



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA - CAEN
MESTRADO PROFISSIONAL EM ECONOMIA - MPE

ANTÔNIO ROQUE DE SOUZA JÚNIOR

**O IMPACTO DA MUDANÇA CLIMÁTICA SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA NO ESTADO DO CEARÁ**

FORTALEZA
2015

ANTÔNIO ROQUE DE SOUZA JÚNIOR

**O IMPACTO DA MUDANÇA CLIMÁTICA SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA NO ESTADO DO CEARÁ**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Economia – Mestrado Profissional – da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia. Área de Concentração: Economia do Setor Público.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Carneiro Linhares

FORTALEZA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós Graduação em Economia - CAEN

-
- S713i Souza Junior, Antonio Roque de
O impacto da mudança climática sobre o consumo de energia elétrica no Estado do Ceará
/Antonio Roque de Souza Junior. – 2016.
42f. il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado profissional) – Programa de Pós Graduação em Economia, CAEN,
Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Fabricio Carneiro Linhares
1. Desenvolvimento econômico 2 Energia elétrica- Consumo I. Título.

CDD 338.9

ANTÔNIO ROQUE DE SOUZA JÚNIOR

**O IMPACTO DA MUDANÇA CLIMÁTICA SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA NO ESTADO DO CEARÁ**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Economia – Mestrado Profissional – da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia. Área de Concentração: Economia do Setor Público.

Aprovada em: **30 de março de 2015**.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabrício Carneiro Linhares (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Guilherme Diniz Irffí
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Leandro de Almeida Rocco
Universidade Federal do Ceará – UFC

Aos meus pais (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

À minha querida esposa, Kaline, que sempre me incentivou e me deu todo apoio de que precisei em todos os momentos.

Ao meu orientador, Prof. Fabrício, pela sua disponibilidade e pela forma compreensiva e participativa com que me orientou.

À Silvia Fernanda, que, com muita generosidade, me ajudou a obter uma parte importante dos dados utilizados em minha pesquisa.

Aos meus chefes e amigos, Daniela e Glison, pelo suporte e incentivo que sempre me deram.

Aos colegas de turma, Aldeson, Marcus, Márcia Oliveira, Márcia Ximenes pelo companheirismo e amizade ao longo de todo o curso do mestrado.

A todos os professores e funcionários do CAEN que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu concluísse com sucesso o meu trabalho de pesquisa.

RESUMO

O consumo de energia elétrica guarda uma estreita relação com o desenvolvimento econômico de uma região. Reconhecendo a importância desse vetor energético para a economia cearense, o presente estudo tem como objetivo investigar, com ênfase no fator climático, os determinantes das demandas residencial e industrial de energia elétrica no Estado do Ceará, no período compreendido entre 2003 e 2013, e, base na economia atual, simular o efeito do aumento da temperatura projetada por modelos climatológicos sobre a demanda de eletricidade para o período entre 2014 e 2040. As demandas residencial e industrial foram relacionadas, respectivamente, com a demanda por conforto térmico e com a necessidade de resfriar máquinas e equipamentos industriais. A estimação do modelo para as duas classes de consumo foi realizada com dados em séries temporais, por meio da utilização do método de Mínimos Quadrados Ordinários Dinâmicos. Assim como em outros estudos já realizados, em nossa investigação, a demanda para as duas classes se mostrou pouco sensível a variações no seu próprio preço e na renda da população. Quanto à temperatura, concluímos se tratar de um importante fator determinante da demanda de energia elétrica no Estado do Ceará para as duas classes de consumo analisadas. O resultado da simulação sugere um expressivo aumento das demandas residencial e industrial de eletricidade, como resposta adaptativa à mudança climática projetada para as próximas décadas.

Palavras-chave: Consumo de energia elétrica. Demandas residencial e industrial. Fator climático.

ABSTRACT

Electricity consumption has a strict relationship with a region's economic development. Recognising the importance of this energy vector for the Ceará State economy, the present study aims at investigating the determinants of the residential and industrial electricity demands in the State of Ceará, with emphasis on the climatic factor, in the period between 2003 and 2013, and also at simulating the effects of the increase in temperature, projected by climate models, on electricity demand for the period between 2014 and 2040, based on the current economy. The residential and industrial demands were related, respectively, with the demands for thermal comfort and the need of cooling down industrial machinery and equipments. The model estimation for both consumption classes was performed on time series data, using the Dynamic Ordinary Least Squares method. As is the case in other studies, in our investigation the demand for both classes showed little sensitivity to variations on their own price as well as to the income level of the population. As for the temperature variable, we concluded that it is an important determining factor on the electricity demand in the Ceará State for both consumption classes analysed. The result of the simulation suggests a significant increase on both residential and industrial demands as an adaptive response to the projected climate change for the next decade.

Keywords: Electricity consumption. Residential and industrial demands. Climatic factor.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Identificação das Variáveis Utilizadas nos modelos residencial e industrial.....	26
Tabela 2 - Média, desvio-padrão, valor mínimo e valor máximo dos dados utilizados na estimação do modelo de demanda.....	26
Tabela 3 - Incremento da temperatura média mensal futura no Estado do Ceará em relação ao período atual (2003 – 2013), considerando os cenários A1FI e A2.....	27
Tabela 4 - Teste ADF em nível e em primeira diferença.....	29
Tabela 5 - Teste de cointegração Phillips-Ouliaris.....	31
Tabela 6 - Teste de instabilidade de Hansen.....	31
Tabela 7 - Coeficientes estimados para as demandas residencial e industrial de energia elétrica no Ceará.....	33
Tabela 8 - Variação percentual da quantidade consumida de energia elétrica no Estado do Ceará, para cada período, em relação ao período atual (2003 – 2013), para os cenários A1FI e A2.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	MUDANÇAS CLIMÁTICAS E POLÍTICAS ADAPTATIVAS: UMA EQUAÇÃO NECESSÁRIA	12
3	MUDANÇAS CLIMÁTICAS: IMPLICAÇÕES SOBRE A DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA	18
3.1	Demanda de energia elétrica sob análise	18
3.2	Base teórico-metodológica	20
3.2.1	<i>Resfriamento residencial e conforto</i>	21
3.2.2	<i>Demanda industrial de energia elétrica</i>	23
4	METODOLOGIA	25
4.1	Hipóteses	25
4.2	Objetivo geral	25
4.3	Objetivos específicos	25
4.4	Descrição e análise dos dados	26
4.4.1	<i>Dados históricos</i>	26
4.4.2	<i>Dados de previsão climática</i>	27
4.4.3	<i>Estimação da demanda</i>	27
4.4.3.1	<i>Cointegração de modelos multivariados</i>	28
4.4.3.2	<i>Modelos de equação única</i>	28
4.4.3.3	<i>Teste de raiz unitária</i>	29
4.4.3.4	<i>Modelo econométrico: representação triangular</i>	29
4.4.3.5	<i>Teste de cointegração</i>	30
4.4.3.6	<i>Estimação dos parâmetros: Mínimos Quadrados Ordinários Dinâmicos (DOLS)</i>	31
5	RESULTADOS	34
5.1	Mudança climática e seu impacto sobre o consumo de energia elétrica	34
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A eletricidade é uma das fontes de energia mais convenientes, devido à sua flexibilidade e facilidade de transporte. É também uma das mais baratas e limpas, quando geradas por meio de usinas hidrelétricas.

No ano de 2013, houve um aumento de 3,6% do consumo final de eletricidade no Brasil, frente a um aumento de 2,9% do consumo final de energia no mesmo período, no ano anterior. Essa tendência de “eletrificação” da economia do país vem sendo observada ao longo das últimas décadas. Em comparação com o ano de 1970, houve um aumento de 11,6% na participação da energia elétrica. Conforme análise dos dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2014), apenas o óleo diesel, responsável por 18,8% do consumo total de energia no país em 2013, ainda supera a energia elétrica, que respondeu por 17,1% do consumo total.

O consumo de energia elétrica guarda uma estreita relação com a evolução do PIB (PDEE, 2008), por isso a sua disponibilidade tem fundamental importância para o desenvolvimento econômico e social de um país, região ou estado. O reconhecimento da relevância dessa fonte de energia motivou diversos estudos sobre os determinantes de sua demanda.

No Brasil, Modiano (1984) foi um dos primeiros pesquisadores a realizar esse tipo de estudo, estimando a sensibilidade da demanda de eletricidade em relação ao preço e à renda no período entre 1966 e 1981, utilizando o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). A partir de então, outros estudos foram realizados, como o de Andrade e Lobão (1997), que utilizaram um Modelo de Correção de Erro Vetorial (MCEV) para realizar uma atualização do trabalho de Modiano (1984), para o período de 1970 a 1995. Schmidt e Lima (2004) também utilizaram o método MCEV para fazer uma análise da demanda de eletricidade para as classes residencial, industrial e comercial, para o Brasil, no período entre 1969 e 1999.

A maioria dos estudos encontrados na literatura nacional, porém, tem foco, sobretudo, na estimação da elasticidade-preço e na elasticidade-renda, sem levar em consideração o fator climático em sua análise, como observou (RODRIGUES, 2012).

