica e, por isso, a endogeneidade precisou ser tratada. Seguindo a ideia proposta por Schutze (2015), foram utilizadas as Tarifas de Energia (TE)<sup>10</sup> homologadas pela ANEEL como instrumento para a tarifa média. Dessa forma, foram consultadas todas as Resoluções Homologatórias (REH) de tarifas aprovadas pela ANEEL no período de análise, atribuídas à área de concessão do estado do Ceará. Portanto, os modelos 1 e 2 foram estimados em dois estágios, ressaltando que o instrumento utilizado no primeiro estágio se apresentou forte, conforme resultados obtidos pelo Teste  $F^{11}$  proposto por Stock e Yogo (2005).

#### - Consumo de energia elétrica em baixa tensão *per capita* ( $C_i$ )

10 A TE é um componente da tarifa aprovada pela ANEEL e que representa, entre outros, os custos associados à compra de energia elétrica. Dessa forma, ela representa um componente exógeno do modelo, o que exclui o problema de simultaneidade. Cabe salientar que a partir de 2012, após a criação do sistema de bandeiras tarifárias, foram utilizadas as TE relacionadas à bandeira verde como referência para este trabalho.

11 Resultados constantes na Tabela 4.

Conforme inferido anteriormente, o consumo de energia elétrica geralmente é analisado por classe de consumo (análise horizontal), e, normalmente, os bancos de dados seguem essa estrutura, sendo usados, em geral, a nível estadual. Contudo, informações nesse tipo de estrutura não atenderiam aos objetivos de pesquisa. Para resolver o entrave quanto ao nível de informação municipal, utilizaram-se as informações do site do Ipece, com algumas alterações, tendo em vista que as informações ainda se encontram classificadas por classe de consumo.

Para uma análise vertical focada na baixa tensão, recorreu-se a uma simplificação a partir de dados de outra estrutura. Utilizou-se a informação da proporção de energia consumida em baixa tensão em cada classe de consumo constante no Sistema de Acompanhamento de Dados de Mercado para Regulação Econômica (SAMP), de gestão da ANEEL, e considerou-se as referidas proporções fixas em todos os municípios do estado. Logo, após identificada essa proporção em cada classe de consumo, as parcelas associadas ao consumo em baixa tensão foram somadas por município. Depois, esse resultado foi dividido pela população estimada de cada ano, obtida do banco de dados do IBGE. Assim, a variável dependente nos modelos 1 e 2 reflete a demanda livre dos efeitos da variação populacional ao longo do tempo. O trabalho realizado pode ser compreendido por meio da Tabela 1.

Tabela 1 – Construção do consumo de energia elétrica em baixa tensão *per capita* por município

Consumo da classe (CC) no município i (MWh) (1)	Proporção do consumo por nível de tensão em cada classe (MWh) (2)	Consumo de baixa tensão no município i (MWh)	Consumo de energia elétrica em baixa tensão <i>per capita</i> por município i (MWh/habitante)
Residencial	Alta Tensão (a)	$CBT_i = \sum_b CC_i$	$C_i = \frac{CBT_i}{n^{\circ} \text{ habitantes}}$
	Baixa Tensão (b)		
Comercial	Alta Tensão (a)		
	Baixa Tensão (b)		
Industrial	Alta Tensão (a)		
	Baixa Tensão (b)		
Rural	Alta Tensão (a)		
	Baixa Tensão (b)		
Outras Classes	Alta Tensão (a)		
	Baixa Tensão (b)		

Fonte: Elaborado pelos autores.

Notas: (1) Dados verificados no Ipece; (2) Conforme proporção verificada no sistema SAMP/ANEEL.

#### – Desenvolvimento Humano ( $F_i$ ) e seus subíndices ( $FS_i$ , $FE_i$ e $FR_i$ )

Para medir o nível de desenvolvimento humano em cada município do estado do Ceará, foi utilizado o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM), da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. A escolha por essa base de dados está relacionada com a manutenção e homogeneidade de tratamento das informações ao longo de sua série histórica, o que determinou, inclusive, o período de pesquisa.

Salienta-se que nos casos em que, excepcionalmente, o indicador de determinado município não tenha sido apurado em algum ano por qualquer razão, foi considerada a média entre os índices obtidos nos anos anterior e posterior.

#### – Programa Bolsa Família ( $BF_i$ )

Os dados considerados para se analisar os efeitos do Programa Bolsa Família no consumo de energia elétrica em baixa tensão foram construídos a partir de duas informações: o número de

famílias que recebem recursos do programa ( $NF_i$ ), obtido no site do Ipeadata; e a população ( $N_i$ ), obtida no IBGE. O indicador  $BF_i$  foi elaborado da seguinte forma:

$$BF_i = \frac{NF_i}{(N_i / 100.000)} \quad (6)$$

O objetivo da construção dessa variável nos moldes propostos é permitir a comparação entre locais com diferentes tamanhos de população e neutralizar o crescimento populacional, permitindo assim a comparação, a médio e longo prazo, da influência desse programa para o consumo de energia elétrica em baixa tensão.

#### 4 DETERMINANTES DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DOS MUNICÍPIOS DO CEARÁ

Inicialmente, analisou-se a evolução do consumo *per capita* de energia elétrica em baixa tensão no estado do Ceará, considerando todas as classes de consumo associadas a essa estrutura vertical. Os resultados evidenciam um crescimento de 71,73% entre 2005 e 2016, com retrações pequenas apenas nos anos de 2006 (-1,75%) e 2015 (-0,87%).

Ao focar em todos os municípios cearenses, observou-se que a média de consumo *per capita* de energia elétrica em baixa tensão praticamente dobrou no período de análise (Tabela 2). Esse evento pode estar associado às alterações no nível de renda e/ou desenvolvimento da população, conforme será investigado na presente pesquisa.

