

PALOMA SANTANA MOREIRA PAIS

**DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL NO PERÍODO PÓS-
RACIONAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P149d Pais, Paloma Santana Moreira, 1986-
2012 Demanda de energia elétrica no Brasil no período pós-
racionamento / Paloma Santana Moreira Pais. – Viçosa, MG,
2012.
ix, 81f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Leonardo Bornacki de Mattos
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.
Referências bibliográficas: f. 76-81

1. Energia elétrica - Consumo - Brasil. 2. Demanda (Teoria econômica). 3. Energia elétrica - Racionamento.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 333.79320981

PALOMA SANTANA MOREIRA PAIS

**DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL NO PERÍODO PÓS-
RACIONAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 15 de fevereiro de 2012.

Marília Fernandes Maciel Gomes

Francisco Carlos da Cunha Cassuce

Leonardo Bornacki de Mattos
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, oportunidades e realizações.

À minha família, pelo amor incondicional, paciência, apoio e pela contribuição inestimável para a minha formação pessoal.

Ao meu orientador Leonardo, meus agradecimentos, pelas ideias, contribuições, apoio e confiança durante a realização deste trabalho.

À professora Marília, por ter se tornado uma grande incentivadora e amiga, antes e durante o período do mestrado.

Aos professores João Eustáquio, Francisco e Elaine, pelas valiosas sugestões para a melhoria da qualidade do trabalho.

Aos meus tios Eustáquio e Rita e aos meus primos Samuel e Milene, pelo acolhimento, carinho e orientações valorosas.

Aos meus amigos, em especial ao Felipe e Douglas, que sempre estiveram ao meu lado, compartilhando momentos difíceis e felizes, na vida acadêmica e pessoal.

A todos os funcionários do Departamento de Economia Rural, principalmente à Carminha e à Anízia, pela amizade, apoio e carinho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa que contribuiu para a viabilização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Paloma Santana Moreira Pais, filha de Paulo Roberto Santana Pais e Aparecida de Fátima Moreira Paes Santana, nasceu no dia 26 de setembro de 1986, na cidade de Viçosa, MG.

Viveu em Porto Firme até os 18 anos, onde estudou na Escola Estadual Imaculada Conceição e Escola Estadual Solon Ildefonso, concluindo o ensino médio em dezembro de 2004.

Em março de 2005, ingressou no curso de graduação em Gestão do Agronegócio, o qual foi concluído em julho de 2009.

Em fevereiro de 2010 ingressou no curso de Mestrado em Economia Aplicada oferecido pelo Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa (UFV), submetendo-se à defesa em 09 de fevereiro de 2012.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações iniciais.....	1
1.2 O problema e sua importância	4
1.3 Objetivos	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	8
2.1 Demanda de energia elétrica pela classe Residencial	8
2.1.1 Teoria do consumidor	8
2.1.2 Homoteticidade	12
2.1.3 Separabilidade	13
2.1.4 Homogeneidade.....	14
2.1.5 Considerações sobre a demanda de eletricidade da classe Residencial	14
2.2 Demanda de energia elétrica pelas classes Comercial e Industrial	16
2.2.1 Teoria da produção: Maximização do lucro.....	16
2.2.2 Preço dos substitutos e demanda de energia elétrica das classes Comercial e Industrial	18
3. METODOLOGIA.....	19
3.1 Modelo VAR estrutural (SVAR)	19
3.2 Testes de raiz unitária	23
3.2.1 Teste de raiz unitária de Dickey-Fuller Aumentado	23
3.2.2 Teste de raiz unitária de Phillips-Perron	24
3.3 Teste do multiplicador de lagrange (LM) de Breusch-Godfrey para autocorrelação.....	24
3.4 Função impulso-resposta e decomposição da variância	25
3.5 Fontes e operacionalização dos dados	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28

4.1	Evolução do consumo de energia elétrica no período pós-acionamento.....	28
4.1.1	Consumo residencial de energia elétrica.....	29
4.1.2	Consumo comercial de energia elétrica.....	34
4.1.3	Consumo industrial de energia elétrica.....	39
4.2	Demanda de energia elétrica das principais classes consumidoras.....	42
4.2.1	Demanda de energia elétrica da Classe Comercial.....	42
4.2.2	Demanda de energia elétrica da Classe Comercial.....	52
4.2.3	Demanda de energia elétrica da Classe Industrial.....	59
4.3	Análise da relação demanda/oferta de energia elétrica do Brasil entre 2012 e 2016.....	69
6.	RESUMO E CONCLUSÕES.....	71
	REFERÊNCIAS.....	76

RESUMO

PAIS, Paloma Santana Moreira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2012. **Demanda de energia elétrica no Brasil no período pós-acionamento.** Orientador: Leonardo Bornacki de Mattos. Coorientador: João Eustáquio de Lima.

O cenário de crescimento econômico do país no período posterior à implantação do Plano Real, com um crescimento acelerado da demanda de energia elétrica, associado à exaustão da capacidade de investimento do governo nos níveis necessários à expansão do sistema elétrico e ao regime hidrológico desfavorável deram origem ao programa de racionamento de energia, instituído no país entre junho de 2001 e fevereiro de 2002. Esse programa modificou os hábitos da população, que passou a adotar práticas mais eficientes no consumo de energia, indicando que um novo padrão de consumo poderia ter sido estabelecido. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi analisar as relações entre a demanda de energia elétrica do Brasil e seus principais determinantes (renda e tarifa) nas classes de consumo Residencial, Comercial e Industrial no período pós-acionamento, com vistas a identificar a existência de novos padrões de consumo. Para isso, foi realizada, inicialmente, uma análise da evolução do consumo de cada classe no período em questão, sendo, em seguida, estimadas as elasticidades-renda e preço da demanda a partir do modelo Estrutural de Autorregressão Vetorial (SVAR). Os resultados estimados indicaram que as elasticidades-renda das classes analisadas foram inferiores às obtidas na literatura, sugerindo que houve uma queda da intensidade elétrica da economia, resultante de um ajuste no setor elétrico depois do racionamento, que levou ao aumento da eficiência no uso da eletricidade. Para a elasticidade-preço, os resultados de todas as classes não foram significativos, indicando que não existe uma relação contemporânea entre consumo e tarifa de energia elétrica. A partir dos resultados das elasticidades-renda, e com as projeções de crescimento do PIB determinadas pelo Banco Central, foram feitas previsões para a taxa de crescimento da demanda de energia elétrica, as quais foram comparadas à taxa de crescimento da oferta, no período de 2012 a 2016. Dessa forma, observou-se que a oferta de energia elétrica deverá crescer a taxas superiores à demanda, o que indica um maior ajuste no setor elétrico nacional, com redução das perspectivas de desequilíbrio entre demanda e oferta. No entanto, isso só deverá ocorrer se não houver atrasos na operação das usinas hidrelétricas que estão em construção ou se o

crescimento econômico não for superior ao previsto. Por isso, apesar da mudança no padrão de consumo ocasionada pelo racionamento, o governo deve continuar investindo na expansão da geração de energia elétrica e no gerenciamento do setor, a fim de que os riscos de cortes de energia ou de racionamento sejam minimizados, fazendo com que a falta de energia elétrica não se torne um entrave ao crescimento econômico nacional.

ABSTRACT

PAIS, Paloma Santana Moreira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2012. **Demand of electricity in Brazil in the post-rationing.** Adviser: Leonardo Bornacki de Mattos. Co-adviser: João Eustáquio de Lima.

The scenario of the country's economic growth after the “Real (Brazilian currency) Plan” implementation, with accelerated growth of electricity demand, coupled with the capacity exhaustion of government investment in needed levels to expand the electric system and the unfavorable hydrological regime led to establish in the country the electricity rationing program between June 2001 and February 2002. This program has changed the population habits; they began to adopt more efficient practices in energy consumption, indicating that a new consumption pattern could have been established. Thus, this study aimed to analyze the relationship among electricity demand in Brazil and its main determinants (income and price) to Residential, Commercial, and Industrial consumption classes in the post-rationing, in order to identify the existence of new consumption patterns. For this reason, initial analysis of consumption trends for each class in the mentioned period was performed, and then the income elasticities and price of demand from Structural Vector Autoregressive (SVAR) models was estimated. Results indicated that the income elasticities of analyzed classes were lower than those ones from literature, suggesting that there was a decrease of electric intensity of the economy, resulting from adjustment in the electricity sector after the rationing, which led to increased efficiency in the use of electricity. For the price elasticity, the results of all classes were not significant, indicating that there is no contemporaneous relationship between consumption and electricity tariff. By results of the income elasticities, and with the projections of Gross Domestic Product (GDP) growth determined by the Brazilian Central Bank, forecasts were made for the growth rate of electricity demand, which were compared to the supply growth rate from 2012 to 2016. Thus, it was observed that the electricity supply should grow at rates higher than the demand, which indicates a greater adjustment in the national electricity sector, reducing the prospects of imbalance between demand and supply. However, this should only occur if there is no delay in operation of hydropower plants that are in construction or if economic growth is not higher than that one expected. Therefore, despite the changes in consumption patterns caused by rationing, the government should continue

investing in the generation expansion of electricity and the in sector management, so that the risk of power cuts and rationing are minimized, making that the lack of electricity does not become an obstacle to national economic growth.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A energia elétrica tornou-se um fator essencial ao desenvolvimento da sociedade contemporânea. Ela trouxe o conforto para a população, ampliou a produção nas indústrias e expandiu os meios de comunicação, possibilitando a criação do rádio, da televisão e do computador. Além disso, ela é indispensável no cotidiano de hospitais, escolas, empresas e residências, e a sua escassez pode gerar crises, desemprego e recessão econômica.

No Brasil, três grandes classes se destacam no consumo dessa energia - as classes Industrial, Residencial e Comercial. Os demais consumidores, constituídos pelos setores rural e público, são agregados à classe “Outros”. Historicamente, a maior parcela desse consumo é destinada à classe Industrial, seguida pelas classes Residencial e Comercial, concomitantemente. No ano de 2010, de acordo com a Eletrobrás (2011), a classe Industrial foi responsável por cerca de 43,8% do consumo total de energia, enquanto as classes Residencial e Comercial, por 25,5% e 16,4%, respectivamente.

O mercado consumidor, em decorrência da expressiva participação da classe Industrial, concentra-se nas regiões Sudeste e Sul do país, por serem as mais industrializadas (ANEEL, 2004). No ano de 2010, de acordo com a Eletrobrás (2011), o consumo total de energia elétrica no Brasil atingiu 420.203 GWh. A região Sudeste foi a maior consumidora, com mais da metade do consumo nacional, cerca de 53,9% do total. A região Sul, com 16,8% do consumo total, apresentou consumo similar ao da região Nordeste, responsável por 16,9% desse total. Os dados mostram ainda que as regiões Norte e Centro-Oeste apresentaram o mesmo percentual de consumo de energia elétrica (6,2%), tendo sido as regiões que menos adquiriram energia no Brasil.

O setor elétrico nacional, cuja geração hidráulica é responsável pela maior parte da geração de energia, vem se desenvolvendo desde meados do século XX. A partir da década de 1950, com o Plano de Metas do Presidente Juscelino Kubitschek, o Brasil apresentou expressivos investimentos em infraestrutura, que contribuíram

para a prosperidade do setor energético nas décadas seguintes. No entanto, a expansão da geração e distribuição de energia elétrica foi acompanhada pela expansão do consumo, e isso fez com que esse setor começasse a demonstrar sinais de crise em função da perda da capacidade de financiamento desses investimentos e do fraco desempenho econômico do País (IRFFI *et al.*, 2009).