No cenário internacional, de acordo com Aroonruengsawat e Auffhammer (2009), os primeiros estudos acerca da estimação de demanda já reconheciam a importância do clima no consumo de eletricidade, e explicitamente controlavam essa variável climática para prevenir estimativas enviesadas de coeficientes, bem como para ganho de eficiência. Eles assumiam, dessa forma, um sistema climático estacionário. Ainda nas palavras de

Aroonruengsawat e Auffhammer (2009), o advento das mudanças climáticas antropogênicas trouxe uma nova e importante dimensão de incerteza sobre a demanda futura, o que levou ao início de uma pequena literatura sobre a estimação dos impactos das mudanças climáticas no consumo de energia.

Essas mudanças decorrem do aquecimento global causado pela concentração de gases do efeito estufa, os quais provocam a retenção de calor na superfície terrestre e uma elevação da temperatura média anual. A omissão dessa importante variável nos estudos sobre os determinantes da demanda de energia elétrica resulta em estimativas possivelmente enviesadas e que, portanto, inviabilizam abordagens de estratégias para adaptação ao processo de mudança climática (RODRIGUES, 2012).

Partindo dessa premissa, Silk e Joutz (1997) analisaram a demanda residencial de eletricidade nos Estados Unidos e incluíram índices de estoque de equipamentos elétricos utilizados sazonalmente para captar os efeitos das mudanças climáticas, no período entre 1949 e 1995. Segundo os autores, esses índices tiveram importância central em suas análises no que se refere à elasticidade-renda de longo prazo e à política energética. Ruth e Lin (2005), por sua vez, utilizaram dados em séries temporais de consumo de energia elétrica residencial no período de 1977 e 2001 para analisar a demanda *per capita* no Estado de Maryland, nos Estados Unidos, levando em consideração o fator climático. Os autores estimaram um significativo impacto do clima sobre o consumo de eletricidade. Bigano *et al.* Utilizaram uma análise em painel dinâmico para avaliar a importância do fator climático na demanda por energia residencial, comercial e industrial nos países membros da Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), entre os anos de 1978 e 2000. No tocante à energia elétrica, os autores constataram que a demanda residencial responde negativamente a aumentos da temperatura para a maioria dos países em análise. A demanda industrial se mostrou insensível ao fator climático, de modo geral.

No que concerne ao Estado do Ceará, não identificamos na literatura estudos a respeito dos determinantes da demanda de energia elétrica que incorporem fatores climáticos em sua investigação. Com vistas a preencher essa lacuna, decidimos investigar os determinantes da demanda de energia elétrica das classes residencial e industrial no Estado (elasticidade do consumo em relação à renda, à tarifa e à temperatura), no período compreendido entre os anos de 2003 e 2013, dando ênfase ao determinante climático e seus efeitos projetados para o futuro.

Nosso objetivo geral se desdobra em dois objetivos específicos, quais sejam: estimar a sensibilidade da demanda agregada de energia elétrica no Estado do Ceará em

relação à tarifa, à renda e à temperatura para as classes de consumo residencial e industrial no período em análise; e simular os efeitos das mudanças projetadas pelo IPCC para o clima regional sobre as demandas residencial e industrial de energia elétrica no Estado do Ceará no período entre 2014 e 2040. A estimação dos parâmetros para as duas classes de consumo será realizada com dados em séries temporais, e a simulação dos efeitos das mudanças climáticas será feita comparando-se a sensibilidade estimada para a demanda de eletricidade em relação à variável climática com a variação na temperatura média futura projetada para o Ceará, com base nos cenários de emissão A1FI e A2, desenvolvidos pelo IPCC.

Nosso trabalho está organizado em mais cinco capítulos, além desta introdução. No segundo, intitulado *Mudanças climáticas e políticas adaptativas: uma equação necessária*, discutimos a problemática da mudança climática e sua importância para o planejamento energético. No terceiro, *Mudanças climáticas: implicações sobre a demanda de energia elétrica*, fazemos uma breve revisão da literatura nacional e internacional de alguns dos principais estudos empreendidos a respeito da demanda de energia elétrica e de sua relação com as mudanças climáticas. No quarto, que recebe o nome de Metodologia, apresentamos o delineamento metodológico de nosso estudo. No quinto, *Descrição e Análise dos dados*, procedemos à análise de dados. No sexto, tecemos as considerações finais.

2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E POLÍTICAS ADAPTATIVAS: UMA EQUAÇÃO NECESSÁRIA

Neste capítulo, discutimos a problemática da mudança climática e sua importância para o planejamento energético.

Ao longo dos últimos 50 anos, a atividade humana, principalmente a queima de combustíveis fósseis, lançou quantidades de dióxido de carbono (CO₂), e outros gases de efeito estufa, suficientes para afetar o clima global. A concentração de CO₂ cresceu mais de 30% desde a era pré-industrial, retendo mais calor nas camadas mais baixas da atmosfera (WHO, 2014).

O resultado desse processo é conhecido como mudança climática, definida por UNFCCC (1992) como uma mudança no clima, atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, que altera a composição da atmosfera e que se soma à variabilidade natural do clima, observada em períodos de tempo comparáveis.

Segundo AR5 (2013), o setor de eletricidade será afetado pela mudança climática através da maior demanda de resfriamento e menor demanda de aquecimento. Deverá haver, ainda, uma regulação mais rígida do setor, destinada a reduzir a emissão de dióxido de carbono (CO₂), principal causador do efeito estufa. De acordo com o AR4 (2007), a geração de energia foi o setor que mais lançou gases de efeito estufa na atmosfera terrestre no ano de 2004, respondendo por 25,9% das emissões totais, seguido da indústria (19,4%) e do setor florestal (17,4%), que inclui o desmatamento. Esses números explicam por que grande parte da literatura especializada, até recentemente, estava mais preocupada com os efeitos da produção e consumo de energia sobre o aquecimento global, e não o contrário.

Entende-se, assim, que a atividade do setor energético pode ser compreendida tanto no contexto do problema, já que este mesmo setor é responsável por grande parte das emissões globais, bem como da sua solução, uma vez que é alvo de políticas destinadas a reduzir a presença de gases do efeito estufa na atmosfera (BEECHER; KALMBACH, 2012). Conseqüentemente, o padrão de resposta e adaptação dentro do setor pode ser influenciado tanto pelas políticas de mudança climática como também pela variação na demanda de energia atribuída às mudanças do clima. Esta última, foco do presente trabalho.

No caso do Brasil, estima-se que o desmatamento da Amazônia seja o maior responsável pelas emissões nacionais, respondendo por cerca de 60% do total, segundo (EMCB, 2010). Particularmente, o índice de emissão de CO₂ do setor elétrico brasileiro é muito baixo quando se estabelecem comparações internacionais. Isto se dá devido à forte

participação de fontes renováveis, não poluentes, em sua matriz, como é o caso das fontes hidráulica, biomassa e eólica. Os setores elétricos americano e chinês, por exemplo, emitem, respectivamente, 9 e 14 vezes mais que o brasileiro. Segundo (BEN, 2014), no ano de 2013, a participação de renováveis na matriz elétrica nacional foi de 79,3%. A média mundial em 2011 foi de 20,3%.

Segundo AR4 (2007), as evidências do aquecimento do sistema climático são inequívocas. Avanços tecnológicos, como satélites orbitais, permitem aos cientistas a coleta de diversos tipos de informações sobre o planeta e seu clima em escala global. A coleta e análise desses dados ao longo de vários anos revela os sinais das mudanças climáticas.

A atual tendência de aquecimento global é particularmente significativa porque, em grande parte, se deve à ação antrópica e acontece a uma velocidade sem precedentes nos últimos 1300 anos, conforme AR4 (2007).

Algumas das evidências mais convincentes são:

1. Aumento do nível dos oceanos: No último século, houve um aumento de 17cm no nível global dos oceanos, e a taxa de aumento na última década é aproximadamente duas vezes maior que a do século passado. (CHURCH; WHITE, 2006)
2. Aumento da temperatura global: Reconstituições do clima global mostram que a temperatura na superfície terrestre vem aumentando desde 1880 (NASA, 2014). Grande parte desse aquecimento se deu depois da década de 1970, com os vinte anos mais quentes tendo ocorrido depois de 1981 (PETERSON, 2009). Apesar de ter havido um declínio da radiação solar no início dos anos 2000, que chegou a um ponto mínimo entre 2007 e 2009, as temperaturas na superfície do planeta continuaram a se elevar (ALLISON *et al.*, 2009).
3. Os oceanos absorveram boa parte desse aumento de temperatura, apresentando um aumento de 0.168°C nos primeiros 700m da camada mais superficial, desde o ano de 1969. (LEVITUS *et al.*, 2009).
4. Tanto a extensão quanto a espessura do manto de gelo da Região Ártica tiveram um rápido declínio ao longo das últimas décadas. (POLYAK *et al.*, 2009).
5. Geleiras estão recuando em quase todos os lugares ao redor do mundo, incluindo os alpes, Himalaias, Alasca e África (WGMS, 2014).