Tabela 2 – Estatística descritiva do consumo de energia elétrica em baixa tensão *per capita* nos municípios do Ceará – 2005 e 2016

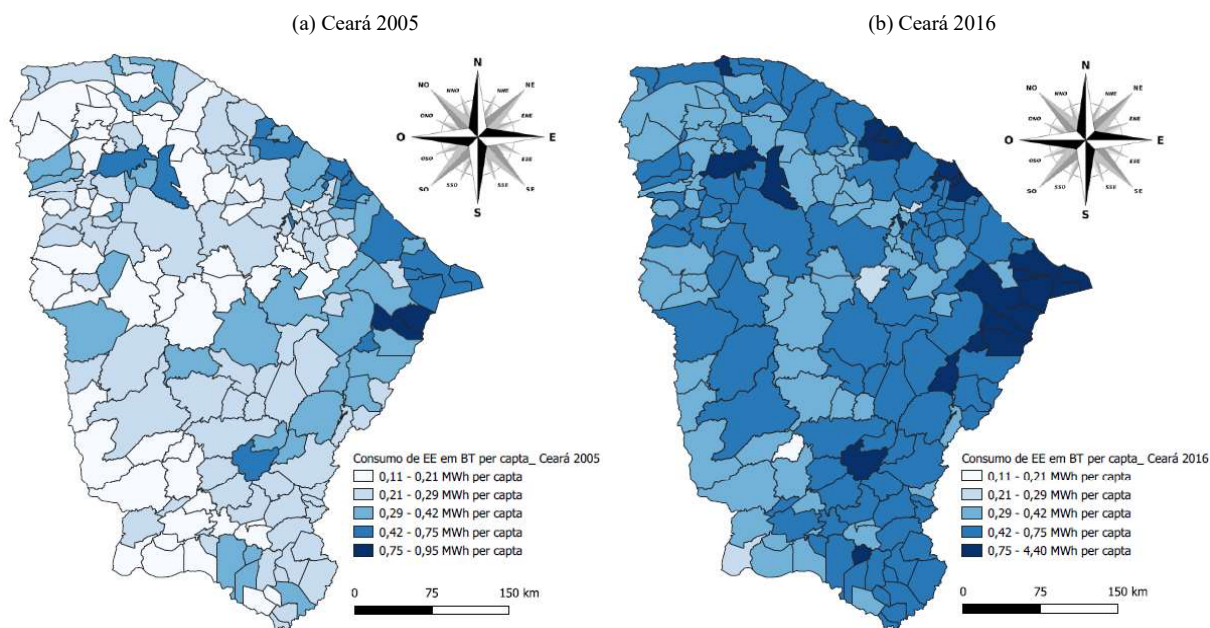
Ano	Média	Desvio-padrão	CV	Máximo	Mínimo
2005	0,28	0,13	0,45	0,95	0,11
2016	0,55	0,37	0,67	4,40	0,21

Fonte: Ipece/ANEEL, organizado pelos autores.

Ainda, é possível prever que essa variação ocorreu de forma não homogênea, uma vez que o coeficiente de variação também se ampliou dentro do período. Assim, a hipótese de ampliação da concentração espacial do referido consumo não pode ser descartada. Uma maneira simples e visual de se verificar tal fato é por meio da apreciação do mapa de distribuição do consumo nos períodos inicial e final, constante na Figura 2. Nesta, confirmamos o comportamento heterogêneo quanto à ampliação do referido consumo.

Nota-se ainda que os maiores consumos estão localizados no litoral nordeste do estado e na região leste, na fronteira com o Rio Grande do Norte. Observa-se também forte influência do consumo em torno da capital, Fortaleza, e que as regiões mais ao centro do estado e a região sudoeste cearense apresentam os menores consumos. Percebe-se ainda que existe adjacência entre as localidades com maior e menor consumo. Em outras palavras, há padrão de distribuição dessa demanda. Para poder confirmar essa observação, foi verificada a estatística *I de Moran* (Tabela 3).

Figura 2 – Distribuição do consumo de energia elétrica em baixa tensão *per capita* nos municípios do Ceará – 2005 e 2016



Fonte: Resultados da pesquisa, com uso do software QGIS.

A análise de tais resultados demonstra a existência de autocorrelação espacial positiva e estatisticamente significativa. Ademais, é notório observar que houve diminuição do indicador ao longo do tempo, o que indica a existência de um padrão concentrador que vem perdendo força com o decorrer do tempo. Verifica-se também que não há evidência concreta de uma caracterização de arranjo de adjacência prevalecente entre as matrizes de vizinhança testadas nos períodos inicial e final. Contudo, a análise do conjunto de dados demonstrou que, nos exercícios mais recentes, a matriz que melhor captura a dependência espacial é a matriz do tipo Rainha, a qual será empregada nas estimativas.

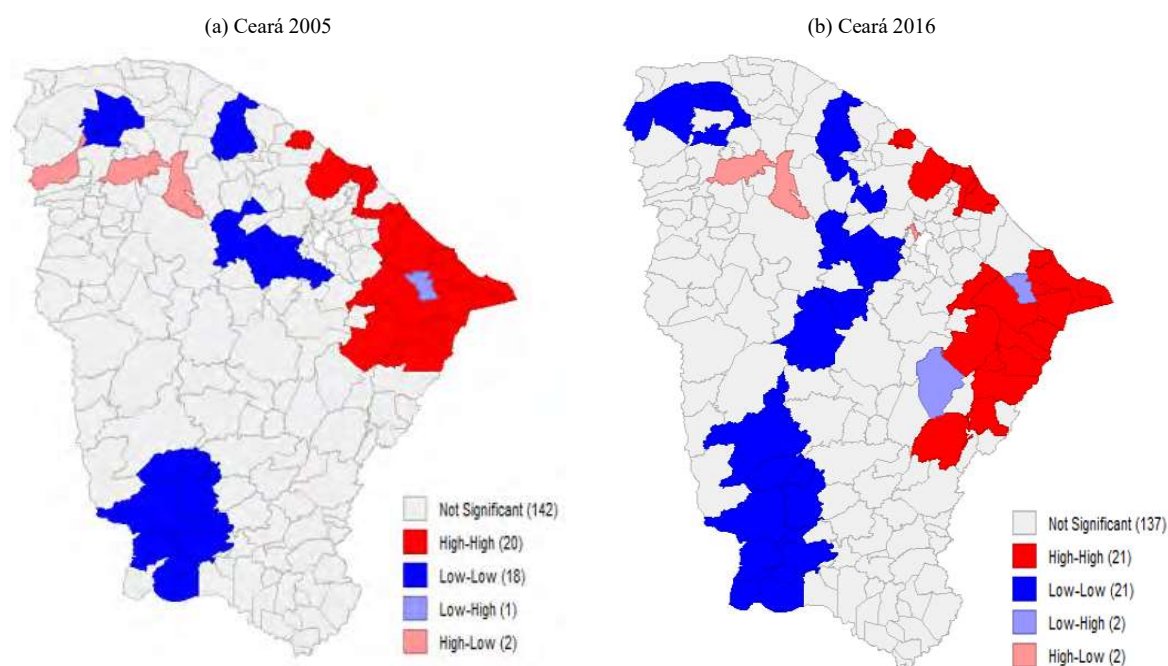
Tabela 3 – Estatística *I de Moran* do consumo de energia elétrica em baixa tensão *per capita* no Ceará em 2005 e 2016