Esse cenário, iniciado na década de 1980, mostrava sinais do esgotamento do modelo estatal, ao qual foi atribuída a crise fiscal do Estado, com a exaustão da capacidade de investimento da União nos níveis necessários à expansão do sistema, e ao regime regulatório inadequado, que não estimulava a busca de eficiência e baixo custo na geração de energia elétrica (PIRES *et al.*, 2002). Ademais, o sistema elétrico brasileiro possui características que o tornam muito dependente do regime de chuvas para acumular reservas de água. Quando essas reservas não existem, ele fica vulnerável a qualquer variação do consumo, deixando de acompanhar as exigências de crescimento do mercado (BNDES, 1999).

Diante desse cenário, os reservatórios das hidrelétricas começaram a trabalhar em níveis inferiores ao desejado, principalmente em períodos de chuvas escassas. Gomes *et al.* (2002) afirmaram que tal situação só não resultou em problemas graves de fornecimento na segunda metade da década de 1990 porque ocorreu um ciclo hidrológico bastante favorável.

A situação de falência do modelo de financiamento do setor e a ameaça iminente de uma crise de fornecimento de energia por todo o país deram origem a uma série de mudanças institucionais, implementadas a partir de 1993 (MATTOS, 2004). Segundo Pires (1999), entre as mudanças ocorridas, merece destaque o redesenho do papel do Estado, cuja intervenção passou a ter caráter essencialmente regulatório em detrimento da provisão direta dos serviços.

Entretanto, houve falhas no planejamento da transição do papel do Estado, gerando atrasos no processo de execução da privatização, na execução de obras programadas e a não construção de obras previstas nos planos decenais (PIRES *et al.*, 2002). Segundo a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (GCE, 2001), embora o período tenha sido afetado pela hidrologia desfavorável, os atrasos nas obras foram os principais fatores que levaram o Governo a adotar o programa de racionamento de energia elétrica, de junho de 2001 a fevereiro de 2002. Tal

programa abrangeu as regiões Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte, tendo menor duração na última região, já que o programa foi encerrado em janeiro de 2002¹. A região Sul, por sua vez, no segundo semestre de 2000, foi extremamente favorecida do ponto de vista hidrológico, o que fez com que essa região recuperasse os níveis de seus reservatórios do período de seca do primeiro semestre de 2000, livrando-a do racionamento de energia do ano 2001 (BARDELIN, 2004).

As medidas adotadas durante o programa de racionamento conseguiram alcançar os resultados esperados, já que a energia poupada pelos consumidores durante o programa foi superior a 38 milhões de MWh, sendo 30 milhões de MWh apenas na região Sudeste (PIRES *et al.*, 2002). A energia poupada nesse período fez com que os níveis dos reservatórios aumentassem, afastando o risco de um déficit energético em 2002 e 2003, mesmo com regime hidrológico desfavorável. Pires *et al.* (2002) destacam, no entanto, que a taxa de crescimento da economia naquele período ficou comprometida, tendo o Produto Interno Bruto crescido apenas 1,5% em 2001, enquanto no ano anterior este crescimento tinha sido de 4,5%.

Mattos (2004) dividiu os efeitos da crise de energia elétrica sobre o consumo da mesma em dois componentes principais. O primeiro, um componente de caráter transitório, observado apenas durante o racionamento, cujos principais determinantes são as metas estipuladas para cada consumidor. O segundo, um efeito remanescente, observado a partir de 2003, cujas magnitude e duração dependerão, sobretudo, das mudanças ocorridas nos hábitos de consumo, da substituição da energia elétrica por outra fonte de energia, da utilização de tecnologias mais eficientes no uso final dessa energia etc.

No que se refere ao padrão de consumo da classe Industrial, este já vinha se diferenciando daquele apresentado pelas demais classes, implicando uma menor participação da indústria no crescimento da demanda, derivada de sua modernização e do uso mais eficiente de energia elétrica (PIRES *et al.*, 2001). Esse padrão se manteve após o racionamento, pois, segundo a Aneel (2004), a menor participação no crescimento do consumo foi devida à utilização de tecnologias mais eficientes no uso final da eletricidade, aliada às medidas de racionalização do consumo postas em prática especialmente na década de 1990. Portanto, parece coerente considerar que o efeito remanescente do racionamento, na classe Industrial, deve ser equivalente ao

¹ Detalhes em Pires *et al.* (2002).

efeito transitório, visto que não há motivos para que as empresas retornem às práticas menos eficientes no consumo de energia elétrica.

Quanto às classes Residencial e Comercial, Pires *et al.* (2001) observaram que a expansão do mercado, no período anterior ao racionamento, vinha sendo marcada pelo expressivo aumento do consumo dessas classes, superior ao consumo total do país. Os autores afirmaram que, para o setor Residencial, esse crescimento poderia ser justificado, inicialmente, pelo *boom* natural do consumo na primeira fase do Plano Real, com o aumento do poder aquisitivo das classes de menor renda e, posteriormente, pelo crescimento do setor informal, com a transferência de algumas atividades para as residências. No segmento Comercial, o aumento do consumo estaria vinculado à expansão dos *shoppings centers*, à modernização de serviços e à ampliação do horário de funcionamento (PIRES *et al.*, 2001).

Mattos (2004), ao analisar a demanda de eletricidade de Minas Gerais, afirmou que, mesmo com o fim do racionamento, não se observou recuperação do consumo médio. Siqueira *et al.* (2006), no entanto, ao analisarem a demanda por energia elétrica do Nordeste, constataram que, após o racionamento, os consumidores de todas as classes tenderam a retomar aos seus antigos hábitos de consumo, convergindo para a tendência de longo prazo do gasto de energia elétrica. Tal fator pôde ser evidenciado para a classe Residencial em 2009, que aumentou seu consumo total de energia elétrica devido às políticas de reduções dos impostos para alguns bens de consumo durante a crise econômica, além do aumento da renda per capita (EPE, 2010d).

1.2 O problema e sua importância

O programa de racionamento mostrou a vulnerabilidade do sistema energético nacional, indicando que a geração de energia não era suficiente para atender a uma demanda que aumentava, resultante do crescimento da economia e da renda nacional. Entretanto, diante do choque causado pelo racionamento, os consumidores se viram obrigados a alterar os hábitos de consumo, adotando práticas de consumo que reduzissem o gasto de eletricidade, o que poderia indicar que um novo padrão de consumo havia sido estabelecido. Nesse sentido, torna-se relevante analisar a

demanda de energia elétrica das principais classes no período posterior ao racionamento, com vistas a identificar seu comportamento atual diante de alterações nas principais variáveis que a determinam.

O conhecimento da relação entre o consumo de energia elétrica e seus principais determinantes, como as tarifas e o nível de renda das classes consumidoras, é de grande importância para a condução da expansão do setor elétrico, permitindo que a oferta seja ajustada às necessidades do mercado, evitando situação como a ocorrida no ano de 2001, quando foi implantado o racionamento.

De acordo com a Eletrobrás (2003), o estudo da demanda de energia elétrica tem importância estrutural e conjuntural no planejamento e gerenciamento do setor elétrico brasileiro, por exercer impacto direto e/ou indireto sobre as seguintes decisões: programas decenais de expansão da geração, transmissão e distribuição; planejamento da operação dos sistemas; programas de investimento das empresas; preço da energia no Mercado Atacadista; programa de licitação de obras do agente regulador, entre outros. Sendo assim, este estudo pode contribuir para um melhor planejamento e regulação do setor energético nacional.

Tendo em vista que a energia elétrica é um bem não-estocável, o planejamento da expansão da oferta deve ser realizado com antecedência, visto que os projetos de investimento desse setor são intensivos em capital e demandam grandes prazos de maturação. Dessa forma, estudos de análise da demanda de energia elétrica podem contribuir para reduzir as incertezas quanto à evolução do mercado consumidor e subsidiar a criação de políticas nessa área.

No Brasil, alguns trabalhos sobre demanda de energia elétrica já foram realizados. A maior parte desses estudos estimou as elasticidades-preço e renda para as quatro últimas décadas do século passado e se segue até o ano de 2003. Esse período, no entanto, não consegue captar os novos padrões estabelecidos após o racionamento ocorrido em 2001/2002.

Entre estes trabalhos, um dos primeiros foi feito por Modiano (1984), que estimou a demanda de energia elétrica para as classes Comercial, Industrial e Residencial, utilizando dados anuais de 1963 a 1981. Andrade e Lobão (1997), porém, analisaram a demanda apenas do setor Residencial, com dados de 1970 a 1995. Schmidt e Lima (2004) estimaram a demanda para as três classes de consumo, a partir de dados referentes ao período de 1969/1999. Em nível estadual ou regional, há os trabalhos de Mattos (2004) e Mattos e Lima (2005), que analisaram a demanda

de energia elétrica em Minas Gerais no período de 1970 a 2002, e os trabalhos de Siqueira *et al.* (2006) e Irffi *et al.* (2009), que estimaram a demanda de energia do Nordeste até 2003 e fizeram previsões para esta demanda de 2004 a 2010.

Leite (2006) também estimou as elasticidades-preço e renda do Brasil para as últimas décadas do século XX, mas a sua análise se estendeu até o ano de 2005, o que poderia contribuir para uma maior obtenção dos efeitos do racionamento de energia elétrica no país. Além disso, o autor fez projeções para a demanda nacional de energia elétrica no período 2006-2015.

Nos estudos anteriormente citados, foram empregadas metodologias econométricas diversas. Modiano (1984) utilizou um modelo de ajustamento parcial, enquanto Andrade e Lobão (1997), Schmidt e Lima (2004), Mattos (2004), Mattos e Lima (2005), Leite (2006) e Siqueira *et al.* (2006) optaram pela modelagem de um Vetor Autorregressivo (VAR) sob a representação de um modelo de Correção de Erro Vetorial (VEC), e Irffi *et al.* (2009) utilizaram em um modelo de Mínimos Quadrados Ordinários Dinâmicos (DOLS).

Este estudo busca estimar, por meio de um modelo VAR estrutural (SVAR), a demanda de energia elétrica das classes Residencial, Comercial e Industrial no período pós-acionamento (2003-2011), buscando identificar se esse choque definiu um novo padrão para a demanda das diferentes classes de consumo. Para isso, será analisado o comportamento da demanda diante de variações na renda e na tarifa de energia. Os modelos VAR estruturais buscam na teoria econômica as informações necessárias para a identificação das relações contemporâneas entre as variáveis. Para a demanda residencial de energia, a teoria relevante será a Teoria do Consumidor, enquanto para a demanda das demais classes (Comercial e Industrial), a teoria que orientará os estudos será a Teoria da Firma.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é identificar as relações entre a demanda de energia elétrica e seus principais determinantes (tarifa e renda) nas classes Industrial, Residencial e Comercial do Brasil no período pós-acionamento (2003 a 2011).