Segundo AR4 (2007), há um consenso, com base numa vasta gama de evidências, de que, mesmo com as políticas de mitigação das mudanças climáticas e práticas de

desenvolvimento sustentáveis atuais, as emissões globais de gases de efeito estufa continuarão a crescer ao longo das próximas décadas, elevando as temperaturas médias do planeta.

Como constata Ruth e Lin (2005), até então, a maior parte das pesquisas sobre mudanças climáticas concentrava-se nos processos biogeoquímicos e na identificação de estratégias de mitigação dos efeitos da mudança climática, bem como na quantificação dos seus impactos sobre agricultura, florestamento e pesca. Apenas recentemente os pesquisadores começaram a investigar potenciais impactos e estratégias de adaptação em áreas urbanas, onde ocorre um grande volume de atividades econômicas e sociais. Por serem essas áreas o local onde a maior parte da energia é consumida, há nelas uma significativa sinergia entre mitigação, para redução da emissão de gases de efeito estufa; e adaptação, para redução dos impactos da mudança climática.

A influência da mudança climática sobre o uso da energia, pelo menos no que concerne à resposta dos consumidores às variações de temperatura, é relativamente bem conhecida. A energia é utilizada para aquecimento e resfriamento de ambientes, bem como para manter o conforto e o estilo de vida das pessoas. Indivíduos que possuem meios para se adaptar a temperaturas mais extremas irão, provavelmente, utilizar a tecnologia disponível para essa finalidade. Outros, que não dispõem de meios suficientes, podem até mesmo sofrer efeitos adversos à sua saúde (BEECHER; KALMBACH, 2012).

De fato, ocorreram ondas de calor na Europa em 2003 e em 2005. A primeira custou trinta mil vidas humanas, e foi acompanhada por um grande aumento no consumo de eletricidade que, eventualmente, resultou em crise no sistema e descontinuidade no fornecimento. Na segunda, houve menos perdas de vidas. Por um lado, isso está relacionado à menor intensidade do fenômeno; por outro, à maior consciência da população e melhor preparação para lidar com o problema (BIGANO *et al.*, 2006). Essa realidade é indicativa tanto da importância de estudos acerca dos efeitos do aumento da temperatura como de outros que investiguem as estratégias adaptativas adotadas.

A eletricidade é a fonte de energia predominantemente utilizada para o resfriamento de ambientes, como observam (ESKELAND; MIDEKSA, 2010). Dessa forma, a demanda residencial de energia elétrica está relacionada à busca dos consumidores pelo bem-estar. Há, portanto, uma preocupação a respeito dos impactos dessa adaptação sobre a demanda de energia residencial à medida que as temperaturas médias se elevam.

Segundo Rodrigues (2012), no caso industrial, temperaturas mais elevadas poderão ocasionar um aumento na demanda de energia elétrica para o resfriamento de equipamentos, no sentido de evitar superaquecimento e conseqüente falha ou mau funcionamento dos mesmos. Ainda de acordo com Rodrigues (2012), espera-se, porém, uma

influência relativamente menor da temperatura nesse caso, pois a participação da demanda proveniente da necessidade de refrigeração de equipamentos tem pequena participação no total consumido, uma vez que, em grande parte das indústrias, a eletricidade é utilizada principalmente como fator de produção.

De acordo com o EMCB (2010), as projeções climáticas para o Brasil indicam aumentos da temperatura média que podem chegar a 5° até o ano de 2100, dependendo do cenário de emissões. A região mais vulnerável a mudanças climáticas no Brasil é a Região Amazônica, onde o aumento da temperatura poderá chegar a 7-8° em 2100. A Região Nordeste é a segunda mais vulnerável do país.

Os resultados de estudos empíricos recentes examinando os efeitos das mudanças climáticas no setor energético sugerem, de uma forma geral, consideráveis impactos na demanda de energia elétrica. Rodrigues (2012) estimou um aumento máximo de 4% da demanda residencial como resposta adaptativa às mudanças climáticas até 2080 para o Brasil e de pouco mais que 2% para o Nordeste do país. O CIER (2007), que desenvolveu estudo sobre o tema, levando em conta o estado americano de Massachusetts, prevê um aumento de 40% na demanda para aquela região até 2030, também em consequência do clima apenas.

Grande parte dos estudos que quantificam os impactos das mudanças climáticas no setor energético utilizam resoluções espaciais bastante esparsas, como continentes ou países, capturando, portanto, uma resposta média para grandes áreas geográficas, o que pode levar à adoção de políticas adaptativas inapropriadas em nível local.

Os modelos globais de mudanças climáticas preveem impactos diferentes para regiões geográficas distintas. Como consequência, análises que aplicam um aumento uniforme de temperatura sobre uma grande área podem negligenciar impactos geográficos importantes sobre o uso da energia (RUTH; LIN, 2005). A estrutura econômica e as composições setoriais também variam entre as regiões, o que pode influenciar significativamente a sensibilidade da demanda de energia em relação ao clima. O nosso trabalho tem como objetivo investigar os determinantes da demanda de energia elétrica das classes residencial e industrial no Estado do Ceará, partindo da premissa de que a estimação da demanda em relação à mudança do clima deve ser realizada em escala regional, para orientar políticas adaptativas mais precisas.

Como já mencionado, a influência do clima sobre o uso da energia elétrica residencial está relacionada à busca dos consumidores pelo bem-estar, por meio da utilização de aparelhos destinados ao resfriamento de ambientes. Em regiões com amplitude térmica elevada, ou seja, onde o inverno é muito frio e o verão muito quente, pode-se esperar que haja

alguma compensação da demanda, pois, se nas estações mais quentes a população deverá fazer uso mais intensivo de aparelhos para resfriar ambientes, como, por exemplo, dos condicionadores de ar, nas estações mais frias esta mesma população fará menos uso de aparelhos aquecedores, uma vez que as temperaturas médias deverão aumentar durante o ano inteiro, embora não linearmente. Isso deverá levar a uma redução da demanda relacionada à necessidade de aquecimento.

A nossa hipótese é a de que essa compensação não ocorra em regiões quentes como o Estado do Ceará, objeto da nossa análise, por se tratar de um Estado cujas temperaturas médias são elevadas o ano inteiro. Nesse caso, é possível haver a necessidade de utilização de tecnologia para resfriamento até mesmo nas estações mais frias, o que pode levar a um aumento da demanda de eletricidade ao longo de todo o ano.

Estudos das mudanças climáticas projetam, para o Brasil, além do aumento das temperaturas médias anuais, uma diminuição da precipitação das chuvas. Os dados do EMCB (2010) apontam, para a região Nordeste do país, um declínio que poderá chegar a 2-2,5mm/dia até 2100, afetando a vazão de rios em bacias dessa região, como a do Parnaíba e do Atlântico Leste, com redução das vazões de até 90% entre 2070 e 2100. Nesse cenário, haveria perda de confiabilidade no sistema de geração de energia hidrelétrica, com redução de cerca de 30% da energia firme¹.

Caso essas previsões se confirmem, haverá consideráveis restrições na expansão da oferta de eletricidade no país, uma vez que a redução da vazão dos rios compromete o potencial de geração de energia hidráulica, que, como já dito anteriormente, é a principal matriz elétrica brasileira. Há, ainda, outros tipos de restrições à ampliação da capacidade de produção e distribuição, como o grande porte dos investimentos envolvidos e a sua natureza de longo prazo, o que, conforme Rodrigues (2012), desestimula a iniciativa privada, ficando essa ação a cargo do governo.

Essas restrições à ampliação da oferta nos sugerem a necessidade de políticas de conservação de energia via gestão da demanda, como indica Rodrigues (2012). Os dois lados do problema, quais sejam, demanda e oferta, são bastante dinâmicos e interligados, de modo que as mudanças ocorridas em um deles afetarão o outro. A gestão pelo lado da demanda, porém, é tipicamente mais viável política e economicamente, envolvendo, normalmente, campanhas educativas e incentivos financeiros para que os consumidores desloquem a

¹ A energia firme de uma usina hidrelétrica corresponde à máxima produção contínua de energia que pode ser obtida, supondo a ocorrência da sequência mais seca registrada no histórico de vazões do rio onde ela está instalada.

utilização da energia dos horários de ponta² para aqueles em que o sistema de distribuição tem capacidade ociosa. Esta estratégia não diminui o gasto total de energia, mas reduz a necessidade de ampliação da capacidade para atender à demanda de ponta.

Isso nos leva a perceber a importância de estudos sobre a demanda de energia elétrica que levem em conta o fator climático, como é o caso de nosso trabalho, a fim de que se possa ganhar mais robustez na análise dos seus determinantes, bem como subsidiar, com maior antecedência, a política energética do Estado e o planejamento mais adequado da oferta e de gestão da demanda.