Variável	Ano	Rainha	Torre	4 vizinhos	5 vizinhos	6 vizinhos
Ceará	2005	0,4771	0,4710	0,4818	0,4488	0,4216
	2016	0,2148	0,2068	0,1989	0,1893	0,1846

Fonte: Resultados da pesquisa com uso do Software Geoda. Nota: Todos significativos a 1%.

As conclusões sobre a existência de autocorrelação espacial podem ser confirmadas a partir da apreciação do mapa de *clusters*, conforme Figura 2. Da análise do mapa, é possível confirmar a presença de padrão associativo espacial. Observa-se que o conjunto de *clusters* do tipo alto-alto é mais concentrado em torno da capital (Fortaleza), com um deslocamento para as regiões mais a sudeste. Enquanto isso, os *clusters* do tipo baixo-baixo intensificaram-se na região central, formando um corredor na direção norte-sul.



Figura 3 – Mapa de *clusters* espaciais do consumo de energia elétrica em baixa tensão *per capita* nos municípios do Ceará – 2005 e 2016

Fonte: Resultados da pesquisa, com uso do Software Geoda.

Por isso, uma das primeiras conclusões da pesquisa está no fato de que se fazem necessárias políticas estaduais de fortalecimento da dinâmica econômica do interior do estado do Ceará. Essa necessidade fica evidente quando se percebe que as regiões interioranas concentram em si um baixo consumo desse bem essencial e que, ainda, houve uma ampliação significativa em número de municípios. O ponto central de análise deve, portanto, concentrar-se nos fatores que conduziram a tais transformações.

Com o objetivo de identificar esses fatores, estimaram-se os modelos 1 e 2. Foram realizados testes estatísticos (Tabela 4), os quais evidenciaram que: (i) a variável instrumental utilizada (TE) é forte; (ii) a heterogeneidade não observada é relevante e seu melhor tratamento se dá por meio de efeitos fixos; e (iii) existe dependência espacial nos dados (Teste de Hausman espacial).

Tabela 4 – Testes estatísticos pré-espaciais dos modelos analisados pela pesquisa

Teste estatístico	Modelo 1	Modelo 2
Teste F (a) (resultado)	2459,55	1888,6
Teste F (a) (p-valor do teste)	<b>2,20E-16</b>	<b>2,20E-16</b>
Teste F (b) (resultado)	29,37	31,63
Teste F (b) (p-valor do teste)	<b>2,20E-16</b>	<b>2,20E-16</b>
Teste de Hausman Espacial (c) (resultado)	74,3	76,49
Teste de Hausman Espacial (c) (p-valor do teste)	<b>2,81E-16</b>	<b>1,89E-14</b>
Teste CD de Pesaran (d) (resultado)	223,79	154,19
Teste CD de Pesaran (d) (p-valor do teste)	<b>2,20E-16</b>	<b>2,20E-16</b>

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas: (a) Conforme Stock e Yoko (2005), para verificar se o instrumento utilizado é fraco (hipótese nula).

(b) Para verificar se a heterogeneidade não observada é irrelevante (hipótese nula).

(c) Para verificar se a heterogeneidade não observada é aleatória (hipótese nula).

(d) Para verificar se não existe dependência espacial nos dados (hipótese nula).



Devido à existência de dependência espacial, conduzir o estudo do consumo de energia elétrica em baixa tensão sem a devida modelagem das relações espaciais pode levar a estimativas viesadas (ANSELIN, 1988). Esse resultado foi confirmado pela estimação da métrica de painel a-espacial para ambos os modelos empregados, em que a elasticidade-preço mostrou-se positiva (0,4276 no modelo 1 e 0,2866 no modelo 2), o que contraria a lógica econômica. Esta, possivelmente, é uma das razões para a inexistência de estudos relacionados com análise vertical de consumo de energia elétrica: devido à existência de significativa autocorrelação espacial nos dados, seu não tratamento leva ao viés verificado nas estimativas sem controle do espaço.

De posse desses resultados, os modelos 1 e 2 foram estimados conforme descrito na subseção 3.1. Os resultados dos critérios de informação, com vistas a identificar o melhor modelo espacial, podem ser vistos na Tabela 5. Como corolário, para ambos os modelos analisados, a melhor forma de controle da dependência espacial é por meio do Modelo de Durbin Espacial (SDM). Esse resultado está alinhado com outros verificados na literatura, a exemplo dos trabalhos de Gomez, Filippini e Heimsch (2013) e Cabral (2017).

Tabela 5 – Resultados dos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayes (BIC) para os modelos analisados

Critério de Informação	Modelo 1				Modelo 2			
	SAR	SEM	SDM	SDEM	SAR	SEM	SDM	SDEM
AIC	9.620,60	9.685,25	<b>9.472,35</b>	9.483,84	9.550,42	9.609,18	<b>9.375,77</b>	9.388,14
BIC	10.703,57	10.768,22	<b>10.578,12</b>	10.589,61	10.644,79	10.703,55	<b>10.504,34</b>	10.516,70

Fonte: Resultados da pesquisa.