Especificamente, pretende-se:

1. Analisar a evolução do consumo de energia elétrica do Brasil e de suas regiões no período pós-acionamento;
2. Determinar em que medida o consumo de energia elétrica responde a mudanças na renda dos consumidores;
3. Determinar em que medida o consumo de energia elétrica responde a mudanças nas tarifas de energia;
4. Analisar o comportamento da demanda de energia quando ocorrem choques exógenos na renda, na tarifa e no consumo de energia; e
5. Fazer, com base nas elasticidades estimadas, projeções para a demanda de energia elétrica das classes Residencial, Comercial e Industrial e comparar os valores projetados com a capacidade de produção de energia, no período de 2012 a 2016.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A demanda por energia elétrica para as diferentes classes utiliza duas diferentes abordagens da Teoria Microeconômica. Para a classe Residencial, a energia elétrica é um bem de consumo que será adquirido com o objetivo de maximizar a satisfação do consumidor, sendo, portanto, orientada pela Teoria do Consumidor. A descrição desta teoria bem como as especificidades de sua aplicação à classe Residencial estão apresentadas na seção 2.1. Para as classes Comercial e Industrial, no entanto, a energia é considerada um fator necessário ao atendimento de determinada produção, de modo que os custos com a utilização desse fator sejam mínimos. Dessa forma, a teoria que orienta o comportamento dessas classes é a Teoria da Produção, que foi apresentada na seção 2.2.

2.1 Demanda de energia elétrica pela classe Residencial

2.1.1 Teoria do consumidor

A demanda do consumidor por um bem é condicionada à utilidade que este bem proporciona ao indivíduo, sendo vista como um determinado nível de satisfação mensurável que o consumidor obtém ao consumir um bem (BINGER; HOFFMAN, 1998).

A fim de analisar a satisfação do consumidor surgiu, inicialmente, a Teoria Cardinal da Utilidade, que considerava que a satisfação do consumidor deveria ser medida numericamente. No entanto, como a utilidade era um conceito subjetivo, tornava-se difícil mensurá-la, com precisão, por meio de medidas quantitativas. Surgiu, então, a Teoria Ordinal da Utilidade, na qual o indivíduo deveria classificar as alternativas de consumo, ordenando-as segundo o nível de satisfação que cada bem lhe proporcionava. De acordo com essa Teoria, cada indivíduo possui uma função de utilidade, fundamentada em alguns axiomas que caracterizam as preferências como (DEATON; MUELLBAUER, 2006):

- i) Reflexivas: Para duas cestas idênticas, ambas são igualmente preferíveis pelo consumidor;
- ii) Completas: O consumidor é capaz de comparar duas cestas (q_1 e q_2) e decidir se q_1 é preferível a q_2 , se q_2 é preferível a q_1 , ou se q_1 é indiferente a q_2 ;
- iii) Transitivas: Se, ao comparar as cestas, o consumidor decide que q_1 é preferível a q_2 e que q_2 é preferível a q_3 , então a cesta q_1 será preferível a q_3 ;
- iv) Contínuas: Se a cesta q_1 é preferível a q_2 e a cesta q_3 é suficientemente próxima à cesta q_2 , então q_1 será preferível a q_3 ;
- v) As preferências exibem não-saciedade: Para duas cestas q_1 e q_2 que contêm os mesmos bens (por exemplo, X e Y), se ambas possuem as mesmas quantidades do bem X, mas a cesta q_1 possui uma maior quantidade do bem Y em relação à cesta q_2 , então q_1 será preferível a q_2 ; e
- vi) Convexidade: As curvas de indiferença², originadas da função de utilidade, exibem taxas marginais de substituição³ decrescentes (se q_1 é preferível a q_2 , então para $0 \leq \lambda \leq 1$, $\lambda q_1 + (1 - \lambda)q_2$ é tão preferível quanto q_2).

Segundo Binger e Hoffman (1998) e Deaton e Muellbauer (2006), os quatro primeiros axiomas são suficientes para representar a ordenação das preferências por meio de uma função de utilidade $u(q)$, porém, os dois últimos pressupostos permitem que o cálculo da maximização restrita contribua para a análise da escolha do consumidor.

A partir desses axiomas que caracterizam o comportamento do consumidor, tem-se que a escolha do indivíduo diante das diferentes opções de cestas de consumo é limitada pela sua renda, a qual determina a quantidade de bens que ele poderá adquirir. Segundo Varian (1993), a teoria econômica que aborda essa demanda se baseia na maximização da utilidade do consumidor, dada sua restrição orçamentária, conforme as Equações (1) e (2):

$$\text{Maximizar: } U(X_{it}) \tag{1}$$

$$\text{Sujeito a: } P_{it} X_{it} + P_{nt} X_{nt} \leq R_t \tag{2}$$

² Uma curva de indiferença representa as diferentes quantidades de bens que geram a mesma satisfação para o consumidor.

³ A taxa marginal de substituição (TMS) representa a inclinação da curva de indiferença, ou seja, a taxa em que o consumidor está disposto a trocar um bem por outro, mantendo o mesmo nível de satisfação.

em que $U(X_{it})$ representa a função de utilidade do consumidor; P_{it} é o preço do bem i ; P_{nt} é o preço de todos os n bens consumidos; X_{it} é a quantidade consumida do bem i ; X_{nt} é a quantidade consumida dos n bens; R_t é a renda; (2) representa a restrição orçamentária do consumidor; e t é o tempo.

Assim, embora o consumidor possa escolher qualquer combinação diferente de bens, restrito à sua renda, existe apenas uma combinação que maximiza sua satisfação. Esta escolha ótima ocorre no ponto de tangência entre uma curva de indiferença e a restrição orçamentária. Tal situação mostra que, como as curvas de indiferença são convexas, para qualquer situação de consumo individual de duas mercadorias, o consumidor exigirá quantidades cada vez maiores de uma mercadoria para compensar as perdas sucessivas de unidades da outra (MAS-COLELL; WHINSTON; GREEN, 1995).

Ao resolver o problema de maximização anterior, tem-se como resultado a função de demanda Marshalliana ou não Compensada, conforme a equação seguinte:

$$X_{it} = f(P_{it}, P_{nt}, R_t) \quad (3)$$

em que X_{it} é a quantidade demandada do bem i no período t ; P_{it}, \dots, P_{nt} são os preços dos bens, inclusive do bem i ; R_t é a renda; e t é o tempo.

No entanto, para garantir que a quantidade demandada X_{it} seja aquela que maximiza a função de utilidade (1) sujeita à restrição orçamentária (2), algumas condições devem ser observadas. Inicialmente, há as condições de primeira ordem, também conhecidas como condições de Kuhn-Tucker, que servem para identificar pontos máximos ou mínimos relativos, quando as restrições apresentam desigualdades. Para isso, monta-se a função Lagrange a partir das Equações (1) e (2), conforme apresentado na Equação (4):

$$L = U(X_{it}) + \lambda(R_t - P_{it}X_{it} - P_{nt}X_{nt}) \quad (4)$$

em que L representa a função Lagrange e λ é o multiplicador de Lagrange.

Para que o valor encontrado na Equação (3) seja um máximo, as condições de primeira ordem originadas da derivação da função Lagrange (4) são:

$$\frac{\partial L}{\partial X_{it}} \leq 0; X_{it} \geq 0; X_{it} \frac{\partial L}{\partial X_{it}} = 0 \quad (5)$$

em que a primeira condição é chamada de marginal, a segunda, de condição de não-negatividade, e a terceira, de condição de folga complementar.

A relação apresentada na primeira condição indica que os valores originados pela derivação da função Lagrange em relação à variável X_{it} devem ser negativos ou nulos, visto que, se o objetivo da estimação é encontrar um ponto máximo, então esse máximo não pode ocorrer em um ponto onde a inclinação da função seja positiva ($\partial L / \partial X_{it} > 0$). A segunda condição refere-se à restrição de não-negatividade da variável de escolha, ou seja, os valores que se deseja encontrar para a variável X_{it} devem estar contidos no primeiro quadrante. Isso é muito comum em economia, visto que algumas variáveis (como consumo e renda) não podem assumir valores negativos. A terceira restrição expressa uma relação comum às condições anteriores, pois indica que, das condições anteriores, ao menos uma deve assumir valor zero.

Em conjunto, as três restrições descritas em (5) representam a condição necessária de primeira ordem para um máximo local em que a variável de escolha não deve assumir valores negativos. Segundo Chiang e Wainwright (2006), para que as condições supracitadas sejam também suficientes, Kuhn e Tucker propuseram que condições adicionais deveriam ser satisfeitas, as quais são:

- i) A função objetivo apresentada em (1) deve ser diferenciável e côncava no ortante não-negativo;
- ii) A função de restrição (2) deve ser diferenciável e convexa no ortante não-negativo; e
- iii) A equação (3) resultante do problema de maximização restrita deve satisfazer as condições de máximo de Kuhn-Tucker.

Satisfeitas as condições necessárias e suficientes do problema de maximização restrita, a Equação (3) refere-se à função de demanda do bem X_{it} . Quando se representa graficamente a relação entre a quantidade demandada e o preço de um bem, obtém-se a curva de demanda desse bem, a qual apresenta as diferentes quantidades do produto que os consumidores podem adquirir aos diversos preços, quando todas as outras variáveis são mantidas constantes. Alterações nos fatores que

influenciam a demanda, exceto o preço do bem, deslocam a curva de demanda para a esquerda ou para a direita. Alterações no preço do bem provocam deslocamentos ao longo da curva de demanda.

2.1.2 Homoteticidade

Uma importante característica que as preferências podem assumir refere-se à homoteticidade. As preferências dos consumidores são homotéticas se todas as curvas de indiferença forem relacionadas por expansões proporcionais ao longo de raios, ou seja, se $x \sim y$, então $\alpha x \sim \alpha y$, para todo $\alpha \geq 0$ (MAS-COLELL; WHINSTON; GREEN, 1995).

Uma definição diferente pode ser encontrada em Deaton e Muellbauer (2006), os quais consideram que as preferências são ditas homotéticas se, para alguma normalização da função de utilidade, a duplicação da quantidade dobra a utilidade, como apresentado na Figura 1. Ao comparar a homoteticidade à Teoria da Produção, os mesmos autores afirmam que as preferências serão homotéticas se a utilidade puder ser produzida sob retornos constantes à escala, o que sugere que cada curva de indiferença é, simplesmente, uma versão reduzida ou ampliada de todas as outras.

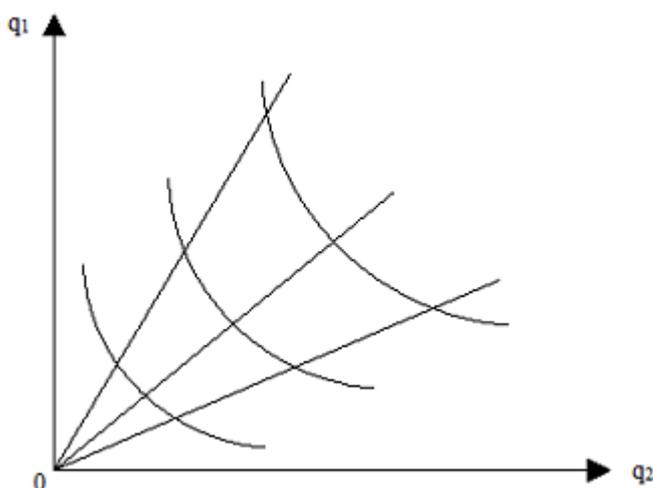


Figura 1 – Preferências homotéticas.

Fonte: Deaton e Muellbauer (2006).

A análise da Figura 1 aponta que qualquer linha reta partindo da origem cortará as curvas de indiferença em pontos de mesma tangência, ou seja, pontos que possuem a mesma Taxa Marginal de Substituição. Assim, tem-se que a composição da cesta não depende da renda total ou da utilidade, o que torna todas as elasticidades-renda unitárias. Outra consequência importante refere-se à função de custos, visto que o custo de alcançar uma determinada utilidade u poderá ser proporcional a u (DEATON e MUELLBAUER, 2006).