A ameaça de uma significativa mudança no clima global, elevando as temperaturas médias anuais, é um fator que vem, recentemente, ganhando importância no planejamento de longo prazo da oferta de energia. Com base nessa realidade, o presente estudo pretende contribuir com a literatura, fornecendo informações a respeito dos efeitos das mudanças projetadas para o clima regional sobre as demandas residencial e industrial de energia elétrica no Estado do Ceará. Para tanto, tomaremos como referência o relacionamento histórico entre consumo e temperatura no Estado, analisando o comportamento adaptativo dos agentes.

No próximo capítulo, faremos uma breve revisão da literatura nacional e internacional de alguns dos principais estudos empreendidos a respeito da demanda de energia elétrica e de sua relação com as mudanças climáticas.

² Horários em que o consumo de energia elétrica é mais alto.

3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS: IMPLICAÇÕES SOBRE A DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Nesta seção fazemos uma breve revisão da literatura nacional e internacional de alguns dos principais estudos realizados acerca da demanda de energia elétrica, bem como sobre a sua relação com mudanças climáticas; e apresentamos a nossa base teórica.

3.1 Demanda de energia elétrica sob análise

O crescente consenso científico em torno do aquecimento global, expresso em relatórios periodicamente publicados por vários órgãos internacionais, levou pesquisadores de diversas nacionalidades a considerarem o fator climático nas análises sobre a demanda de energia. Nesse sentido, Ruth e Lin (2005) utilizaram modelos de séries temporais para analisar os impactos potenciais da mudança climática sobre o uso residencial e comercial de gás natural, de eletricidade e de derivados do petróleo no estado de Maryland, nos Estados Unidos. Os períodos analisados para cada vetor de energia não foram coincidentes. No caso específico da energia elétrica, os dados de consumo se referem ao período entre 1977 e 2001. A demanda *per capita* foi estimada como uma função de *cooling degree days* (CDD), *heating degree days* (HDD)³, preços da energia, horas de luz natural e variáveis de tendências. Estas últimas foram utilizadas para capturar componentes da sensibilidade da demanda aos CDD e HDD que potencialmente variam com o tempo, ao longo do período em análise.

O estudo empreendido por Ruth e Lin (2005) apontou que desvios, expressos em HDD e CDD, a partir de uma temperatura-base empírica de 15,5°, resultam em aumento no consumo de energia elétrica. Esses aumentos, entretanto, não são simétricos. Estimou-se que 100 CDD a mais levam a um aumento de 10,3% no uso de eletricidade, enquanto 100 HDD a mais levam a um aumento de apenas 6,5°. Os autores fizeram, também, projeções para o consumo de energia em Maryland, sob vários cenários socioeconômicos e de mudanças climáticas. Os resultados sugerem que a demanda mensal por eletricidade no ano de 2025 deverá ser próxima da demanda média do período de 1977 a 2000, e que, caso os preços

³ *Heating degree days* (HDD) e *cooling degree days* são medidas destinadas a refletir a demanda de energia necessária para aquecer ou resfriar um prédio. HDD são definidos em relação a uma temperatura-base externa acima da qual o prédio não necessita de aquecimento. *Cooling degree days* (CDD), por outro lado, são definidos em relação a uma temperatura-base externa abaixo da qual não o prédio não necessita de resfriamento.

futuros fiquem próximos à média histórica, o uso residencial de energia num futuro próximo deverá ficar abaixo da utilização média.

Com o intuito de chegar a uma avaliação consistente do impacto da mudança climática nos vetores energéticos, Bigano *et al.* (2006) foram os primeiros a utilizar uma análise em painel dinâmico para as demandas por carvão, gás, eletricidade e derivados do petróleo, das classes de consumo residencial, comercial e industrial dos países membros da *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) e de alguns outros que não fazem parte dessa Organização. Estudos anteriores sobre o relacionamento entre demanda de energia e temperatura geralmente utilizavam séries temporais de dados observados em um único país ou região. A base de dados utilizada no estudo em análise compreende observações de um número variado de nações, ao longo de um período de 23 anos, entre 1978 e 2000. Os autores tinham interesse em avaliar o quão importante a variável climática é para explicar a demanda por energia e em que direção o clima a afeta. O que se constatou foi que a temperatura tem influências distintas na demanda dos vetores de energia, quando esta é percebida como um bem de consumo, bem como quando é utilizada como fator de produção primário. De modo geral, a demanda residencial respondeu negativamente a aumentos de temperatura (a única exceção foi o carvão), enquanto a demanda industrial se mostrou insensível à elevação da mesma. No caso residencial, foi observada, ainda, uma relação positiva entre renda e demanda, e uma relação negativa no que diz respeito a preço.

Deschênes e Greenstone (2007) realizaram o primeiro estudo em larga escala dos impactos da mudança climática sobre a saúde pública nos Estados Unidos. Partindo do pressuposto de que a primeira resposta compensatória dos indivíduos é, provavelmente, uma maior utilização de aparelhos condicionadores de ar, os autores estimaram o impacto da mudança climática sobre consumo residencial de eletricidade. Os pesquisadores aplicaram um modelo em painel e as principais variáveis utilizadas, que compreendem o período entre 1968 e 2002, foram as temperaturas mínimas e máximas diárias, e a precipitação diária total de chuva. A função resposta obtida tem uma configuração em formato de U, o que indica um consumo de energia maior quanto maior for a quantidade de dias com temperaturas extremas nos dois sentidos. Os autores fizeram, ainda, um exercício de previsão do consumo de energia com base em dois diferentes cenários de emissão até o final do século. Os resultados sugerem um aumento entre 15% e 35% do consumo residencial.

Também utilizando diferentes cenários de mudanças climáticas, Aroonruengsawat e Auffhammer (2009) foram os primeiros a utilizar um painel de dados de contas domiciliares de energia para simular o impacto dessas alterações sobre o consumo residencial de

eletricidade na região estadunidense da Califórnia, tomando como base o período compreendido entre os anos de 2003 a 2006. O estudo constatou que há uma heterogeneidade na sensibilidade do consumo de eletricidade à temperatura entre diferentes zonas climáticas do estado da Califórnia, indicando que a localização geográfica desempenha um importante papel na resposta adaptativa ao clima. Isso sugere que a agregação de dados sobre uma vasta região geográfica pode ignorar importantes não linearidades, que, combinadas com mudanças climáticas também heterogêneas pode levar a uma subestimação do consumo futuro de energia elétrica. Os efeitos estimados foram maiores, porém consistentes com aqueles obtidos por Deschênes e Greentone (2007), que utilizaram dados nacionais. Essa constatação não surpreendeu Aroonruengsawat e Auffhammer, dado ser a Califórnia um estado com baixa demanda por aquecimento, o que potencializa o impacto decorrente de alterações climáticas.

No Brasil, Rodrigues (2012) realizou um estudo pioneiro ao empreender uma análise dos determinantes da demanda de energia elétrica com ênfase no fator climático, bem como uma previsão do impacto das mudanças climáticas sobre o consumo de eletricidade das classes residencial, comercial e industrial, sob dois diferentes cenários de emissão. A autora utilizou um modelo em painel dinâmico com dados anuais do consumo de eletricidade de todos os 26 Estados da Federação mais o Distrito Federal, abrangendo o período entre 1991 e 2002. O estudo identificou a temperatura como importante fator determinante das demandas residencial, comercial e industrial de eletricidade no Brasil. A demanda residencial, embora inelástica, mostrou-se sensível em relação à renda, assim como em outros estudos, e pouco sensível à tarifa, o que também se verificou para as demais classes de consumo. Os modelos residencial e industrial apresentaram melhor ajuste com a inclusão de uma variável de tendência temporal, que capta a influência dos fatores não observados sobre a demanda ao longo do tempo. Os resultados do exercício de previsão sugerem que a elevação projetada da temperatura terá impacto positivo sobre as demandas residencial e industrial de eletricidade até o fim deste século, com elevação da quantidade demandada de 4% e 3%, respectivamente.

3.2 Base teórico-metodológica

A abordagem tradicionalmente utilizada na literatura nacional trata a demanda de energia elétrica residencial como bem de consumo final na função de utilidade⁴ do consumidor. Alguns estudos, como o de Schmidt e Lima (2004), interpretam a demanda por

⁴ Utilidade é uma medida abstrata da satisfação ou felicidade que um consumidor obtém de uma cesta de bens (MANKIEW, 2011).

eletricidade como uma função indireta, derivada da necessidade do indivíduo ou da firma de fazer equipamentos elétricos funcionarem, se constituindo, assim, em um fator de produção.

Nosso interesse, nesta pesquisa, é avaliar a resposta adaptativa dos agentes econômicos às mudanças climáticas. Relacionamos, assim, a demanda residencial de energia elétrica no Ceará com a demanda por conforto térmico no interior das construções. À semelhança de Pindyck e Rubinfeld (1994), partimos da premissa microeconômica de que os consumidores maximizam utilidade sujeitos a uma restrição orçamentária. Nesse sentido, seguindo as abordagens de Eskeland e Mideksa (2010), Dubin *et al.* (1986) e Rodrigues (2012), representamos a utilidade como uma função separável do item conforto e do consumo de outros bens e serviços.