Para a apreciação completa dos resultados do melhor modelo espacial, é preciso verificar que no modelo SDM existe o transbordamento espacial dos efeitos da variável dependente. Esse transbordamento, em parte, pode representar efeitos indiretos das variáveis explicativas. Dessa forma, além de as variáveis explicativas estarem elucidando local e espacialmente a variável explicada, existem efeitos sobre a variável dependente a partir das relações desta espacialmente com sua vizinhança, o que gera impactos diretos e indiretos nas estimativas. Dessa forma, seguindo os processos propostos por Lesage e Pace (2009), os resultados dos modelos 1 e 2 para o Ceará foram estimados para o modelo SDM e constam nas Tabelas 6 e 7.

Percebe-se, a partir da análise do modelo 1 (Tabela 6), que o efeito do consumo de energia elétrica em baixa tensão é altamente significativo para explicar a demanda pelo mesmo bem nas unidades espaciais vizinhas. Isso significa que se a demanda por energia elétrica em baixa tensão aumentar em determinado município, a demanda nos municípios do envoltório tende a se elevar também, existindo um efeito de transbordamento do consumo. Esse resultado está alinhado com o que se observou em trabalhos anteriores, como em Cabral (2017), em que a temática espacial foi empregada, e os efeitos espaciais da própria demanda por energia elétrica é influenciadora do mesmo consumo em regiões vizinhas.

No tocante à sensibilidade ao preço, notou-se que a referida demanda se mostrou elástica (-1,98), o que difere da maioria dos trabalhos pesquisados. Portanto, alterações no preço têm um impacto expressivo na variação da demanda por energia elétrica. Nesse sentido, um pequeno aumento na tarifa, na média, retrai mais que proporcionalmente o seu consumo (e vice-versa).

Esse fato reforça a necessidade de políticas públicas que estabeleçam mecanismos estruturais de compensação de flutuação de preços para as populações hipossuficientes em renda, em especial nas regiões, como no estado do Ceará, que sofrem sobremaneira com os aumentos das tarifas de energia elétrica. Obviamente, dado que ajustes regulatórios no mercado de energia elétrica brasileiro somente podem ser implementados em âmbito nacional, é necessário que haja sensibilidade por parte de nossos representantes para uma maior atenção a esse fato. Pois, muito embora análises

de consumo aplicadas ao País tenham evidenciado inelasticidade do consumo em relação ao preço, como em Schmidt e Lima (2004), Mattos e Lima (2005) e Cabral (2017), para regiões de menor desenvolvimento econômico, isso se mostrou ainda não ser uma realidade.

Nota-se ainda que o efeito espacial do consumo de energia elétrica em baixa tensão é positivo, com elevada significância estatística (0,3175). Isso significa que se o consumo de energia elétrica em baixa tensão aumentar em determinado município cearense, a demanda em seu envoltório tende a aumentar. Nesse sentido, também é necessário reforçar os efeitos que essa dinâmica econômica pode ter e sua ligação com eventuais políticas públicas. Por exemplo, é possível perceber que eventuais incentivos que levem à ampliação do consumo de energia elétrica em baixa tensão, como incentivos para formação de centros comerciais em determinada localidade, terão seus efeitos ampliados para as regiões em volta da localidade de aplicação.

Tabela 6 – Efeitos Diretos e Indiretos do modelo SDM sobre a demanda por energia elétrica em baixa tensão com base no modelo 1 para o estado do Ceará – 2005 a 2016

Log C	SDM	Efeitos – SDM		
		Efeito Direto (a)	Efeito Indireto (a)	Efeito Total (a)
W(Log C)	0,3175*** (0,0279)	-	-	-
Log P		-1,3825*** (0,1472)	-0,5988*** (0,1022)	-1,9813*** (0,2279)
Log F		0,1200(.) (0,0645)	0,0519(.) (0,0287)	0,1719(.) (0,0925)
Log BFp		0,0924* (0,0456)	0,0400* (0,0209)	0,1324* (0,0660)
Log VPIB		0,1041** (0,0393)	0,0451* (0,0182)	0,1492** (0,0570)
W(Log P)	1,6136*** (0,1469)	-	-	-
W(Log F)	0,4158*** (0,0823)	-	-	-
W(Log BFp)	0,1930** (0,0684)	-	-	-
W(Log VPIB)	- 0,0279 (0,0577)	-	-	-

Notas: (a) Resultados obtidos por meio do pacote *spml* no software *Rstúdio*. Entre parênteses estão discriminados os Erros-padrão robustos. (\*\*\*) significativo a 0,1%; (\*\*) significativo a 1%; (\*) significativo a 5%; (.) significativo a 10%; ( ) não significativo.

Quanto aos efeitos do desenvolvimento humano para a demanda por energia elétrica em baixa tensão *per capita* no Ceará, percebe-se que eles são significativos apenas ao nível de significância de 10%, com índice de sensibilidade de 0,17. Entretanto, é possível verificar que os efeitos espaciais de tal determinante foram mais significativos e influentes (0,42) espacialmente. Esse fato corrobora a ideia de que a efetivação de políticas públicas que ampliem o nível de desenvolvimento humano nos municípios cearenses acarreta uma ampliação espacial do consumo de energia elétrica, dado que a aplicação de recursos em determinado município extrapola seus limites geográficos, sendo, inclusive, de maior impacto que localmente. Esse fato ocorre em consequência do transbordamento dos efeitos do desenvolvimento humano espacialmente e sugere que os efeitos espaciais são maiores que os efeitos locais enquanto o indicador não tem alta significância estatística localmente. Essas conclusões serão mais bem corroboradas quando se analisar a abertura dos subíndices de desenvolvimento humano, o que será realizado no modelo 2.