2.1.3 Separabilidade

Outra característica importante das preferências é a separabilidade. Segundo Deaton e Muelbauer (2006), a separabilidade ocorre quando uma cesta de bens pode ser dividida em grupos e as preferências em um grupo podem ser descritas independentemente das quantidades em outros grupos. Neste caso, a satisfação pelo consumo dos bens de cada grupo pode ser representada por uma função de subutilidade, e os valores combinados de cada uma dessas subutilidades geram a utilidade total, conforme a Equação (6):

$$u = f[v_1(q_1), v_2(q_2), \dots, v_n(q_n)] \quad (6)$$

em que v_1 , v_2 e v_n são as funções de subutilidade associadas aos grupos de consumo q_1 , q_2 e q_n , respectivamente.

A partir desse conceito surge a ideia de Orçamentação em Dois Estágios: num primeiro momento, o indivíduo distribui a sua renda entre os grupos de consumo mais amplos, como moradia alimentação e lazer, enquanto num segundo momento, a renda é alocada dentro do mesmo grupo, entre os diferentes gastos (a renda referente à moradia pode ser dividida entre aluguel, condomínio, iluminação e telefonia, por exemplo).

2.1.4 Homogeneidade

Uma propriedade fundamental da função de demanda refere-se à homogeneidade de grau zero. Uma função é homogênea de grau k se, multiplicando-se cada variável da função por uma constante α , multiplica-se a função por α^k , conforme a Equação (7):

$$f(\alpha x, \alpha y) = \alpha^k f(x, y) \quad (7)$$

Nesse caso, a função será homogênea de grau zero se:

$$f(\alpha x, \alpha y) = \alpha^0 f(x, y) = f(x, y) \quad (8)$$

Binger e Hoffman (1998) explicam que, se a restrição orçamentária não for alterada, as escolhas do consumidor também não serão, pois as escolhas do consumidor são definidas apenas sobre as quantidades dos bens e serviços e não sobre preços e renda. Portanto, o consumidor escolhe a mesma cesta de consumo que maximiza a sua utilidade, como antes. Os mesmos autores ressaltam ainda que se uma função de demanda estimada não for homogênea de grau zero, então ela não pode ser derivada de uma maximização da utilidade.

2.1.5 Considerações sobre a demanda de energia elétrica da classe Residencial

Analisando a demanda de energia elétrica, em geral, ela é considerada função da tarifa média, da renda do consumidor e do estoque de equipamentos que necessitam de energia para o seu funcionamento, sendo representada a seguir:

$$Q_t = PT_t^\alpha . R_t^\beta . EE_t^\delta \quad (9)$$

em que Q_t é a quantidade demanda de energia elétrica; PT_t é a tarifa de energia; R_t é a renda do consumidor; EE_t é o estoque de equipamentos que necessitam de energia elétrica para o seu funcionamento; e t é o tempo.

Com base na teoria, espera-se que a demanda de energia elétrica reaja negativamente aos aumentos na tarifa de energia e, positivamente, aos aumentos na renda e no estoque de eletrodomésticos (ANDRADE; LOBÃO, 1997). Segundo Mattos (2004), essa redução da quantidade demandada acontece indiretamente, decorrente de duas atitudes alternativas do consumidor: ou ele diminui a utilização dos equipamentos elétricos existentes ou adquire equipamentos novos e mais eficientes, que consumam menos energia.

Analisando a proposição de Mattos (2004), tem-se que as variações na demanda de energia elétrica decorrentes do estoque de eletrodomésticos ocorrem, sobretudo, por causa das variações na renda do consumidor. O aumento da renda possibilitará que o consumidor adquira novos equipamentos ou amplie o uso dos equipamentos que já possui. Além disso, o mesmo autor também lembra que, no curto prazo, o estoque de eletrodomésticos é fixo, e a demanda dependerá apenas da intensidade com a qual o estoque existente será utilizado. Por isso, neste trabalho, a demanda de energia elétrica será considerada função apenas da tarifa de energia elétrica e da renda do consumidor, conforme pode ser visto na Equação (10), da mesma forma como apresentado por Modiano (1984) e Gomes (2010).

$$Q_t = PT_t^\alpha . R_t^\beta \quad (10)$$

Tomando-se o logaritmo da Equação (10), obtém-se a equação linear para a demanda de energia elétrica.

$$q_t = \phi_1 p_t + \phi_2 r_t \quad (11)$$

em que q_t , p_t e r_t representam os logaritmos de Q_t , PT_t e R_t e $\phi_1 = \alpha$ e $\phi_2 = \beta$.

Um conceito muito utilizado em estudos de demanda é o de elasticidade, que é uma medida da sensibilidade da quantidade demandada em relação a uma determinada variável, sendo dada pela variação percentual da quantidade demandada dividida pela variação percentual da variável. Os coeficientes ϕ_1 e ϕ_2 representam as

elasticidades da demanda de energia elétrica em relação à tarifa de energia e à renda do consumidor, respectivamente.

2.2 Demanda de Energia Elétrica pelas Classes Comercial e Industrial

2.2.1 Teoria da produção: Maximização do lucro

Quanto às classes Comercial e Industrial, tem-se que a energia elétrica não é mais um bem de consumo, e sim um fator de produção. Nesse sentido, Binger e Hoffman (1998) lembram que a demanda por um insumo como energia elétrica não pode ser separada da escolha do nível de produção, o que faz com que a demanda pelo insumo seja derivada da demanda pelo produto.

Diante disso, tem-se que o objetivo das firmas é determinar a quantidade a ser utilizada do fator na produção do bem ou serviço de modo a maximizar o lucro. Este lucro é definido como a receita da firma abatidos os seus custos. Assim, se uma firma produz n produtos (y_1, \dots, y_n) , vendendo-os aos preços (p_1, \dots, p_n) , e utiliza m insumos (x_1, \dots, x_m) , com preços (w_1, \dots, w_m) , o lucro dessa firma pode ser expresso por:

$$\pi = \sum_{i=1}^n p_i y_i - \sum_{i=1}^m w_i x_i \quad (12)$$

em que $\sum_{i=1}^n p_i y_i$ representa a receita da firma, enquanto $\sum_{i=1}^m w_i x_i$ representa os custos da firma.

Segundo Varian (1992), a função de lucro possui algumas propriedades importantes oriundas diretamente da sua definição, que são:

- i) Não-decrescente nos preços dos produtos e não-crescente nos preços dos insumos: Se $p_i' \geq p_i$ para todos os produtos e $w_i' \leq w_i$ para todos os insumos, então $\pi' \geq \pi$;
- ii) Homogênea de grau 1 em p : $\pi(t p) = t \cdot \pi(p)$, para todo $t \geq 0$;

- iii) Convexa em p : Dado $p'' = t.p + (1 - t)p'$, para $0 \leq t \leq 1$. Então, $\pi(p'') \leq t\pi(p) + (1 - t)\pi(p')$; e
- iv) Contínua em p : A função $\pi(p)$ é contínua, no mínimo quando $\pi(p)$ é bem-definida e $p_i > 0$, para $i = 1, \dots, n$.

Para determinar o processo de maximização do lucro de uma firma, considera-se inicialmente que ela utiliza apenas dois fatores em seu processo de produtivo (x_1 e x_2), aos preços w_1 e w_2 , e que tenha uma função de produção $f(x_1, x_2)$ geradora de apenas um produto y , vendido ao preço p . Mantendo constante o fator x_2 , dado que no curto prazo pelo menos um fator é fixo, para determinar a quantidade do insumo x_1 a ser utilizada, a firma se depara com o seguinte problema:

$$\underset{x_1, x_2}{\text{Max}} p \cdot f(x_1, \bar{x}_2) - w_1 x_1 - w_2 \bar{x}_2 \quad (13)$$

Quando a Equação (13) é diferenciada em relação à quantidade do fator 1 e esse resultado é igualado a zero, obtém-se a condição de primeira ordem para a maximização do lucro da firma, resultando na seguinte expressão:

$$p \cdot PMg_1(x_1^*, \bar{x}_2) = w_1 \quad (14)$$

em que PMg_1 é o produto marginal do fator 1 e x_1^* é a quantidade desse fator que maximiza o lucro da firma.

Se a Equação (13) for novamente diferenciada em relação à quantidade do fator 1 e o resultado encontrado for negativo, tem-se que a Equação (14) indica que a quantidade do fator 1 apontada pelos cálculos é aquela que maximiza o lucro da firma.

Assim, de acordo com a Equação (14), a firma deve utilizar a quantidade x_1 do fator até o limite no qual o valor de seu produto marginal seja igualado ao seu preço. A relação entre as quantidades ótimas de cada fator com os seus respectivos preços origina a curva de demanda do fator, que representa a escolha maximizadora de lucros daquele insumo (VARIAN, 1993). A lógica da maximização do lucro implica que a função de oferta de uma firma competitiva deve ser uma função

crescente do preço do produto e a função de demanda do fator deve ser uma função decrescente do seu preço (VARIAN, 1993).

2.2.2 Preço dos substitutos e demanda de energia elétrica das classes Comercial e Industrial

Ao analisar a demanda industrial, Bjorner *et al.* (2001) consideraram que os preços da energia e de outros fatores são exógenos e que cada companhia minimiza o custo de produção, assumindo que a demanda de energia elétrica seja uma função do fator preço e do nível de produção. Nesse sentido, para os mesmos autores, a demanda não é influenciada pelo custo de outros tipos de energia. Já autores como Silk e Joutz (1997) e Al-Faris (2002) discordam desse posicionamento. Al-Faris (2002) defende a existência de um efeito substituição, que funciona através da alteração dos custos relativos das fontes de energias alternativas e que motiva os consumidores a migrar para o substituto relativamente mais barato. Silk e Joutz (1997), porém, apesar de considerarem a dependência em relação aos preços dos substitutos, reconhecem as restrições ao seu uso.

Apesar das divergências sobre a dependência da demanda de energia elétrica em relação ao preço dos substitutos, neste trabalho essa variável não será considerada na estimação da demanda do setor Industrial, da mesma forma que em Modiano (1984) e em Bjorner *et al.* (2001). A exclusão dessa variável na estimação do modelo deve-se, também, à dificuldade em obter dados relativos ao preço do bagaço de cana-de-açúcar, outra importante fonte de energia da indústria. Além disso, Mattos (2004) ressalta que apenas parte dos equipamentos de uma indústria pode funcionar com um substituto da energia elétrica e que a decisão do consumidor quanto à substituição da energia também é influenciada pela disponibilidade e custos envolvidos na adaptação dos processos produtivos ao novo tipo de energia utilizada.

Como o preço do substituto não será incluído no modelo, a equação da demanda de energia elétrica das classes Industrial e Comercial permanece especificada da mesma forma que a equação da demanda da classe Residencial, apresentada na Equação (11).

3 METODOLOGIA

Para o estudo da demanda de energia elétrica nas classes Comercial, Industrial e Residencial do Brasil, foram estimados modelos Vetoriais Autorregressivos (VAR) na sua forma estrutural (SVAR). A descrição deste modelo é apresentada na seção 3.1. Por se tratar de análise de séries temporais, torna-se necessário identificar a ordem de integração dessas séries. Para tal, foram utilizados os Testes de Raiz Unitária de Dickey-Fuller Aumentado (DFA) e de Phillips-Perron (PP), descritos na seção 3.2. Também foi investigada a presença de autocorrelação, por meio do Teste do Multiplicador de Lagrange de Breusch Godfrey, cuja descrição se encontra na seção 3.3. Uma breve descrição da função de impulso-resposta e análise da decomposição da variância, por sua vez, é apresentada na seção 3.4, enquanto a seção 3.5 apresenta a descrição e operacionalização das variáveis.