3.2.1 Resfriamento residencial e conforto

Seja $U^*(\tau, Z)$ a utilidade derivada do consumo de um vetor de bens Z em um ambiente com temperatura τ , é razoável assumir que a utilidade é maior para uma temperatura ambiente próxima a determinada temperatura τ^* , que proporciona conforto. Abaixo de τ^* , os ocupantes sentem frio; acima de τ^* , sentem calor. Se o resfriamento fosse gratuito, os consumidores ajustariam seus termostatos em τ^* . Porém, para manter a temperatura interna no nível τ^* , é necessário incorrer em um custo associado ao fornecimento de uma fonte de energia. Há, portanto, um compromisso entre o conforto do ambiente interno de uma construção e o custo de obtenção desse conforto.

Assumimos, então, que a função de utilidade $U^*(\tau, Z)$ é separável em conforto e consumo de bens. Assumimos, ainda, que a utilidade derivada da temperatura ambiente τ tem a forma linear $(\tau - \tau^*)$, com $\tau \geq \tau^*$, assim $U^*(\tau, Z) = U[(\tau - \tau^*), Z]$. Supondo que a quantidade de energia necessária para manter a temperatura interior τ , quando a temperatura externa é t , seja dada por $Q(\tau, t)$. O consumidor é confrontado com o problema de maximização da utilidade $U[(\tau - \tau^*), Z]$, sujeito a uma restrição orçamentária, que aloca a renda R entre os bens Z e uma fonte de energia $(p/e)Q(\tau, t)$, onde p é o preço da energia e e representa a eficiência do sistema de refrigeração.

Assim, escrevemos:

$$\underset{\tau, Z}{\text{maximizar}} U[(\tau - \tau^*), Z]$$

Maximizar sujeito a:

$$(p/e)Q(\tau, t) + Z \leq W \quad (1)$$

Aplicando o multiplicador lagrangeano ζ , temos:

$$L = U[(\tau - \tau^*), Z] + \zeta [W - Z - (p/e)Q(\tau, t)] \quad (2)$$

Utilizando índices para denotar as derivadas parciais, podemos escrever as condições de primeira ordem como:

$$L_\tau = U_1 - \zeta (p/e)Q(\tau, t) = 0$$

e

$$L_Z = U_2 - \zeta = 0,$$

Então:

$$U_1/U_2 = pQ(\tau, t)/e \quad (3)$$

Vemos pela equação (3) que a taxa marginal de substituição entre conforto térmico e outros bens depende do “preço do conforto”.

Seguindo o modelo teórico proposto por Eskeland e Mideksa (2010) e Rodrigues (2012), definimos conforto como função do clima, do isolamento térmicos das construções, dos equipamentos adaptativos (condicionadores de ar, ventiladores etc), da eficiência energética desses equipamentos e do uso da energia elétrica.

O principal pressuposto no qual se baseia essa abordagem é de que, para níveis baixos de temperatura, o conforto aumenta à medida que a temperatura se eleva. Por outro lado, para níveis altos de temperatura, o conforto diminui à medida que a mesma aumenta. Dessa forma, o aumento exógeno da temperatura em regiões ou estações frias reduz a demanda por aquecimento e, por conseguinte, libera recursos que seriam destinados ao aquecimento para serem utilizados na aquisição de outros bens ou serviços. Da mesma forma, em regiões ou estações quentes, a diminuição exógena da temperatura reduz a demanda por resfriamento e libera recursos que seriam destinados ao resfriamento de ambientes para serem direcionados ao consumo dos demais bens e serviços.

O consumo de energia elétrica é, portanto, uma função não linear, em formato de U, no que diz respeito à temperatura externa. Ou seja, alta nos níveis mais baixos ou mais altos de temperatura, e baixa nos níveis intermediários da escala térmica.

Há na literatura duas abordagens para tratar desse efeito não monotônico da temperatura. Uma delas utiliza *heating degree days* (HDD) e *cooling degree days* (CDD), gerados a partir de dados da temperatura diária. A segunda utiliza dados de temperatura sazonal ou mensal média.

Na presente pesquisa, devido à indisponibilidade de dados diários de temperatura para construção de HDD e CDD, utilizamos dados mensais de temperatura média.

3.2.2 Demanda industrial de energia elétrica

Para tratar dessa classe de consumo, seguimos a abordagem adotada por Rodrigues (2012), baseada na clássica teoria da produção, segundo a qual o objetivo da firma é o de maximizar lucros, determinando, para tanto, um nível ótimo de insumos a serem demandados.

Seja R a receita total da firma, dependente do preço e quantidade produzida do bem Q ; e D , a função do preço e da quantidade dos n insumos I que farão parte do processo produtivo, o problema da firma pode, então, ser descrito da seguinte forma:

$$\text{Maximizar } R = P_Q Q$$

Sujeito a:

$$D = \sum_{i=1}^n P_i I_i \quad (4)$$

O insumo de interesse da nossa pesquisa é a energia elétrica, utilizada no processo produtivo para evitar o superaquecimento de máquinas e equipamentos, e a quantidade demandada, I , é função do preço do próprio insumo, P_E ; dos recursos disponíveis para aquisição, D ; da temperatura ambiente, T ; da eficiência energética dos equipamentos, e ; e do isolamento térmico:

$$I_E = f(P_E, D, T, e, h) \quad (5)$$

Vale lembrar que, em grande parte das indústrias, a eletricidade é utilizada, principalmente, como fator de produção, e a sua demanda, proveniente da necessidade da refrigeração de equipamentos, tem pouca participação no total consumido. Dessa forma, espera-se aqui uma influência relativamente menor da temperatura em relação ao caso residencial.

4 METODOLOGIA

Este capítulo é dedicado à apresentação dos métodos de abordagem e de procedimento utilizados neste trabalho.

Inicialmente, apresentamos nossas hipóteses. A seguir, tratamos do objetivo geral e dos objetivos específicos.

4.1 Hipóteses

- ✓ A temperatura média é um fator determinante da demanda de energia elétrica e as classes residencial e industrial de consumo têm sensibilidades distintas em relação à variação climática.
- ✓ As classes residencial e industrial terão suas demandas aumentadas como forma de adaptação à mudança climática prevista para as próximas décadas.

4.2 Objetivo geral

Investigar os determinantes da demanda de energia elétrica das classes residencial e industrial no Estado do Ceará (elasticidade do consumo em relação à renda, à tarifa, e semi-elasticidade em relação à temperatura), no período compreendido entre os anos de 2003 e 2013, dando ênfase ao determinante climático e seus efeitos projetados para o futuro.

4.3 Objetivos específicos

- ✓ Estimar a sensibilidade da demanda agregada de energia elétrica no Estado do Ceará em relação à tarifa, à renda e à temperatura para as classes de consumo residencial e industrial no período em análise;
- ✓ Simular os efeitos das mudanças projetadas pelo IPCC para o clima regional sobre as demandas residencial e industrial de energia elétrica no Estado do Ceará no período entre 2014 e 2040.

4.4 Descrição e análise dos dados

4.4.1 Dados históricos

As séries históricas observadas têm periodicidade mensal e referem-se ao Estado do Ceará, no período entre 2003 e 2013. A Tabela 1 apresenta as variáveis utilizadas nos modelos das duas classes analisadas.

Tabela 1 – Identificação das Variáveis Utilizadas nos modelos residencial e industrial

Variável	Proxy Utilizada	Fonte	Unidade de Medida
Consumo	Consumo residencial/industrial de Energia Elétrica do Ceará	Companhia Elétrica do Ceará - Coelce	MWh
Tarifa	Tarifa residencial/industrial de Energia Elétrica	Sítio eletrônico da ANEEL	R\$/Mwh (*)
Renda	Arrecadação de Impostos Federais no Ceará	Sítio eletrônico da Receita Federal	R\$ (*)
Temperatura	Temperatura Média do Município de Fortaleza	National Oceanic and Atmospheric Administration - OAA	°Celcius

Fonte: Elaboração do autor a partir dos dados da pesquisa

Nota: (*) Valores deflacionados pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI), base dez de 2013.

Na tabela 2, apresentam-se estatísticas descritivas dos dados utilizados nos modelos das estimações de demanda e na simulação do impacto da mudança climática sobre o consumo de energia elétrica.

Tabela 2 – Média, desvio-padrão, valor mínimo e valor máximo dos dados utilizados na estimação do modelo de demanda

Classe	Variável	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Residencial	Consumo	214093	48994	140349	327472
	Tarifa	501	61	350	656
Industrial	Consumo	167721	20859	124614	220688
	Tarifa	406	61	245	628
Ambas	Renda	176322199	72736317	70826066	531803995
	Temperatura	27.1	0.68	24.9	28.8

Fonte: Dados da pesquisa

A série de temperatura média mensal do município de Fortaleza, utilizada como *proxy* da temperatura do Estado, apresentou lacunas representando 5% das observações. Para

preenchê-las, calculamos, para cada uma delas, a média aritmética de quatro observações para o mesmo mês, em quatro anos contíguos.

As séries de tarifa residencial e industrial, apresentaram, ambas, um *outlier*. O mesmo foi substituído, nas duas séries, pela média aritmética das observações dos dois meses adjacentes.