No tocante à influência do Programa Bolsa Família, percebe-se que ele atingiu seu objetivo, podendo ser considerado uma *proxy* para renda mínima, uma vez que esta variável foi significativa a um nível de significância de 5%, e seu grau de impacto para o consumo de energia elétrica em baixa tensão nos municípios de Ceará foi de 0,13. Isso significa dizer que se o número de famílias

que recebem o programa aumentar em 1%, a demanda por energia elétrica em baixa tensão tende a aumentar em 0,13%. Foi verificado também que o nível de significância e de sensibilidade é maior espacialmente (0,19) que localmente (0,1324), o que, conforme intuição verificada na análise do desenvolvimento humano, sugere que o efeito espacial de uma variável explicativa tem maiores impactos que aqueles verificados localmente.

Ainda, é possível concluir que a variação da atividade econômica é significativa a 1% para determinar o consumo de energia elétrica em baixa tensão no Ceará, e que seu nível de afetação, na média, é de 0,15. Destarte, se em determinado momento ocorrer a retração da atividade econômica em 1% num município, como ocorre atualmente em função da crise sanitária da Covid-19, o consumo de tal bem essencial retrai em 0,15%.

Esse fato reforça a importância de políticas de preços subsidiados para as famílias hipossuficientes em momentos de crise, como as implantadas pela Medida Provisória nº 950/2020, dado o impacto comprovado para o consumo de tal bem, especialmente para a população mais carente do estado.

Por fim, a variação da atividade econômica não foi significativa para explicar espacialmente as variações no consumo de energia elétrica em baixa tensão no Ceará, não havendo transbordamento dos seus efeitos, indicando que reduções da atividade econômica de um município não necessariamente afetam o consumo de energia elétrica no seu envoltório.

A fim de entendermos melhor os impactos do desenvolvimento humano para o consumo de energia elétrica em baixa tensão no Ceará, uma estimação do modelo 2 (Tabela 7) foi realizada. Nela, o desenvolvimento humano foi detalhado em seus subíndices de desenvolvimento relativos à saúde, educação e renda.

Verifica-se que apenas o subíndice de desenvolvimento humano relativo à educação nos municípios do Ceará foi capaz de impactar o consumo de energia elétrica em baixa tensão, apresentando alta significância estatística em sua influência local e nível de sensibilidade de 0,34. O resultado verificado indica que investimentos que ampliem em 1% o índice de desenvolvimento relacionado com educação, na média, ampliam em 0,34% a referida demanda localmente. Ainda, elevam em 0,81% o nível de consumo desse bem essencial no envoltório. Logo, a aplicação de políticas voltadas à educação básica, como a estudada por Araújo, Leite e Andriola (2019) no Ceará, conduzem a efeitos que ultrapassam as localidades de sua aplicação, ampliando local e espacialmente a demanda por bens essenciais, como a energia elétrica.

No Ceará, os níveis de desenvolvimento humano relativos à saúde e renda não conseguem influenciar localmente a referida demanda. Essa é uma explicação plausível para o baixo nível de significância estatística (10%) verificado para o índice geral de desenvolvimento humano (F), observado anteriormente. Contudo, é preciso enfatizar que, espacialmente, o subíndice relativo à saúde é significativo (1%), e que seu nível de sensibilidade é de -0,17.

A princípio, pode parecer contraintuitivo imaginar que o efeito espacial de ampliação de qualquer subíndice de desenvolvimento humano seja negativo, todavia é possível encontrar uma explicação razoável. Albuquerque *et al.* (2017) identificaram que a formação de corredores econômicos no litoral do Nordeste, por exemplo, foi um dos motivadores das desigualdades no Brasil. Como uma de suas consequências, a distribuição dos serviços de saúde é concentrada em torno das áreas economicamente mais ativas, o que requer expressiva movimentação dos pacientes das regiões mais pobres em busca de atendimento.

Assim, tal fluxo migratório é a possível explicação para o resultado encontrado. Dentro do período de análise, o Ceará experimentou expressiva mudança do perfil de desenvolvimento de saúde, passando de majoritariamente baixo/regular (84,32%) para majoritariamente moderado/alto (99,46%). Dessa forma, por exemplo, imagine que tenha sido criada uma unidade de saúde em localidade onde antes inexistia atendimento. Percebe-se, intuitivamente, que o consumo de energia elétrica em baixa tensão irá aumentar nessa localidade em função da própria instalação médica.

Contudo, o consumo de energia elétrica em baixa tensão tende a diminuir nas cidades próximas devido aos fluxos de indivíduos que buscam atendimento.

Tabela 7 – Efeitos Diretos e Indiretos do modelo SDM sobre a demanda por energia elétrica em baixa tensão com base no modelo 2 para o estado do Ceará – 2005 a 2016

Log C	SDM	Efeitos – SDM		
		Efeito Direto (a)	Efeito Indireto (a)	Efeito Total (a)
W (Log C)	0,2288*** (0,0294)	-	-	-
Log P		-1,3755*** (0,1424)	-0,3887*** (0,0800)	-1,7642*** (0,2000)
Log FS		- 0,0063 (0,0352)	- 0,0018 (0,0102)	- 0,0080 (0,0454)
Log FE		0,2682*** (0,0696)	0,0758*** (0,0244)	0,3440*** (0,0909)
Log FR		- 0,0184 (0,0219)	- 0,0052 (0,0064)	- 0,0236 (0,0282)
Log BFp		0,0733(.) (0,0410)	0,0207 (0,0124)	0,0940(.) (0,0529)
Log VPIB		0,1099** (0,0389)	0,0311* (0,0128)	0,1410** (0,0570)
W (Log P)	1,5235*** (0,1447)	-	-	-
W (Log FS)	- 0,1735** (0,0563)	-	-	-
W (Log FE)	0,8059*** (0,1035)	-	-	-
W (Log FR)	0,0402 (0,0466)	-	-	-
W (Log BFp)	0,1207(.) (0,0683)	-	-	-
W (Log VPIB)	- 0,0124 (0,0569)	-	-	-

Notas: (a) Resultados obtidos por meio do pacote *spml* no software *R*stúdio. Entre parênteses estão discriminados os Erros-padrão robustos. (\*\*\*) significativo a 0,1%; (\*\*) significativo a 1%; (\*) significativo a 5%; (.) significativo a 10%; ( ) não significativo.