3.1 Modelo VAR estrutural (SVAR)

Os modelos VAR têm sido frequentemente utilizados em estudos de demanda de energia elétrica⁴. Esses modelos possuem suas formas estruturais estimadas conforme a Equação (15):

$$\begin{bmatrix} 1 & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & 1 & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_t \\ r_t \\ p_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{10} \\ b_{20} \\ b_{30} \end{bmatrix} + \sum_{s=1}^p \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{t-s} \\ r_{t-s} \\ p_{t-s} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_q & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_r & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_q \\ \varepsilon_r \\ \varepsilon_p \end{bmatrix} \quad (15)$$

ou na forma compacta

$$AX_{it} = B_0 + \sum_{s=1}^p B_s X_{it-s} + B\varepsilon_{it} \quad (16)$$

em que

⁴ Além dos estudos citados na introdução desse trabalho, podem ser citados Silk e Joutz (1997) e Holtedahl e Joutz (2003).

A é a matriz $n \times n$ que define as restrições contemporâneas entre as n variáveis que constituem o vetor ($n \times 1$) X_{it} de variáveis da demanda de energia elétrica das classes Residencial, Comercial e Industrial;

B_0 é um vetor de constantes $n \times 1$;

B_s são as matrizes $n \times n$ de coeficientes de relações com defasagens s , para $s = 1, \dots, p$;

X_{it} é o vetor de variáveis i incluídas no modelo, sendo i_1 a quantidade consumida de energia elétrica; i_2 a renda dos consumidores; e i_3 o preço da energia elétrica;

B é uma matriz diagonal $n \times n$ de desvios-padrão; e

ε_{it} é o vetor $n \times 1$ dos choques estruturais⁵, que são não correlacionados entre si contemporânea ou temporalmente.

A Equação (16) foi acrescida de termos determinísticos a fim de captar possíveis variações na demanda de energia elétrica, causadas pela tendência referente ao crescimento populacional, por exemplo, ou às variações do consumo resultantes de outras fontes de consumo de energia, como aumento da energia solar ou eólica. Além disso, para a classe industrial, essa equação também inclui uma *dummy* para captar o efeito da crise financeira de 2008 sobre a demanda de energia elétrica, pois a indústria foi a única classe a sofrer redução no consumo de energia durante a crise.

Segundo Bueno (2008), de modo geral, o modelo VAR não permite identificar todos os parâmetros da forma estrutural, a não ser que se imponham restrições adicionais. Para impor essas restrições, normalmente adota-se um sistema recursivo a fim de identificar o modelo, conhecido como *decomposição de Choleski*⁶.

No entanto, de acordo com Bernanke (1986), a ortogonalização dos resíduos feita pela decomposição de *Choleski* assume que o modelo estrutural para os resíduos possui uma forma particular, uma suposição muitas vezes não motivada pela teoria econômica. Com isso, Lütkepohl e Krätzig (2004) ressaltam que muitas críticas têm sido direcionadas a esses modelos pelo seu caráter atóxico e pelo fato de as diferentes formas de ordenação das variáveis no vetor de séries temporais produzirem choques distintos sobre o sistema. Além disso, o número de parâmetros a serem estimados aumenta consideravelmente com o número de variáveis e

⁵ São chamados de choques estruturais porque afetam individualmente cada uma das variáveis endógenas (BUENO, 2008).

⁶ Para maiores informações, ver Enders (1995), Lütkepohl e Krätzig (2004) ou Bueno (2008).

defasagens incluídas nos modelos, podendo resultar num problema de redução dos graus de liberdade.

A fim de contornar os problemas apresentados pelos modelos VAR tradicionais, neste trabalho optou-se pela utilização do VAR estrutural, inicialmente proposto por Sims (1986) e Bernanke (1986). Tal modelo utiliza a teoria econômica para recuperar as inovações estruturais a partir dos resíduos (ENDERS, 1995). Esse procedimento, além de eliminar o caráter atóxico dos modelos, reduz o número de parâmetros a serem estimados.

Como a metodologia SVAR pode ser utilizada como um instrumento de análise econômica, Azevedo (2007) ressalta que as inovações devem representar mudanças autônomas nas variáveis endógenas, propiciando que a função impulso-resposta e a análise de decomposição da variância dos resíduos descrevam, o mais verossimilmente possível, os efeitos de uma inovação pura, na forma representada por ε_{it} .

Para isso, deve-se, inicialmente, identificar os parâmetros do SVAR, o que foi feito utilizando o modelo *AB*, proposto por Amisano e Giannini (1997), como forma de identificação com base em restrições determinadas pela teoria econômica. De acordo com o modelo proposto por esses autores, deve-se impor $\frac{n(3n-1)}{2}$ restrições às matrizes *A* e *B*, apresentadas em (15) e (16) para identificar o modelo, em que *n* representa o número de variáveis consideradas. Assim, as matrizes *A* e *B* da Equação (16) assumem o seguinte formato:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ a_{31} & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ e } B = \begin{bmatrix} \sigma_q & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_r & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_p \end{bmatrix} \quad (17)$$

Conforme mostrado, foram impostas doze restrições às matrizes *A* e *B*. Na primeira linha da matriz *A*, não houve nenhuma modificação, pois a demanda de energia elétrica é influenciada pela renda (a_{12}) e pela tarifa de energia (a_{13}). Quanto à renda, ela não é influenciada por nenhuma dessas variáveis, o que confere três restrições à segunda linha da matriz *A*. A tarifa de energia, por sua vez, é determinada simultaneamente à quantidade consumida, já que o preço da energia elétrica no Brasil é baseado em blocos de consumo. Dessa forma, essa terceira linha

da matriz A possui um parâmetro a ser estimado para tratar a relação entre a tarifa e o consumo, que é o coeficiente a_{31} , indicando terem sido impostas duas restrições à terceira linha da matriz em análise. Portanto, nesse modelo, foram impostas seis restrições à matriz de relações contemporâneas A , de modo que a demanda de energia elétrica é considerada a variável mais endógena, enquanto a renda é a variável mais exógena do modelo.

Para a matriz B , foram impostas seis restrições, de modo que ela permanece com o mesmo formato especificado na Equação (15), sendo que a diagonal desta matriz representa os desvios padrão das variáveis do modelo.

A Equação (15) foi estimada para as classes Residencial, Comercial e Industrial do Brasil. A partir dessas equações, esperava-se que o consumo de energia elétrica respondesse positivamente a aumentos na renda e negativamente a aumentos na tarifa de energia elétrica.

Quanto à forma de especificação da tarifa, existe uma discussão na literatura: alguns autores defendendo a utilização do preço médio, outros, preferindo empregar o preço marginal⁷. O preço médio é o valor total da conta dividido pela quantidade consumida de eletricidade, enquanto o preço marginal é o preço cobrado por unidade de consumo referente ao bloco onde recai a quantidade total consumida (SILVA, 2001).

No Brasil, os estudos sobre a demanda de energia elétrica utilizam a tarifa média⁸. Adicionalmente, diante da indisponibilidade de dados referentes às tarifas marginais e sabendo que o preço médio é a variável de conhecimento à qual o consumidor brasileiro se reporta, este estudo utilizou a tarifa média na estimação da demanda de energia elétrica.

Para definição do número de defasagens em cada um dos modelos VAR, foram utilizados os critérios de Akaike (AIC), Schwarz (SIC) e Hannan-Quinn (HQ). A escolha se deu pelo modelo com o número de defasagens que apresentou o menor valor nos critérios escolhidos.

⁷ Para mais informações, consultar Garcez e Ghirardi (2003) e Bjorner *et al.* (2001).

⁸ Alguns desses estudos são de Modiano (1984), Andrade e Lobão (1997), Silva (2001), Mattos (2004), Schmidt e Lima (2004) e Mattos e Lima (2005).

3.2 Testes de raiz unitária

3.2.1 Teste de raiz unitária de Dickey-Fuller Aumentado

O teste de Dickey-Fuller Aumentado foi uma extensão do teste de Dickey-Fuller criado pelos mesmos autores, mas que considerava o caso em que os termos de erro apresentassem autocorrelação. Para isso, os autores consideraram o acréscimo de valores defasados da variável dependente (ΔY_t) suficientes para que o termo de erro ε_t não apresente correlação serial.

Dessa forma, o teste de Dickey_Fuller Aumentado é aplicado em regressões especificadas da seguinte forma:

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \alpha_i \sum_{i=1}^m \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (18)$$

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \delta Y_{t-1} + \alpha_i \sum_{i=1}^m \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (19)$$

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \alpha_i \sum_{i=1}^m \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (20)$$

em que Δ é o operador de primeira diferença, ε_t é o termo de erro, β_1 é o termo de intercepto e t é a variável tempo ou tendência. Nessas equações, a hipótese nula é $\delta = 0$ (existe uma raiz unitária), ou seja, a série é não estacionária. A hipótese alternativa, por sua vez, é $\delta < 0$, na qual a série temporal é estacionária.

A estatística do teste é conhecida como tau (τ), e seus valores foram tabulados por Dickey e Fuller. Assim, se $|\tau|$ calculado $>$ $|\tau|$ crítico, rejeita-se a hipótese nula, ou seja, a série é estacionária. Caso contrário, se $|\tau|$ calculado $<$ $|\tau|$ crítico, não se rejeita a hipótese nula, indicando que a série é não-estacionária.

3.2.2 Teste de raiz unitária de Phillips-Perron

O teste de raiz unitária desenvolvido por Phillips e Perron (1988) consiste numa generalização do teste de Dickey_Fuller, mas que leva em consideração uma natureza menos restritiva do processo de erro, ou seja, esse teste permite que a estimação seja consistente mesmo que haja variáveis defasadas dependentes e correlação serial nos erros.

As equações estimadas e os testes designados são iguais aos de Dickey e Fuller, e estão representadas abaixo:

$$\Delta Y_t = \alpha Y_{t-1} + u_t \quad (21)$$

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \alpha Y_{t-1} + u_t \quad (22)$$

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \alpha Y_{t-1} + u_t \quad (23)$$

Adicionalmente, a análise dos resultados do teste é semelhante ao teste de Dickey-Fuller Aumentado, sob a hipótese nula de raiz unitária. Por isso, não será descrita novamente.

3.3 Teste do multiplicador de lagrange (LM) de Breusch-Godfrey para autocorrelação

Uma maneira de testar a autocorrelação dos resíduos de um modelo VAR é assumir que o vetor de resíduos do modelo seja gerado pelo seguinte esquema autorregressivo de h-ésima ordem:

$$u_t = \rho_1 u_{t-1} + \rho_2 u_{t-2} + \dots + \rho_h u_{t-h} + \varepsilon_t \quad (24)$$

em que ε_t é um ruído branco.

A partir da Equação (24), testa-se o seguinte par de hipóteses:

$$\begin{aligned}
H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_h = 0 \\
H_1 : \rho_k \neq 0
\end{aligned}
\tag{25}$$

em que a hipótese nula indica que todos os coeficientes autorregressivos são simultaneamente iguais a zero, ou seja, não há autocorrelação de nenhuma ordem, enquanto a hipótese alternativa indica que pelo menos um coeficiente é diferente de zero, significando existir autocorrelação no modelo. A estatística do teste segue a distribuição do qui-quadrado com h graus de liberdade.