4.4.2 Dados de previsão climática

A temperatura média mensal futura foi extraída do conjunto de dados TYN SC 2.0 e tem resolução espacial de 0,5° X 0,5°, com abrangência global. Foi utilizado como referência o Modelo de Circulação Global (MCG) *Second Generation Coupled Global Climate Model* (CGCM2), e os cenários de emissão A1FI e A2, considerados no Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC, de 2001. Os dados extraídos foram sobrepostos à malha municipal georreferenciada do IBGE. Foram geradas as séries de treze municípios do Estado (Camocim, Itapipoca, Sobral, Tianguá, Fortaleza, Baturité, Aracati, Limoeiro do Norte, Quixadá, Crateús, Tauá, Iguatu, Juazeiro do Norte). A média aritmética dessas séries foi, então, calculada para se chegar à série da média mensal para o Estado. Esse procedimento foi realizado para cada um dos dois cenários de emissão, separadamente, resultando em duas séries, uma para cada cenário. Foi calculado, então, o incremento da temperatura média em períodos futuros sobre a temperatura média atual (2003 - 2013), conforme a tabela abaixo.

Tabela 3 – Incremento da temperatura média mensal futura no Estado do Ceará em relação ao período atual (2003 – 2013), considerando os cenários A1FI e A2

	A1FI			A2		
	2020 ¹	2030 ²	2040 ³	2020	2030	2040
Incremento da temperatura média mensal*	1,2	1,7	2,5	1,1	1,5	2,2

Fonte: Elaboração do autor

Nota: ¹Representa 2014-2020; ²Representa 2021-2030; ³Representa 2031-2040. *Graus centígrados.

4.4.3 Estimação da demanda

Nesta seção será discutido o modelo utilizado para especificar as demandas de energia elétrica para cada uma das duas classes de consumo em análise: a residencial e a industrial.

Para fins de elaboração do modelo, em se tratando de quantidade de demanda, admitimos o consumo de energia elétrica como *proxy*. Nessa perspectiva, assumimos, tal

como Andrade e Lobão (1997), a inexistência de demanda reprimida e a oferta como infinitamente elástica.

Neste trabalho, utilizamos dados em séries temporais e modelamos a demanda de energia elétrica como uma função da renda, da tarifa e do clima (representado pela temperatura), conforme equação, abaixo.

$$\ln E = f(\ln I, \ln P, T), \quad (6)$$

onde:

E é o consumo residencial ou industrial de energia elétrica;

I é a renda residencial ou industrial;

P é a tarifa residencial ou industrial;

T é a temperatura média mensal.

4.4.3.1 Cointegração de modelos multivariados

A teoria econômica sugere que certos pares de variáveis econômicas podem estar ligados através de relacionamentos de longo prazo. No entanto, regressões espúrias podem acontecer quando relacionamentos regressivos são encontrados entre variáveis que, de fato, são independentes. Os resultados de tais regressões podem levar a estimativas ineficientes, previsões sub-ótimas e testes de significância inválidos. Uma técnica geralmente utilizada para contornar esses problemas é a Regressão de Cointegração.

A cointegração é uma parte importante dos estudos econométricos, devido à natureza não estacionária de boa parte dos modelos empíricos de séries temporais utilizados em diversas áreas econômicas.

4.4.3.2 Modelos de equação única

Segundo Chatfield (2003), pode ser mais apropriado modelar séries temporais multivariadas com um modelo de equação única, ao invés da utilização de múltiplas equações.

Para um modelo de equação única ser apropriado, deve haver somente uma variável-resposta de interesse (por exemplo, quando apenas para uma variável deverão ser feitas previsões), e não deve haver qualquer sugestão de que o valor da variável-resposta possa afetar as variáveis explicativas.

No nosso estudo, temos como variável resposta a demanda de energia elétrica. Como variáveis explicativas, temos renda, tarifa e temperatura, as quais, acreditamos, não são afetadas pela demanda. Baseamos, assim, a nossa abordagem em um modelo de equação única.

Também é importante notar que abordagens baseadas em equação única assumem que há apenas um vetor de cointegração (UTKULU, 1997).

4.4.3.3 Teste de raiz unitária

Com o intuito de evitar o fenômeno da regressão espúria, as propriedades das séries temporais em estudo devem ser determinadas antes de ser especificado o sistema cointegrado. Realizamos, assim, o teste Dickey-Fuller aumentado (ADF).

Nesse trabalho utilizamos o critério de informação de Akaike para selecionar o número de defasagens incluídas no processo autoregressivo das variáveis testadas.

Os resultados obtidos indicaram que todas as séries do modelo, tanto para a classe residencial bem como para a classe industrial, são integradas de primeira ordem, I(1), conforme tabela 4.

Tabela 4 – Teste ADF em nível e em primeira diferença

variável	Nível				1ª Diferença			
	Residencial		Industrial		Residencial		Industrial	
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
ln(E)	0,9378	0,9957	-0,01656	0,9545	-6,6279	0,0000	-3,9295	0,0025
ln(I)	-0,9131	0,7811	-0,9131	0,7811	-7,7296	0,0000	-7,7296	0,0000
ln(P)	-0,1984	0,9345	-2,3212	0,1668	-5,2947	0,0000	-11,3399	0,0000
T	-19579	0,3050	-1,9579	0,3050	-8,1602	0,0000	-8,1602	0,0000

Fonte: Elaboração do autor

4.4.3.4 Modelo econométrico: representação triangular

Com base nos resultados dos testes de raiz unitária descritos acima, optamos pela utilização do sistema de representação triangular, introduzido por Phillips (1991). Nesse tipo de representação, particionam-se um vetor n -dimensional de séries temporais I(1), X_t , e

uma série temporal n_x -dimensional estacionária, ε_t , com matriz de covariância Σ , em subvetores n_{x1} e n_{x2} , onde $n_x = n_{x1} + n_{x2}$.

A seguir está representado o modelo utilizado nesta pesquisa:

$$\ln(E)_t = \beta_0 + \beta_1 \ln(I)_t + \beta_2 \ln(P)_t + \beta_3 T_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

$$\Delta \ln(I)_t = \lambda_t$$

$$\Delta \ln(P)_t = \mu_t$$

$$\Delta T_t = v_t$$

4.4.3.5 Teste de cointegração

Quando as variáveis de um modelo, ou pelo menos algumas delas, são I(1), as análises estatísticas usuais podem não ser válidas. Um desses casos acontece quando os regressores I(1) não são cointegrados, não havendo, portanto, qualquer combinação linear I(0) entre as variáveis do modelo, gerando, assim, uma regressão espúria.

Quando uma combinação linear entre variáveis I(1) é estacionária, diz-se que as variáveis são cointegradas, ou seja, apresentam relação de equilíbrio de longo prazo.

Com o intuito de evitar o fenômeno da regressão espúria, verificamos a existência de vetor de cointegração entre as variáveis I(1) do modelo, para as duas classes de consumo em análise, através dos testes de cointegração de Engle-Granger (EG), Phillips-Ouliaris (PO), e do teste de Instabilidade de Parâmetros Hansen.

Os testes de EG e PO têm como hipótese nula a não existência de vetor de cointegração e consistem em realizar um teste de raiz unitária sobre os resíduos obtidos na regressão de cointegração. As duas abordagens, no entanto, diferem quanto ao teste de raiz unitária empregado. O método de EG utiliza o teste ADF, ao passo em que o PO utiliza o teste de Phillips-Perron.

A tabela 5 apresenta os valores obtidos nos testes de Engle-Granger e Phillips-Ouliaris.

Tabela 5 – Teste de cointegração Phillips-Ouliaris

	Engle-Granger				Phillips-Ouliaris			
	estatística <i>tau</i>		estatística <i>z</i>		estatística <i>tau</i>		estatística <i>z</i>	
	valor	p-valor	valor	p-valor	valor	p-valor	valor	p-valor
Residencial	-4.2120	0.0467	-25.6232	0.1115	-8.4222	0.0000	-96.0808	0.0000
Industrial	-0.452665	0.9973	-1.0836	0.9979	-7.2789	0.0000	-76.6545	0.0000

Fonte: Elaboração do autor

Para a classe residencial, o teste de Engle-Granger rejeitou a hipótese nula de ausência de cointegração ao nível de 5% de confiança para a estatística *tau*. Pela estatística *z*, a hipótese nula não foi rejeitada. O teste de Phillips-Ouliaris, por sua vez, rejeitou a hipótese nula pelas duas estatísticas do teste.

No caso industrial, o teste de Engle-Granger não rejeitou a hipótese nula de ausência de cointegração ao nível de 5% de confiança tanto para a estatística *tau* quanto para a *z*. O teste de Phillips-Ouliaris, porém, rejeitou a hipótese nula pelas duas estatísticas.

A tabela 6 apresenta os valores obtidos no teste de Hansen, que tem como hipótese nula a existência de vetor de cointegração, o que corresponde à hipótese nula de estabilidade dos parâmetros do modelo.