Ademais, é padrão ainda a maior sensibilidade dos subíndices de desenvolvimento humano espacialmente (saúde e educação) do que seus respectivos resultados locais, característica que ocorreu também na análise do indicador de desenvolvimento humano (F). Esse resultado reforça a intuição espacial observada no modelo 1 de que os efeitos espaciais são maiores que os efeitos locais até que estes sejam significativos estatisticamente. É importante frisar que essa ratificação de resultados inicialmente parecia contralógica, pois esperava-se que os efeitos locais fossem mais fortes; contudo, esses resultados sugerem que em localidades onde os índices de desenvolvimento não se encontram totalmente amadurecidos, os efeitos espaciais são mais intensos do que os efeitos locais. Essa inferência fortalece a importância da aplicação e resiliência de políticas públicas voltadas à ampliação dos indicadores socioeconômicos de desenvolvimento humano, pois, na prática, inicialmente seus resultados têm efeitos de espraiamento espacial maiores que seus efeitos locais.

De forma a complementar a análise relativa aos efeitos do Programa Bolsa Família (Log BF) no modelo 1, no qual foi significativo, o resultado da variável de desenvolvimento humano relativo à renda (Log FR) no modelo 2 demonstra que esta variável explicativa ainda não é capaz de influenciar a demanda por energia elétrica em baixa tensão. A melhora deste indicador socioeconômico pode ser alcançada pela diminuição do desemprego, pelo aumento real da renda, mas também pela ampliação de beneficiários do Programa Bolsa Família ou mesmo pelo aumento do valor do benefício. Assim, a partir dos resultados da pesquisa, pode-se concluir que, embora o Programa Bolsa Família possa ter alcançado seu objetivo de servir como *proxy* de renda mínima, ele tem espaço

para fortalecimento no estado do Ceará, uma vez que ainda há espaço para se elevar o nível de influência do desenvolvimento humano relativo à renda sobre a demanda por energia elétrica em nível de baixa tensão.

Por fim, é possível perceber, a partir dos resultados da estatística *I de Moran* dos resíduos dos modelos (Tabela 8), que o modelo de Durbin Espacial (SDM) aplicado por meio da técnica econométrica espacial aos pressupostos teóricos estabelecido nas equações (3) e (4) foi capaz, de forma geral, de controlar a dependência espacial verificada inicialmente.

Esse resultado reforça que, na existência de dependência espacial nos dados, a técnica espacial é essencial para estimativas mais apuradas, corrigindo inclusive eventuais resultados viesados verificados nas estimativas sem controle da dependência espacial. A exceção a essa conclusão é verificada nos anos mais acentuados em termos de crises econômicas (2009 e 2014). Nesse caso, os modelos espaciais não foram capazes de controlar totalmente a dependência espacial, mas apenas de mitigar seus efeitos.

Tabela 8 – Resultados do controle da dependência espacial

<i>I de Moran</i> dos resíduos dos Modelos			p-valor da estatística <i>I de Moran</i> dos resíduos		
Ano	Modelo 1	Modelo 2	Ano	Modelo 1	Modelo 2
2005	-0,044	0,0106	2005	0,1910	0,3520
2006	-0,013	-0,0048	2006	0,4370	0,4850
2007	-0,0186	0,0854*	2007	0,3940	0,0360
2008	0,0236	-0,0023	2008	0,2700	0,0690
2009	0,0786*	0,154*	2009	0,0250	0,0040
2010	-0,0342	-0,0041	2010	0,2930	0,3220
2011	-0,001	-0,0293	2011	0,3550	0,1270
2012	-0,0829*	-0,0095	2012	0,0450	0,4650
2013	-0,0126	0,0715	2013	0,4270	0,0690
2014	0,0898*	0,1223*	2014	0,0270	0,0080
2015	0,0043	0,0433	2015	0,4040	0,1440
2016	-0,024	0,0276	2016	0,3420	0,2350

Notas: Significância estimada com base em 999 permutações apenas para o modelo SDM aplicado aos modelos 1 e 2. (\*) significativo a 5%.

Assim, é necessário reforçar que, em momentos de crise econômica, é necessária a ampliação de políticas públicas voltadas à manutenção de acesso a bens essenciais, como o aumento dos valores de auxílios financeiros. Essa conclusão é reforçada em função da diminuição dos efeitos espaciais sob essas condições. Em condições de normalidade, os efeitos da aplicação de políticas públicas são ampliados devido aos resultados espaciais. Todavia, em situações de retração da atividade econômica, os efeitos espaciais ficam enfraquecidos, razão pela qual as ações anticíclicas devem ser exercidas com um esforço ainda maior por parte do poder público, quando comparadas a momentos de menor tensão econômica.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ideia central deste artigo foi investigar o impacto da dinâmica do preço, do desenvolvimento humano, do Programa Bolsa Família e da variação da atividade econômica sobre a demanda por energia elétrica em baixa tensão *per capita* no estado do Ceará.

A observação descritiva e distributiva dos dados demonstrou um avanço em termos de consumo de energia elétrica em baixa tensão *per capita*, indicando uma melhora do bem-estar no estado. Esse resultado está alinhado com a evolução do índice geral de desenvolvimento humano verificado no Ceará no período de análise (2005-2016).

Contudo, em termos de distribuição, percebe-se um padrão de concentração espacial, indicando que algumas áreas tendem a ter certa homogeneidade. Ainda, verifica-se que esse padrão ocorreu com a formação de um intenso *cluster* do tipo baixo-baixo no interior do estado. Dessa forma, como verificado em outras pesquisas, a exemplo de Albuquerque *et al.* (2017), são necessárias políticas públicas de fortalecimento da dinâmica econômica do interior do Ceará para influenciar o consumo de bens essenciais, como a energia elétrica em baixa tensão.