Se $(n - h) \cdot R^2$ calculado for superior ao valor crítico do χ^2 , rejeita-se a hipótese nula, indicando que não existe autocorrelação. Se, ao contrário, o valor calculado for inferior ao valor crítico, conclui-se que existe autocorrelação no modelo.

3.4 Função impulso-resposta e análise de decomposição da variância do erro de previsão

O estudo das relações dinâmicas entre as variáveis do modelo foi complementado pelas análises da decomposição da variância do erro de previsão e das funções impulso-resposta.

A análise da decomposição da variância do erro de previsão indica a proporção dos movimentos em uma série que ocorrem devido a choques na própria variável ou em outra variável (ENDERS, 1995). Pode-se, por meio desta análise, determinar qual variável é mais exógena no sistema, além de inferir sobre a “causalidade” num determinado horizonte temporal.

As funções de impulso-resposta, por sua vez, são funções que medem o efeito corrente e futuro de um choque unitário de uma variável sobre todas as variáveis endógenas do sistema. No entanto, a simples ordenação das variáveis no sistema VAR altera o sentido da relação contemporânea e as funções de impulso-resposta e decomposição da variância. Para solucionar esse impasse, o modelo adotado neste trabalho procurou utilizar uma transformação ortogonal que fosse estimada de maneira não-recursiva, seguindo a proposta de Amisano e Giannini (1997), conforme explicado na seção 3.2.1 deste capítulo.

3.5 Fontes e operacionalização dos dados

Neste trabalho, foram utilizados dados mensais referentes ao consumo de energia elétrica, tarifa média de energia elétrica e renda das classes consumidoras. Os dados correspondem ao período de janeiro de 2003 a junho de 2011, período posterior ao racionamento.

Os dados relativos às tarifas médias de energia foram coletados junto à Aneel. Os dados relativos ao consumo de energia elétrica têm como fonte a Eletrobrás e foram obtidos no sítio do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (www.ipeadata.gov.br).

Como *proxy* para a renda, os estudos geralmente utilizam a série referente ao Produto Interno Bruto (PIB). Entretanto, uma vez que não há séries mensais para o PIB das classes de consumo residencial, comercial e industrial, fez-se opção pela série temporal de arrecadação do imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS), para a classe Residencial, dada a elevada correlação entre essas duas variáveis. Essa série tem como fonte o Ministério da Fazenda e foi coletada no sítio do Banco Central do Brasil (www.bcb.gov.br). No caso das classes Comercial e Industrial, foram utilizadas como *proxies* da renda as séries do volume de vendas no varejo e do número de horas pagas na indústria, ambas coletadas no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (www.ibge.gov.br).

As séries de tarifas médias de energia elétrica e de arrecadação de ICMS foram deflacionadas pelo índice geral de preços (IGP-DI), da Fundação Getúlio Vargas. A base da série de IGP-DI utilizada para o deflacionamento das variáveis foi janeiro de 2010 (jan. 2010 = 100).

Além disso, foi identificada por meio de análise gráfica e testes estatísticos a presença de sazonalidade determinística⁹ nas séries de consumo e renda de todas as classes analisadas. Para remover o componente sazonal, estimou-se a Equação (26), da mesma forma que Lamounier (2001) e Nakane (2008), a partir da qual se utilizou o resíduo como a variável para estimar o modelo VAR, já que ela não tinha o componente sazonal.

⁹ Sazonalidade determinística refere-se ao efeito sazonal que apresenta comportamento relativamente estável e previsível ao longo dos anos, devido à influência de fenômenos climáticos, naturais, ou datas que se repetem ano a ano com certa regularidade (LAMOUNIER, 2001).

$$Y_t = \alpha_i d_i + u_t \tag{26}$$

em que Y_t é a série com o componente sazonal, d_i são as *dummies* mensais e u_t é o termo de erro da equação.

Para as estimativas dos modelos e dos testes econométricos, utilizou-se o *software* EViews 5. Adicionalmente, todas as séries utilizadas nas estimações deste trabalho foram transformadas para a forma logarítmica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este Capítulo foi elaborado com o intuito de apresentar a evolução do consumo de energia elétrica no período de janeiro de 2003 a junho de 2011, bem como analisar e discutir os resultados referentes às estimativas das demandas de energia elétrica das principais classes. A seção 4.1 analisa a dinâmica do consumo de energia elétrica, sendo que o consumo das classes Residencial, Comercial e Industrial está apresentado nas subseções 4.1.1, 4.1.2, e 4.1.3, respectivamente. A seção 4.2 aborda os resultados referentes às estimativas das demandas de energia elétrica das principais classes bem como as comparações com pesquisas anteriores e a discussão acerca dos resultados obtidos, que, para as classes Residencial, Comercial e Industrial, estão apresentados nas subseções 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3. A seção 4.3 apresenta as projeções da demanda brasileira de energia elétrica, elaboradas a partir dos resultados obtidos nas seções anteriores, sendo que tais projeções foram comparadas à evolução da capacidade de produção de energia elétrica esperada para o período de 2012 a 2016.

4.1 Evolução do consumo de energia elétrica no período pós-acionamento

O Programa de Racionamento de energia elétrica, entre 2001 e 2002, teve efeitos diretos sobre o consumo de energia, já que ele teve que ser reduzido por causa das metas impostas pelo programa. Bardelin (2004) ressalta que, além das metas impostas pelo racionamento, outros fatores contribuíram para a redução do consumo, que foram os aumentos das tarifas ocorridos em dezembro de 2001, a redução de impostos sobre equipamentos com maior eficiência energética e o aumento de impostos para equipamentos de menor eficiência. O mesmo autor ainda observa que as pessoas ou empresas que adquiriram equipamentos de maior eficiência energética em substituição aos equipamentos de menor eficiência perceberam que essas trocas poderiam ser economicamente viáveis.

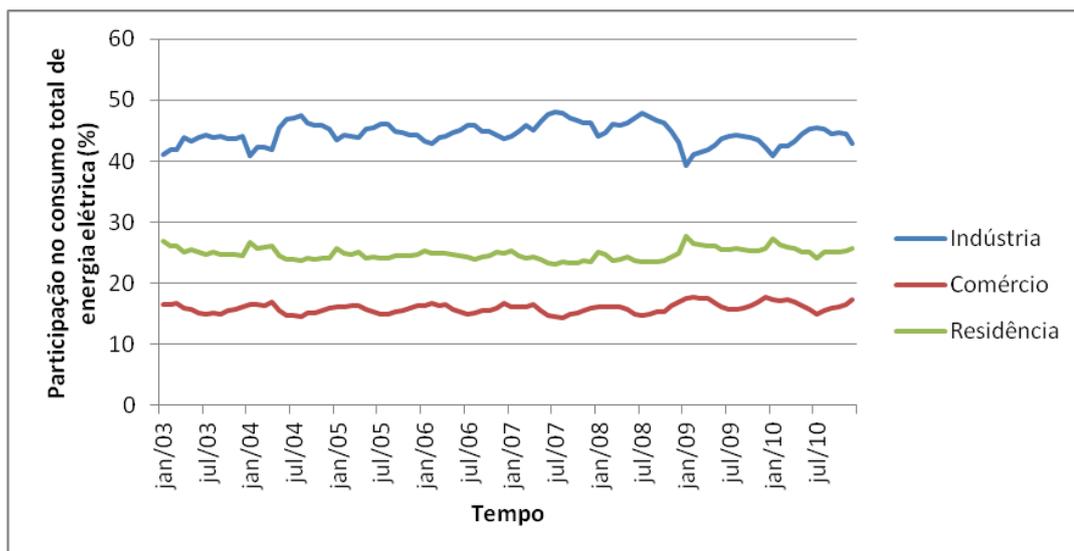
No segundo semestre de 2001, período de maior retração do consumo de energia elétrica, o consumo ficou em patamares próximos aos de 1995 e, apenas no segundo trimestre de 2002, quando o racionamento já havia sido encerrado, o consumo chegou ao patamar de 1999 (BARDELIN, 2004). Assim, tem-se que os efeitos do programa de racionamento ainda permaneceram em períodos posteriores ao seu encerramento.

Desta forma, buscou-se nas seções seguintes deste trabalho, analisar a evolução do consumo de energia elétrica nas diferentes classes, no período de janeiro de 2003 a junho de 2011, visando a identificar o comportamento do consumo após o choque causado pelo racionamento.

4.1.1 Consumo residencial de energia elétrica

No setor Residencial, a eletricidade é uma importante fonte de energia, que vem se destacando como a principal desde 2008, tendo sido responsável pela parcela de 39,4% do consumo total de energia desta classe em 2010 (EPE, 2011e). Duas outras fontes que se destacam neste setor são a lenha e o gás liquefeito de petróleo (GLP), que forneceram 30,7% e 26,6% da energia total utilizada pelas residências, respectivamente, em 2010 (EPE, 2011e). No entanto, apesar da elevada participação da lenha e do GLP na matriz energética do país, esses recursos são utilizados principalmente na cocção e aquecimento de água, não representando importantes fontes substitutas da energia elétrica consumida pelas residências.

A classe Residencial é uma das principais consumidoras da energia elétrica gerada no país, Figura 2, apresentando um consumo médio de 24,9% do total de eletricidade utilizada no período de 2003 a 2010 (ELETROBRÁS, 2011). Embora tenha uma elevada importância no consumo de energia elétrica, a classe Residencial tem uma menor participação no consumo total se comparada à classe Industrial, mas uma demanda maior que a classe Comercial. No período analisado, a participação das diferentes classes não apresentou grandes variações (Figura 2).

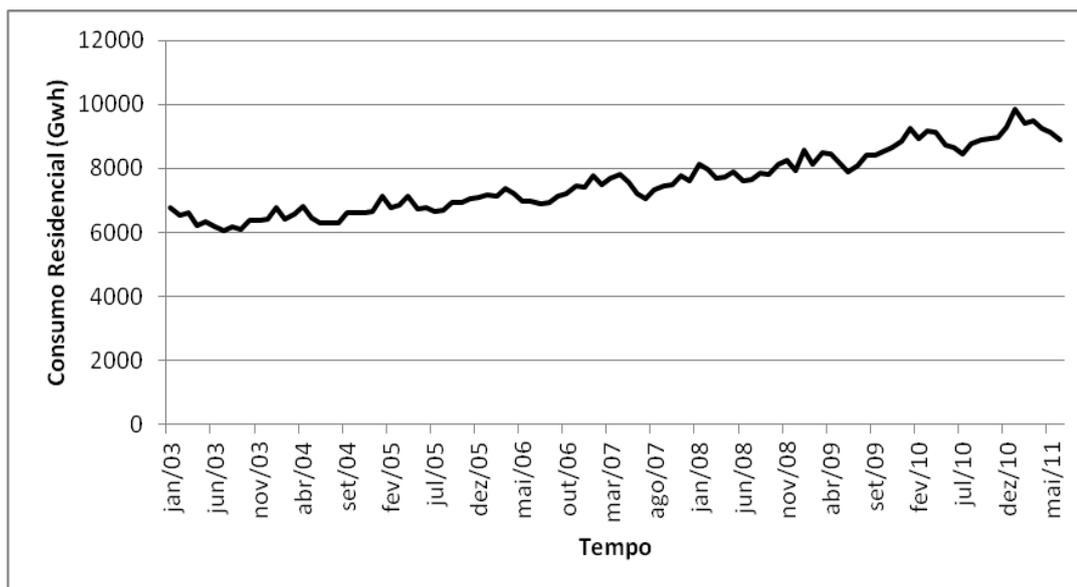


Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da Eletrobrás (2011).