Tabela 6 – Teste de instabilidade de Hansen

Classe	Valor <i>p</i>
Residencial	> 0,2
Industrial	> 0,2

Fonte: Elaboração do autor

Nota: Hipótese nula não é rejeitada ao nível de 5% para as duas classes analisadas.

A exemplo dos testes de PO, os procedimentos aqui realizados também indicaram, para os dois modelos, a presença de um vetor de cointegração entre as variáveis.

4.4.3.6 Estimação dos parâmetros: Mínimos Quadrados Ordinários Dinâmicos (DOLS)

Para a estimação de parâmetros do modelo utilizado neste trabalho, foi utilizado o método de Mínimos Quadrados Ordinários Dinâmicos (DOLS). O DOLS é uma abordagem robusta, de equação única, que tem a capacidade de corrigir eventuais problemas de endogeneidade de regressores pela inclusão de *leads* e *lags* das primeiras diferenças dos regressores. Também corrige erros serialmente correlacionados através de um procedimento de Mínimos Quadrados Generalizados.

Este método foi proposto por Stock e Watson (1993) e estima o parâmetro β através da seguinte regressão:

$$X_{1,t} = \beta' X_{2,t} + d(L)\delta X_{2,t} + \varepsilon_t \quad (8)$$

A equação de regressão (8) pode ser obtida considerando, primeiro, a representação triangular por X_t , mostrada nas equações (9) e (10),

$$X_{1,t} = \beta' X_{2,t} + \varepsilon_{1,t} \quad (9)$$

$$\Delta X_{2,t} = \varepsilon_{2,t}, \quad (10)$$

onde $\varepsilon_t \sim i.i.d. N(0, \Sigma)$ e a matriz de covariância Σ é diagonal em blocos, e o estimador Mínimos Quadrados Ordinários (OLS) de β é o estimador de Máxima Verossimilhança (ML).

Tornando $\varepsilon_{2,t}$ independente de $\varepsilon_{1,t}$, temos:

$$E[\varepsilon_{1,t} | \{\Delta X_{2,t}\}] = E[\varepsilon_{1,t} | \{\varepsilon_{2,t}\}] = d(L)\Delta X_{2,t}$$

em que:

$$d(L) = \sum_{j=-q}^p d_j L^j$$

onde q são os *lags* e p , os *leads* dos regressores.

Assim, a equação (9) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$X_{1,t} = \beta' X_{2,t} + d(L)\Delta X_{2,t} + v_t^2 \quad (11)$$

onde:

$$v_t^2 = \varepsilon_{1,t} - E[\varepsilon_{1,t} | \{\varepsilon_{2,t}\}].$$

Assumindo que ε_t é gaussiano e que os dados são gerados pela representação triangular, as equações (9) e (10) podem ser reformuladas na sua forma análoga da equação X.2. O estimador ML de β é calculado estimando β na equação (8) através de métodos de Mínimos Quadrados Generalizados. Uma vez que $X_{1,t}$ na equação (9) é I(1), um estimador

assintótico equivalente de β pode ser obtido estimando β por Mínimos Quadrados Ordinários. Este estimador é conhecido como Mínimos Quadrados Ordinários Dinâmicos (DOLS).

O procedimento DOLS adotado para estimação dos parâmetros do modelo utilizado neste trabalho, mostrado na equação 12, consistiu, assim, na seguinte regressão:

$$\ln(E)_t = \beta_0 + \beta_1 \ln(I)_t + \beta_2 \ln(P)_t + \beta_3 T_t + \sum_{j=-q}^p \vec{d}_1 \Delta \ln(I)_{t-j} + \sum_{j=-q}^p \vec{d}_2 \Delta \ln(P)_{t-j} + \sum_{j=-q}^p \vec{d}_3 \Delta T_{t-j} + \varepsilon_t \quad (12)$$

Os parâmetros estimados conforme a equação 12 são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 7 – Coeficientes estimados para as demandas residencial e industrial de energia elétrica no Ceará

Variável	Residencial ¹		Industrial ²	
	coeficiente	estatística <i>t</i>	coeficiente	estatística <i>t</i>
Intercepto	-1,3345 *	-2,2512	4,6181 *	5,7865
ln(I)	0,6465 *	46,0722	0,3599 *	14,9686
ln(P)	-0,2832 *	-6,3726	-0,1028 **	-1,8750
T	0,1158 *	8,6514	0,0452 *	2,0641

Fonte: Elaboração do autor

Notas: residencial, todas significantes a 5%. no industrial, tarifa significativa a 10%. / * e ** se referem aos níveis de confiança de 5% e 10%, respectivamente. / ¹: *leads*=4, *lags*=6; / ²: *leads*=2, *lags*=3. Com base no critério de informação de Schwarz.

A tabela 7 apresenta os coeficientes (elasticidade do consumo de energia elétrica em relação a renda e preço, e semi-elasticidade em relação a temperatura) do vetor cointegrante para as classes residencial e comercial. Com base na análise da referida tabela, vemos que, de modo geral, tanto o modelo residencial quanto o comercial apresentam resultados satisfatórios, com coeficientes apresentando os sinais esperados, conforme a teoria econômica, e estatisticamente significativos.

5 RESULTADOS

Assim como em outros estudos, a demanda de eletricidade se verificou pouco sensível a variações no seu próprio preço nas duas classes analisadas. Para o caso residencial, uma variação de 1% na tarifa causa uma variação, no sentido inverso, de 0,28%, *ceteris paribus*. Isso pode ser explicado pelo fato de a eletricidade não ter substituto para muitos dos serviços resultantes do seu uso nas residências cearenses, já que outras fontes de energia, como a eólica, entre outras, não está disponível para a grande maioria da população do Estado.

À semelhança do que se encontra na literatura, em nossa investigação, a demanda, para as duas classes, se mostrou inelástica em relação à renda, embora seja um dos seus principais determinantes. Para a classe residencial, espera-se uma variação de 0,65%, em média, na quantidade demandada de eletricidade dada uma variação, no mesmo sentido, de 1% na renda disponível, *ceteris paribus*.

Quanto à temperatura mensal, representante da influência do clima e foco da presente pesquisa, é possível afirmar, a partir da análise da tabela 7, que se trata de um importante fator determinante da demanda de energia elétrica no Estado do Ceará para as duas classes de consumo analisadas. No caso residencial, observa-se que uma variação de 1° na temperatura média resulta em uma variação, no mesmo sentido, de 11,6% no consumo de eletricidade, que se deve à necessidade de refrigeração do ambiente para manter o conforto térmico dos consumidores no interior de suas residências. Com relação ao modelo industrial, nota-se que uma variação de 1° na temperatura média será acompanhada por uma variação, no mesmo sentido, de 4,5% no consumo. Isso se deve ao fato de que, no Ceará, a energia elétrica é utilizada no processo produtivo para resfriar máquina e equipamentos, a fim de prevenir o superaquecimento dos mesmos.

Na próxima seção, apresenta-se uma análise do possível impacto das mudanças climáticas sobre a demanda regional de energia elétrica no Estado do Ceará para as classes residencial e industrial.

5.1 Mudança climática e seu impacto sobre o consumo de energia elétrica

Na tabela 8, encontra-se uma previsão do possível impacto das mudanças climáticas sobre a demanda de eletricidade no Estado do Ceará. Foi utilizada como referência a temperatura média mensal atual, verificada no período que compreende os anos de 2003 a

2013. As previsões foram realizadas com base nas projeções de aumento da temperatura mensal média para o Ceará, conforme os cenários de emissão A1FI e A2, considerados no Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC, de 2001.

Tabela 8 – Variação percentual da quantidade consumida de energia elétrica no Estado do Ceará, para cada período, em relação ao período atual (2003 – 2013), para os cenários A1FI e A2

Classe	A1FI			A2		
	2020 ¹	2030 ²	2040 ³	2020	2030	2040
Residencial	13,9	19,7	29,0	12,8	17,4	25,5
Industrial	5,4	7,6	11,3	5,0	6,8	9,9

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: ¹Representa 2014-2020; / ²Representa 2021-2030; / ³Representa 2031-2040.

Da análise da tabela 8, percebe-se uma crescente magnitude do impacto da mudança climática sobre o consumo de energia elétrica ao longo dos períodos futuros considerados. Observa-se, por exemplo, que para o cenário A1FI espera-se um aumento no consumo residencial que pode chegar a 13,9% até 2020, enquanto para 2040 pode ser esperado um aumento de até 29,0% do consumo.

É preciso observar o tipo de cenário considerado para a análise do impacto das mudanças climáticas. As hipóteses do cenário A1FI pressupõem um mundo com crescimento econômico acelerado, utilização massiva de combustíveis fósseis, baixo crescimento populacional e rápida introdução de novas e mais eficientes tecnologias. O cenário A2, por sua vez, descreve um mundo heterogêneo, com desenvolvimento econômico e tecnológico mais lento e fragmentado, e padrões de fertilidade convergindo entre as regiões, resultando em crescimento populacional contínuo.