Na análise econométrica, identificou-se que o consumo de energia elétrica em baixa tensão no Ceará é fortemente elástico ao preço (-1,98). Esta evidência é uma contribuição importante desta pesquisa: a demanda por energia elétrica em baixa tensão numa região onde o processo de desenvolvimento humano ainda não está amadurecido é fortemente elástica ao preço. Reforça-se aqui que, em virtude de tal conclusão, o poder público deve estar atento a regiões com essas características de forma a ampliar políticas públicas voltadas a mitigar esse efeito.

Ainda, restou demonstrada que a dinâmica econômica presente nesse tipo de composição de consumo é refletida no resultado do impacto espacial do preço, evidenciando que quando o preço aumenta em um determinado município do estado do Ceará, há tendência de migração de consumo para cidades do envoltório.

Verificou-se ainda que os impactos da atividade econômica são significativos para influenciar tal demanda, fazendo, por exemplo, que períodos impactantes para a economia, como a crise sanitária da Covid-19, influenciem negativamente o consumo desse bem essencial. Dessa forma, ficou evidenciado que o fortalecimento de políticas de subsídios tarifários são um importante instrumento de políticas públicas voltadas a dirimir o efeito de crises econômicas sobre o consumo de energia elétrica em baixa tensão.

A análise do impacto do Programa Bolsa Família demonstrou que a política de desenvolvimento de renda alcançou seu objetivo de servir como *proxy* de renda mínima. Todavia, a observação complementar do resultado do subíndice de desenvolvimento humano relativo à renda demonstrou que existe espaço para ampliação do referido programa, com vistas a tornar esse indicador capaz de influenciar o consumo de energia elétrica em baixa tensão local e espacialmente, o que não ocorreu a partir dos resultados econométricos.

Quanto à análise do desenvolvimento humano, o indicador geral demonstrou baixa significância estatística, o que ocorreu devido aos subíndices de saúde e renda não serem capazes ainda de influenciar tal demanda. Verificou-se que o subíndice de desenvolvimento humano relativo à saúde apresentou início de um processo de relevância, contudo seu efeito local ainda não é significativo, impactando apenas espacialmente o referido consumo. No estado do Ceará, apenas o subíndice de desenvolvimento relativo à educação é capaz de influenciar localmente a demanda por energia elétrica em baixa tensão.

No tocante à questão espacial, foi possível perceber que o emprego da técnica espacial adequada levou ao controle da dependência espacial, com exceção dos anos com forte crise econômica. Dessa forma, percebe-se que crises econômicas diminuem a capacidade dos efeitos espaciais de influenciar o consumo de energia elétrica em baixa tensão, o que reforça a necessidade de ampliação das políticas públicas voltadas à suavização dos efeitos sociais negativos em momentos de crise.

Percebe-se ainda que existe um padrão de impacto quanto aos níveis de influência local e espacial dos resultados. Nesse sentido, é necessário observar que o Ceará apresentou um processo de evolução do desenvolvimento humano no período de análise, e que, considerando isso, um indicador de desenvolvimento que não tem relevância local, mas tem relevância espacial, representa o início do processo de desenvolvimento desse indicador. Por outro lado, superada essa fase, enquanto tal processo não se encontra completamente em estágio de evolução, os efeitos espaciais são maiores e mais impactantes que os efeitos locais. Espera-se que, em futura fase evolutiva do desenvolvimento humano, os efeitos locais superem os efeitos espaciais.



Dessa forma, é imperioso enfatizar que a presença de autocorrelação espacial nos dados permite estabelecer que a aplicação de políticas públicas tem efeito de transbordamento, favorecendo, inicialmente, os efeitos espaciais. Logo, a resiliência na aplicação das referidas políticas é necessária para as fases evolutivas dos efeitos do desenvolvimento humano enquanto determinante do consumo de energia elétrica em baixa tensão nos municípios cearenses.

Por fim, de modo a idealizar uma possível rota de amadurecimento das conclusões observadas na presente pesquisa, seria interessante que mais análises espaciais sejam aplicadas ao consumo de energia elétrica. Uma forma seria sua aplicação às análises horizontais de consumo de energia elétrica (residencial, comercial, industrial). Outra, a realização de estudos comparativos entre estados com nível de desenvolvimento humano diferentes.

## REFERÊNCIAS

- ACEMOGLU, D.; ROBINSON, J. **Why Nations Fail: the origins of power, prosperity, and poverty**. London: Profile Books, 2012.
- ALBUQUERQUE, M. V. *et al.* Desigualdades regionais na saúde: mudanças observadas no Brasil de 2000 a 2016. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, p. 1055-1064, 2017.
- ALMEIDA, Eduardo. **Econometria Espacial aplicada**. Campinas-SP: Editora Alínea, 2012.
- AMARAL, M. R. S.; LIMA, J. W. M. O Racionamento e a Racionalização do Consumo de Energia Elétrica Residencial após a Crise de 2001 no Brasil: Uma Aplicação da Abordagem de Cointegração. **XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Goiânia-GO, 2006, págs. 563-574.
- ANDRADE, T. A.; LOBÃO, W. J. A. **Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil**. Texto para Discussão n. 489. Rio de Janeiro: IPEA, 1997.
- ANSELIN, L. **Spatial Econometrics: methods and models**. Boston: Kluwer Academic, 1988.
- ARAÚJO, K. H.; LEITE, R. H.; ANDRIOLA, W. B. Prêmios para escolas e professores com base no desempenho acadêmico discente: a experiência do estado do Ceará (Brasil). **Revista Linhas**. Florianópolis, v. 20, n. 42, p. 303-325, jan./abr. 2019.
- BALLER, R. D.; ANSELIN, L.; MESSNER, S. F.; DEANE, G.; HAWKINS, D. F. Structural covariates of US county homicide rates: Incorporating spatial effects. **Criminology**, v. 39, n. 3, p. 561-588, 2001.
- BAUMOL, William J. On the proper cost tests for natural monopoly in a multiproduct industry. **The American economic review**, v. 67, n. 5, p. 809-822, 1977.
- BRASIL. Medida Provisória 950, de 8 de abril de 2020. Dispõe sobre medidas temporárias emergenciais destinadas ao setor elétrico para enfrentamento do estado de calamidade pública reconhecido pelo Decreto Legislativo nº 6, de 20 de março de 2020, e da emergência de saúde pública de importância internacional decorrente da pandemia de coronavírus (covid-19). **Diário Oficial da União** – Seção 1 – 8 abr. 2020.
- BURNEY, N. A. Socioeconomic development and electricity consumption A cross-country analysis using the random coefficient method. **Energy Economics**, v. 17, n. 3, p. 185-195, 1995.