Figura 2 – Evolução da participação das principais classes no consumo total de energia elétrica do Brasil, de 2003 a 2010.

Apesar da participação das diferentes classes no consumo total de energia elétrica não ter se alterado substancialmente nesse período, as previsões da EPE (2008) para o consumo de eletricidade no período de 2008 a 2017 indicavam um crescimento da participação das classes Comercial, em maior proporção, e Residencial no consumo total de energia, enquanto a indústria deveria perder uma parcela de aproximadamente quatro pontos percentuais, como já começa a ser percebido na Figura 2. Essa dinâmica sinaliza a tendência mundial das economias desenvolvidas ou em fase de desenvolvimento, nas quais o setor de serviços passa a dominar a geração de riquezas (EPE, 2008).

Quanto à evolução do consumo residencial de energia, ele vem crescendo a uma taxa média de 2,15% ao ano, passando de 6.786 GWh em janeiro de 2003 para 8.893 GWh em junho de 2011 (ELETROBRAS, 2011). A Figura 3 apresenta a evolução do consumo de energia elétrica pela classe Residencial no Brasil, no período de janeiro de 2003 a junho de 2011.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da Eletrobrás (2011).

Figura 3 – Evolução do consumo nacional de energia elétrica pela classe Residencial, de janeiro de 2003 a junho de 2011.

A análise da Figura 3 permite identificar um padrão de crescimento que parece ter um comportamento semelhante nos diferentes anos. A EPE (2005) destaca que esse comportamento se deve à sazonalidade existente nas séries de consumo comercial e residencial, com picos em março/abril, seguido de queda no consumo e início de recuperação a partir de setembro.

De acordo com a EPE (2011b), o bom desempenho do consumo residencial no país, especialmente nos anos mais recentes, vem sendo favorecido pelo mercado de trabalho aquecido, com aumento da renda e queda do desemprego, e pela oferta permanente de crédito, que funciona como estímulo à aquisição e uso de aparelhos eletroeletrônicos. Além disso, destaca-se a influência dos programas sociais do governo, como o “Luz para Todos”, que ampliou consideravelmente o número de consumidores com atendimento de energia elétrica, e o “Bolsa Família”, que permitiu o acesso ao mercado consumidor de uma parcela da população que, até então, não participava deste mercado (EPE, 2011b).

Esse crescimento do consumo residencial vem sendo observado em todas as regiões do país. No entanto, a região Nordeste vem se destacando com a maior taxa anual de crescimento do consumo de energia elétrica, com um valor aproximado de 2,90% entre janeiro de 2003 e junho de 2011, o que fez com que esta região passasse a ocupar a segunda posição em consumo de energia elétrica do país, superando a região Sul. Segundo a EPE (2010a), esse crescimento pode ser explicado, em grande

parte, pelo aumento significativo da base de consumidores, resultado do Programa Luz Para Todos. Além disso, o consumo médio da região também vem apresentando expressivo crescimento, sugerindo uma mudança de perfil de consumo influenciada por questões como aumento da massa salarial e maior incorporação de eletrodomésticos.

Outra região que vem se destacando no crescimento do consumo de energia elétrica é o Norte, com uma taxa de 2,43% ao ano entre janeiro de 2003 e junho de 2011. Para a EPE (2010c), esse resultado ocorreu devido à forte influência do Programa Luz Para Todos, um importante fator na expansão da base de consumidores residenciais na região. Devem ser ressaltadas também a elevação do consumo médio e a influência da temperatura em alguns períodos, determinantes para a expansão do consumo de energia elétrica na região.

A região Sudeste, por sua vez, destaca-se por apresentar o maior consumo residencial de energia elétrica do país, resultante do fato de o maior contingente populacional do Brasil estar localizado nessa região. No período de análise considerado neste trabalho, a taxa de crescimento do consumo residencial de energia elétrica foi de 2% ao ano, atribuída em grande parte ao aumento do consumo médio em determinados períodos, muitas vezes atribuído à elevação da temperatura em alguns meses do ano, como no primeiro trimestre de 2010, e ao crescimento do número de ligações, o que se deve principalmente ao crescimento vegetativo (EPE, 2010c).

Quanto às regiões Centro-Oeste e Sul, as taxas de crescimento observadas no período analisado foram de 2,21% e 1,78%, respectivamente. O valor superior da região Centro-Oeste deve-se ao fato de esta região ter apresentado um maior número de ligações se comparado à região Sul. No entanto, em ambas as regiões, o aumento do consumo médio também foi determinante no crescimento do consumo residencial total (EPE, 2010a).

Assim como observado nas dinâmicas de crescimento do consumo residencial de energia elétrica do Brasil e das regiões, o consumo de energia está associado ao comportamento de outras variáveis. A Empresa de Pesquisa Energética (2005) destaca que esse consumo está intimamente ligado à posse e ao uso de eletrodomésticos, à sua penetração cada vez maior nas classes menos favorecidas via concessão de crédito para sua aquisição, à renda das famílias, a programas de universalização do atendimento elétrico da população, à eficiência elétrica e à

obsolescência. A Tabela 1 apresenta as taxas geométricas de crescimento¹⁰ de algumas variáveis, incluindo o consumo residencial de energia, com o objetivo de descrever e analisar a forma como essas variáveis se relacionam ao longo do tempo.

Tabela 1 - Taxa geométrica de crescimento da arrecadação total de ICMS do Brasil, do consumo residencial, do número de consumidores residenciais, do consumo médio por residência e da tarifa residencial de energia elétrica (em % ao ano)

	2003-2005	2006-2008	2009-2011
Arrecadação total ICMS	-0,0152 ^{NS}	0,7213 [*]	2,5656 ^{***}
Consumo residencial	1,5243 ^{***}	1,9501 ^{***}	2,3390 ^{***}
Número de residências	1,3612 ^{***}	1,5449 ^{***}	1,7192 ^{***}
Consumo médio por residência	0,1609 ^{NS}	0,3990 ^{NS}	0,6093 [*]
Tarifa residencial	1,1594 ^{***}	-4,5249 ^{***}	-1,5426 ^{***}

Fonte: Dados da pesquisa.

Notas: (***) significativo a 1%; (*) significativo a 10%; (^{NS}) não significativo.

O crescimento do consumo de energia elétrica pode estar associado ao crescimento da renda da população, representada neste trabalho pela arrecadação total de ICMS, quando se compara o comportamento das taxas anuais de crescimento observadas a partir de 2006. A arrecadação de ICMS foi utilizada como *proxy* para a renda pela elevada correlação entre o PIB e a arrecadação de ICMS, além de não existir uma série mensal do PIB para a classe residencial. A associação entre as duas variáveis ocorre porque o aumento do poder aquisitivo da população proporciona a possibilidade da aquisição de aparelhos eletrônicos, além da ampliação do uso dos aparelhos existentes. Essa relação também foi observada no ano de 2009, pois, de acordo com a EPE (2010f), o aumento do consumo de energia pela classe Residencial naquele ano esteve associado, principalmente, ao aumento da renda *per capita*.

Outro fator importante para explicar o crescimento do consumo de energia elétrica foi o aumento no número de residências com acesso à eletricidade, pois as variáveis “consumo residencial” e “número de residências” têm um padrão de comportamento semelhante, já que a taxa de crescimento de ambas aumentou ao longo de todo o período. Além disso, o consumo médio não teve um crescimento

¹⁰ A taxa geométrica de crescimento (TGC) foi estimada a partir da regressão $\ln Y = \alpha + \beta t + \varepsilon_t$, em que a $TGC = [\text{antilog}(\beta) - 1] * 100$.

significativo no período de 2003 a 2008. A EPE (2006) reforça essa afirmação ao alegar que, em 2006, a expansão do consumo residencial brasileiro de energia elétrica esteve mais apoiada na expansão do número de ligações residenciais que, naquele ano, foi de 1,7 milhões de clientes, tendo a média nacional se mantido praticamente no mesmo patamar de 2005. No entanto, a partir de 2009, o consumo médio residencial aumentou a uma taxa de 0,61%, tendo sido um importante determinante do crescimento do consumo residencial de energia elétrica do país, como observado na análise regional.

Com relação à tarifa de energia, não é possível fazer referência sobre a relação entre o seu comportamento e o consumo de eletricidade a partir da Tabela 1, na medida em que os resultados apontam que, no primeiro período, ambas as séries apresentam comportamento crescente, enquanto nos períodos posteriores, o comportamento é diverso, já que, enquanto o consumo apresenta taxa geométrica de crescimento positiva, a tarifa apresenta taxa negativa. No entanto, embora não exista uma relação clara entre as taxas de crescimento do consumo e da tarifa de energia elétrica, pode-se perceber que quando houve uma queda na taxa de crescimento da tarifa, o consumo de energia elétrica apresentou uma taxa superior ao período em que ambas as taxas foram crescentes. Isso pode ser um indício de que, embora a tarifa por si só não consiga determinar o comportamento do consumo de energia elétrica, ela tem alguma influência na dinâmica do seu comportamento, como indicado na literatura sobre o tema¹¹.

4.1.2 Consumo comercial de energia elétrica

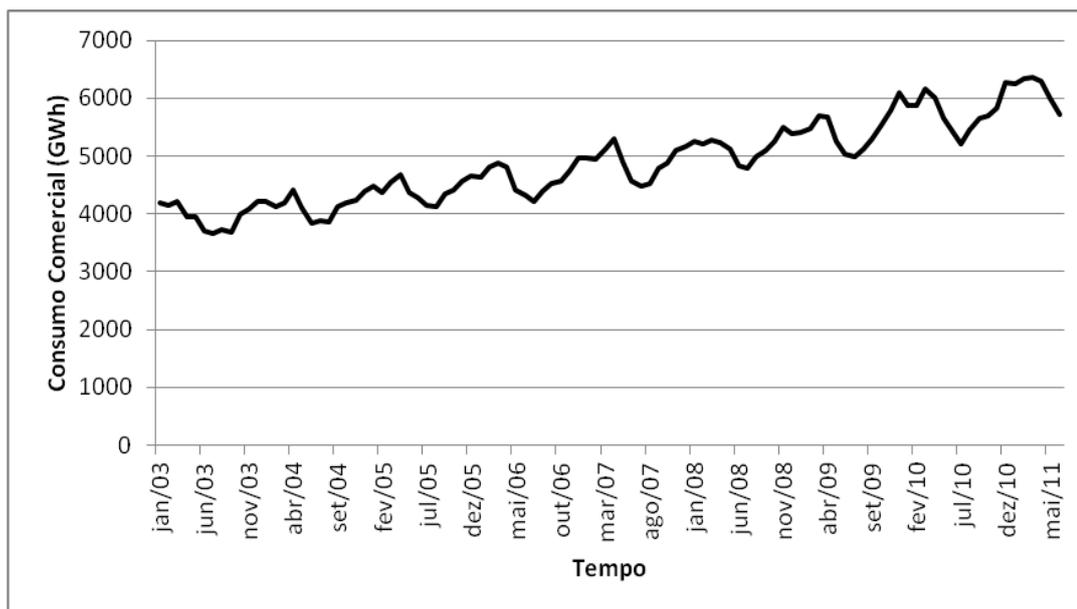
A principal fonte de energia utilizada pela classe Comercial é a eletricidade, que teve uma participação de 87,6% no consumo total de energia do setor, em 2010 (ANEEL, 2011). As demais fontes possuem baixa participação no consumo de energia do comércio, sendo que a segunda principal fonte foi o GLP, com uma participação de aproximadamente 4,3% naquele ano (ANEEL, 2011).