De modo geral, as hipóteses do cenário A1FI conduzem a um nível mais elevado de emissões de gases de efeito estufa. Verifica-se, assim, um impacto maior desse cenário sobre o consumo de eletricidade quando comparado ao cenário A2. Ao comparar o período de 2040 entre os dois cenários, observa-se, por exemplo, que o consumo residencial poderá ter um acréscimo de até 29,0% sobre o consumo, para o cenário A1FI, contra 25,5% para o cenário A2.

Por fim, observa-se que o impacto das mudanças climáticas deverá ser maior para a demanda residencial de eletricidade do que para a industrial nos períodos futuros considerados e sob os cenários utilizados como base de previsão. Conforme já mencionado, a energia elétrica é utilizada pela indústria para resfriar máquinas e equipamentos, e a

proporção da quantidade de eletricidade utilizada para esse fim, em relação ao total gasto em todo o processo produtivo industrial, é baixa, o que pode explicar o menor impacto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Reconhecendo a importância da eletricidade como um dos principais componentes da matriz energética do Estado do Ceará, este estudo teve como objetivo investigar os determinantes da demanda de energia elétrica das classes residencial e industrial de consumo do Estado, dando ênfase ao determinante climático e seus efeitos projetados para o futuro.

A partir da análise dos resultados da estimação dos modelos residencial e industrial, identificou-se a temperatura como importante fator determinante da demanda de energia elétrica para as duas classes de consumo no Ceará. Esses resultados apontam para a importância de se considerar os fatores climáticos no estudo da demanda de eletricidade, a fim de se obterem estimativas mais robustas e confiáveis para os seus determinantes.

A seção que trata da previsão do impacto da mudança climática indica que as demandas residencial e industrial deverão sofrer um aumento significativo, caso as projeções futuras de elevação das temperaturas médias mensais se confirmem. Nota-se, no entanto, que a magnitude do aumento esperado para as duas classes não será homogênea, dadas as diferenças na proporção de eletricidade destinada às necessidades de refrigeração entre elas.

Projetar o impacto futuro das mudanças climáticas sobre o consumo de energia elétrica, entretanto, envolve uma série de desafios técnicos não considerados nesta pesquisa. Ao longo das próximas décadas, o Ceará deverá passar não apenas por mudanças climáticas, mas também econômicas, tecnológicas e demográficas, que poderão impactar o uso da eletricidade de forma mais significativa do que as mudanças no clima. Tendo em vista essas limitações, restringimos nossos esforços a usar cenários climáticos para ilustrar os efeitos das mudanças climáticas na demanda de energia elétrica com base na presente economia, *ceteris paribus*.

Por fim, destacamos a importância de estudos como este, tanto para gestores públicos do setor energético quanto para as operadoras, no que concerne ao adequado planejamento dos investimentos futuros na gestão da demanda e na ampliação da capacidade geradora. Salientamos, também, que o possível impacto das mudanças climáticas sobre o setor elétrico aqui tratado não deve ser tomado como representativo da gravidade do problema como um todo. O EMCB (2010) projetou uma redução de até 90% na vazão de rios e bacias do Nordeste ao final do século, em decorrência das mudanças no clima, o que levaria a uma perda de confiabilidade no sistema de geração de energia hidrelétrica na região. Os efeitos das

mudanças climáticas sobre o lado da oferta energética, portanto, devem ser também considerados.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, I. *et al.* **The Copenhagen Diagnosis: Updating the World on the Latest Climate Science**. The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australia, 2009. 60p.
- 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: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 1997.
- AROONRUENGSAWAT, A.; AUFFHAMMER, M. **Impacts of Climate Change on Residential Electricity Consumption Evidence from Billing Data**. 2009. Disponível em: <<http://www.nber.org/chapters/c11991.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2014.
- BEECHER, J. A.; KALMBACH, J. A. **Climate change and energy**. U.S. National Climate Assessment Midwest Technical Input Report. 2012. Disponível em: <http://glisa.msu.edu/docs/NCA/MTIT_Energy.pdf>. Acesso em: 02 out. 2014.
- BIGANO, A.; BOSELLO, F.; MARANO, G. **Energy Demand and Temperature: A Dynamic Panel Analysis**. Fondazione Eni Enrico Mattei, Nota di Lavoro 112. 2006.
- CHATFIELD, C. **The Analysis of Time Series: An Introduction**. 6. ed. Chapman and Hall/CRC, 2003. 352p.
- CHURCH, J. A.; WHITE N. J. A 20th century acceleration in global sea level rise. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 1, 2006.
- CIER. **The US Economic Impacts of Climate Change and the Costs of Inaction**. 2007. Disponível em: <http://cier.umd.edu/>. Acesso em: 13 out. 2014.
- DESCHÊNES, O.; GREENSTONE, M. **Climate Change, Mortality and Adaptation: Evidence from fluctuations in weather in the U.S.** Working Paper n. 13178, Massachusetts Institute of Technology: Department of Economics, 2007.
- DUBIN, J. A.; MIEDEMA, A. K.; CHANDRAN, R. V. Price Effects of Energy-efficient Technologies: a Study of Residential Demand for Heating and Cooling. **Rand Journal of Economics**, v. 17, n. 3, p. 310-325, Autumn, 1986.
- ENGLE, R. F.; GRANGER C. W. J. Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. **Econometrica**, v. 55, n. 2, p. 251-276, 1987.
- ESKELAND, G. S.; MIDEKSA, T.K. Electricity Demand in a Changing Climate. **Mitig Adapt Strateg Glob Change**, v. 15, p. 877-897, 2010.
- HANSEN, B. E. Testing for parameter instability in regressions with I(1) processes. **Journal of Business and Economic Statistics**, v. 10, n. 3, 1992.
- IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **AR4 - Quarto Relatório de Avaliação do IPCC**, 2007.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **AR5 - Quinto Relatório de Avaliação do IPCC**, 2013.

LEVITUS, S. *et al.* Global ocean heat content 1955–2008 in light of recently revealed instrumentation problems. **Geophysical Research Letters**, v. 36, 2009.

MANKIEW, N. G. Principles of Microeconomics. 7. ed. Cengage Learning, 2011.

MARGULIS, Sergio; DUBEUX, Carolina Burle Schmidt (Ed). **Economia da Mudança do Clima no Brasil**. São Paulo: IBEP Gráfica, 2010. 82p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **BEN - Balanço Energético Nacional**. Elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério das Minas e Energia (MME), 2014. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>.

_____. **BEN - Balanço Energético Nacional**. Elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério das Minas e Energia (MME), 2013. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>.

_____. **PDEE - Projeção da Demanda de Energia Elétrica para o Plano Decenal de Energia 2008-2017**. Elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério das Minas e Energia (MME), 2008. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 15 mai. 2014.

MITCHELL, T. D.; CARTER, T. R.; JONES, P. D.; HULME, M.; NEW, M. A **comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100)**. Tyndall Centre Working Paper n. 55, July 2004.

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

NASA. **Five-Year Average Global Temperature Anomalies from 1880 to 2010**. Disponível em: <<http://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=3817>>. Acesso em: 26 set. 2014.

PETERSON, T.C. State of the Climate in 2008. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 90, n. 8, August 2009.

PHILLIPS, P. C. B.; OULIARIS, S. Asymptotic properties of residual based tests for cointegration. **Econometrica**, v. 58, n. 1, 1990.

PHILLIPS, P. C. B. Optimal inference in cointegrated systems. **Econometrica**, v. 59, n. 2, p. 283-306, 1991.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. Microeconomics. 3. ed. Prentice Hall, 1994.

POLYAK, L. History of Arctic sea ice. *In: Past Climate Variability and Change in the Arctic and at High Latitudes*. U.S. Geological Survey, Climate Change Science Program, 2009. cap. 7. p. 159-184.

RODRIGUES, L. A. **Efeitos das Mudanças Climáticas na Demanda de Energia Elétrica no Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

RUTH, M.; LIN, A. **Regional energy demand and adaptations to climate change: Methodology and application to the state of Maryland, USA**. 2005. Disponível em: <http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.publicpolicy.umd.edu/ContentPages/15794267.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2014.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. A. A Demanda por Energia Elétrica no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 58, n. 1, p. 67-98, jan/mar. 2004.

SILK, J. I.; JOUTZ, F.L. Short and Long-run Elasticities in US Residential Electricity Demand: a Co-integration Approach. **Energy Economics**, Washington, v. 19, p. 493-513, 1997.

STOCK, J. H.; WATSON, M. W. A simple estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems. **Econometrica**, v. 61, n. 4, p. 783-820, 1993.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Nações Unidas, 1992. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2014.

UTKULU, U. How to Estimate Long-Run Relationships in Economics: An Overview of Recent Developments. 1997. Disponível em: <www.deu.edu.tr/userweb/utku.utkulu/dosyalar/>. Acesso em: 15 fev. 2015.

WGMS - WORLD GLACIER MONITORING SERVICE. University of Zurich, Department of Geography. Disponível em: <<http://www.geo.uzh.ch/microsite/wgms/>>. Acesso em: 29 set. 2014.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **10 Facts on Climate Change and Health**. Disponível em: <http://www.who.int/features/factfiles/climate_change/facts/en/>. Acesso em: 02 abr. 2015.