- CABRAL, J. A. **Demanda de Eletricidade Regional no Brasil: Uma Análise Espaço-Temporal**. 2017. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- ELHORST, J. P. **Spatial panel data models**. In: FISHER, M. M.; GETIS, A. (ed). *Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Applications*. Berlin: Springer, 2010.
- ELHORST, J. P. **Spatial econometrics: from cross-sectional data to spatial panels**. Berlin: Springer, 2014.
- EL HAGE, F. S.; OLIVEIRA, C. B.; MACHADO, M. M. Estrutura Vertical da Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição de Energia: Uma Proposta Alternativa. **Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL)**, Fortaleza, Ceará, 2011.
- FISHER, F. M., KAYSEN, C. **A Study in Econometrics: The Demand for Electricity in the United States**, Amsterdam: North-Holland Pub. Co, 1962.
- GARCEZ, E. W.; GHIRARDI, A. G. Elasticidades da demanda residencial de energia elétrica. In: **Anais do XXXI Encontro Nacional de Economia**. ANPEC – Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia. Brasil, 2003.
- GOMEZ, L. M. B.; FILIPPINI, M.; HEIMSCH, F. Regional impact of changes in disposable income on Spanish electricity demand: A spatial econometric analysis. **Energy economics**, v. 40, p. S58-S66, 2013.
- HOUTHAKKER, H. S. Some calculations of electricity consumption in Great Britain. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 114, n. 3, p. 359-371, 1951.
- LESAGE, J.; PACE, R. K. **Introduction to spatial econometrics**. Boca Raton, FL: CRC press, 2009.
- LUCINDA, C. R.; NETO, F. A. Non-linear Demand and Price: An Empirical Analysis of the Brazilian Industrial Electricity Consumption. **Brazilian Review of Econometrics**, v. 34, n. 2, p. 99-123, 2014.
- MATTOS, L. B.; LIMA, J. E.; Demanda residencial de energia elétrica em Minas Gerais: 1970-2002. **Nova Economia**, nº 15 (3), p. 31-52, set.-dez. 2005.
- MATTOS, L. B.; REIS, B. S.; LIMA, J. E.; LÍRIO, V. S. Demanda industrial de energia elétrica em Minas Gerais, 1970-2002. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 3, n. 822-2016-54154, p. 97-120, 2005.
- MATTOS, L. B.; REIS, B. S.; LIMA, J. E.; LÍRIO, V. S. Demanda de Energia Elétrica pelo Setor Comercial em Minas Gerais: 1970-2002. **Revista GEPEC**, Vol. 10, n. 1, jan.-jun. 2006.
- MILOCA, S. A.; CONEJO, P. D. Multicolinearidade em modelos de regressão. **Anais. XXII Semana Acadêmica de Matemática do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná**. Maringá, 2013.
- MODIANO, E. **Elasticidade-renda e preços da demanda de energia elétrica no Brasil**. Texto para discussão, 1984.
- MOUNT, T. D., CHAPMAN, L. D., TYRRELL, T. J. **Electricity Demand in the United States: An Econometric Analysis**. Oak Ridge National Laboratory (ORNL-NSF-49), Oak Ridge, Tenn., June 1973.

NICHOLSON, W.; SNYDER, C. **Microeconomic theory**: Basic principles and extensions. Tenth Edition. Mason: Thomson South-Western, 2008.

NIU, S.; JIA, Y.; WANG, W.; HE, R.; HU, L.; LIU, Y. Electricity consumption and human development level: A comparative analysis based on panel data for 50 countries. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 53, p. 338-347, 2013.

OHTSUKA, Y.; OGA, T.; KAKAMU, K. Forecasting electricity demand in Japan: A Bayesian spatial autoregressive ARMA approach. **Computational Statistics and Data Analysis**, 54:2721-35, 2010.

OLIVEIRA, V. H.; TAVARES, R. S.; TAVARES, L. A. Demanda residencial por energia elétrica no Brasil (2004-2015). **Revista Catarinense de Economia**, v. 2, n. 1, p. 142-162, 2018.

ROBINSON, W. S. Ecological correlations and the behavior of individuals. **International journal of epidemiology**, v. 38, n. 2, p. 337-341, 1950.

ROS, A. J. An econometric assessment of electricity demand in the United States using utility-specific panel data and the impact of retail competition on prices. **The Energy Journal**, v. 38, n. 4, 2017.

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

SCHUTZE, A. M. **A demanda de energia elétrica no Brasil**. 2015. Tese (Doutorado em Economia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

SILVA, W. C.; RAIHER, A. P. **Consumo de energia elétrica em baixa tensão e suas elasticidades preço e renda: uma análise espacial comparada**. XXIII Encontro de Economia da região Sul. Rio Grande do Sul, 2020.

SOUZA, D. M.; MATTOS, R. S.; ALMEIDA, E. S. Efeitos espaciais e elasticidades da demanda residencial de eletricidade no Brasil. **Anais do XV Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, São Paulo, 2017.

STOCK, J. H.; YOGO, M. Testing for weak instruments in linear IV Regression. *In*: ANDREWS, D. W; STOCK, J. **Identification and Inference for Econometric Models**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2005.

TOBLER, W. R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. **Economic geography**, v. 46, n. sup1, p. 234-240, 1970.

WILSON, J. W. Residential demand for electricity. **The Quarterly Review of Economics and Business**, v. 11, n. 1, p. 7-22, 1971.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introdução à econometria: uma abordagem moderna**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

ZUBA, M. E. **A energia elétrica como instrumento de desenvolvimento humano e o desafio ao plano nacional de energia brasileiro**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.