¹¹ Ver Andrade e Lobão (1997), Schmidt e Lima (2004) e Mattos e Lima (2005).

Embora a principal fonte de energia do comércio seja a energia elétrica, essa classe não é a principal consumidora da eletricidade gerada e distribuída no Brasil. A Figura 2 mostrou que a participação média no consumo de energia elétrica da classe Comercial, de 2003 a 2010, foi de aproximadamente 16%, valor inferior à participação das classes Industrial e Residencial. Isso decorre de o setor apresentar um consumo médio de energia bastante inferior ao observado para a indústria e, embora esse valor seja maior que o consumo médio residencial, o número de consumidores residenciais é muito superior ao número de estabelecimentos comerciais.

A classe de consumo Comercial engloba consumidores de uma grande diversidade de ramos de atividades como comércio atacadista, varejista, administração de imóveis, transportes, comunicações e telecomunicações, instituições financeiras, escritórios, hotéis, entre outros. O maior volume de consumidores de energia desta classe se encontra no sudeste do país, enquanto as regiões centro-oeste, norte e nordeste estão apresentando as maiores taxas médias de crescimento.

Ao analisar o comportamento do consumo de energia elétrica dessa classe, entre janeiro de 2003 e junho de 2011, é possível notar uma tendência crescente, com uma taxa média de 2,39% ao ano, superando a taxa de crescimento da classe Residencial. A evolução do consumo de energia da classe Comercial, no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2011, é apresentada na Figura 4.



Fonte: Dados da Eletrobrás (2011).

Figura 4 – Evolução do consumo nacional de energia elétrica pela classe Comercial, de janeiro de 2003 a junho de 2011

De maneira similar à classe Residencial, na classe Comercial é possível identificar determinados padrões de comportamento semelhantes ao longo da série, que apontam a existência de sazonalidade no consumo de energia elétrica ao longo de cada ano. Segundo a EPE (2005), a demanda desta classe obedece a um componente sazonal, relacionado ao clima e aos fluxos turísticos, e a um componente vegetativo, consequência da aglomeração urbana, que realimenta o sistema e também influi no comportamento sazonal.

De acordo com a EPE (2005; 2006), o crescimento do consumo de energia elétrica pela classe Comercial ocorreu devido ao aumento do turismo e incremento das atividades portuárias, além da expansão e modernização do setor de comércio e serviços, como a criação de *shoppings* e hipermercados com alto padrão de atendimento e de prédios de grande porte com sistemas de ar condicionado. O incremento das atividades portuárias deu-se pelo aumento das exportações no período analisado, além do incremento na venda de cruzeiros marítimos, que, de acordo com a Associação Brasileira de Cruzeiros Marítimos (ABREMAR, 2011), apresentou um crescimento de 38% na temporada 2009/2010 em relação à temporada anterior.

Outros fatores que influenciaram a expansão do consumo de energia elétrica foram o crescimento do rendimento real da população, a ampliação das operações de

crédito e a redução das taxas de desemprego, resultando no aumento do consumo das famílias, além das elevadas temperaturas registradas em alguns períodos (EPE, 2010c). Adicionalmente, no ano de 2009, apesar da crise financeira mundial iniciada em 2008, as atividades do comércio e de serviços se mantiveram aquecidas pelo êxito das medidas adotadas pelo governo para enfrentamento da crise (redução seletiva de impostos e da taxa de juros), o que contribuiu para que o consumo comercial de energia elétrica não sofresse uma elevada redução (EPE, 2010b).

Com relação à análise regional do consumo de energia elétrica, entre janeiro de 2003 e junho de 2011, a região Centro-Oeste apresentou a maior taxa de crescimento do consumo, de 2,94% ao ano, seguida pelas regiões Norte (2,73%) e Nordeste (2,67%). Na região Centro-Oeste, a EPE (2011d) atribui o desempenho do consumo comercial de energia elétrica ao incremento da atividade econômica em Goiás, evidenciada pela abertura de *shoppings centers* e hipermercados, além da ampliação do comércio de rua. Além de Goiás, o Distrito Federal também vem se destacando com a instalação de unidades de grandes redes atacadistas e com a inauguração de *shoppings centers* e hipermercados (EPE, 2011d).

As regiões Norte e Nordeste têm o crescimento do consumo comercial de energia elétrica atrelado, principalmente, aos programas sociais do governo e ao aumento da massa salarial, que intensificaram a atividade comercial, e de serviços na região, além da inauguração/ampliação de *shoppings* e abertura de hipermercados e outros estabelecimentos de elevado padrão de consumo, como hotéis e pousadas (EPE, 2010a).

No que tange às regiões Sul e Sudeste, as taxas de crescimento do consumo comercial de energia elétrica foram 2,52% e 2,16%, respectivamente. No Sul, esse crescimento ocorreu em virtude da expansão no ramo de armazenamento e atividades auxiliares dos transportes e do comércio por atacado (EPE, 2010d). A região Sudeste, por sua vez, teve o crescimento associado ao forte desempenho de Minas Gerais e São Paulo, já que ambos os mercados apresentaram crescimentos em diversos ramos desta classe (EPE, 2010g).

Como visto anteriormente, o desempenho do consumo comercial de energia está associado à dinâmica de outras variáveis, como o volume de vendas, o número de estabelecimentos comerciais e a tarifa de energia. A Tabela 2 apresenta as taxas geométricas de crescimento dessas variáveis no período de janeiro de 2003 a junho de 2011.

Tabela 2 - Taxa geométrica de crescimento do volume de vendas no comércio varejista, do consumo comercial de energia elétrica, do número de consumidores, do consumo médio por consumidor e da tarifa comercial de energia elétrica (em % ao ano)

	2003-2005	2006-2008	2009-2011
Volume de vendas no varejo	4,00053 ^{***}	4,9997 ^{***}	4,5094 ^{***}
Consumo comercial	2,0829 ^{***}	2,2255 ^{***}	2,5987 ^{***}
Número de estabelecimentos	0,6912 ^{***}	1,0324 ^{***}	1,1453 ^{***}
Consumo médio por estabelecimento	1,3822 ^{***}	1,1809 ^{**}	1,4371 ^{**}
Tarifa comercial	1,5926 ^{***}	-4,1588 ^{***}	-1,7382 ^{***}

Fonte: Dados da pesquisa.

Notas: (***) significativo a 1%; (**) significativo a 5%.

A Tabela 2 mostra que o volume de vendas no comércio varejista apresentou taxas de crescimento elevadas ao longo de todo o período, sugerindo um crescimento da renda do setor nesse período. Associado ao crescimento da renda, há o desempenho do consumo comercial de energia elétrica, que também apresentou taxas elevadas de crescimento. Esse crescimento do consumo de energia foi determinado pela maior movimentação nos aeroportos, maior ocupação de hotéis, com destaque para o turismo corporativo e de negócios, e maior movimentação nos portos pelo aumento dos fluxos de comércio (EPE, 2007).

O aumento do consumo de energia elétrica desta classe também pode estar relacionado ao crescimento do número de estabelecimentos comerciais no período. A EPE (2011b) destaca o contínuo processo de instalação de estabelecimentos comerciais, com elevados padrões de consumo, como redes atacadistas e hipermercados, além de a intensificação do turismo interno ter alavancado o sistema de alojamento, com a instalação de hotéis e pousadas. Esse último fator impactou no aumento do consumo médio no período analisado, como pode ser visto na Tabela 2.

No que tange à tarifa comercial, não existe uma relação clara de sua influência na dinâmica do consumo de energia elétrica do comércio. Porém, da mesma forma como foi analisado para a classe Residencial, no caso da classe Comercial, quando as tarifas têm taxas de crescimento negativas, o consumo

apresenta taxas de crescimento positivas, indicando uma possível relação entre essas variáveis, que pode ser encontrada na literatura sobre o tema¹².

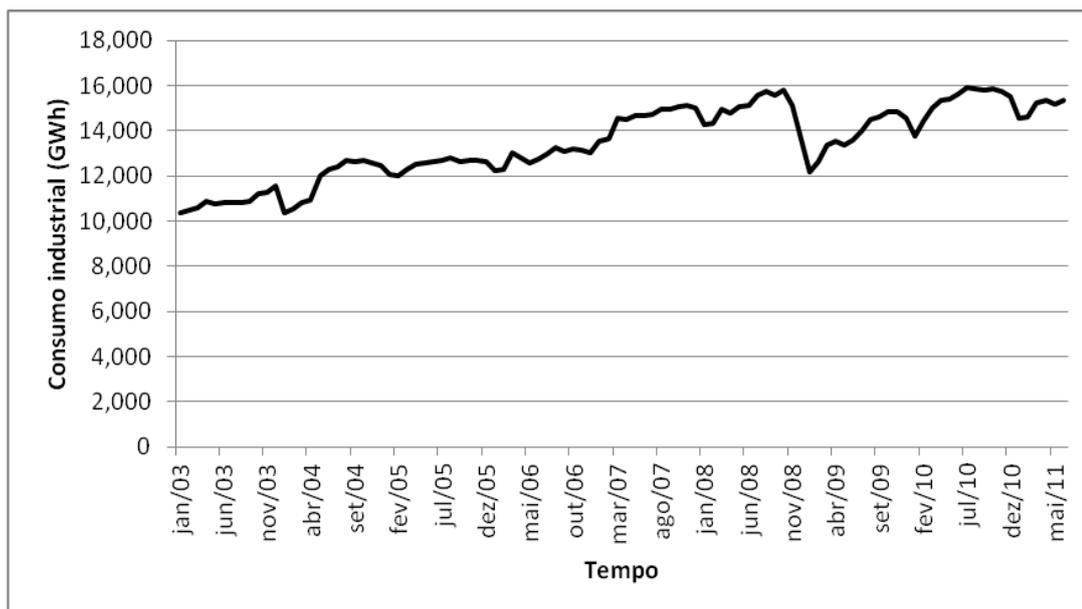
4.1.3 Consumo industrial de energia elétrica

A eletricidade tem sido uma das principais fontes de energia do setor Industrial brasileiro ao longo do tempo. Segundo o Balanço Energético Nacional da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2010f), no período de 2000 a 2008, a eletricidade se destacou como a principal fonte de energia da indústria, com uma participação média de 20,37% da energia total consumida. Porém, nos dois anos subsequentes, a principal fonte de energia foi o bagaço de cana-de-açúcar, que obteve uma participação média de 20,92% no consumo total de energia do setor, sendo utilizado principalmente pela indústria de alimentos e bebidas (EPE, 2011c). No entanto, é importante ressaltar que, embora a eletricidade tenha perdido participação no consumo total de energia da indústria, é possível observar que, em termos absolutos, o seu consumo aumentou no mesmo período, evidenciando a recuperação consistente do setor após a crise econômica mundial.

Entre os principais consumidores de energia elétrica, o setor Industrial se destaca há um longo período, como apresentado por Gomes (2010). Essa situação se mantém em anos recentes, conforme a Figura 2, que mostra ter sido a participação média da indústria no consumo total de eletricidade de 44,5%, no período de 2003 a 2010.

Embora a participação da indústria no consumo total tenha se mantido relativamente estável no período analisado, o consumo industrial de eletricidade vem aumentando nesse mesmo período a uma taxa média de 1,94% ao ano. A evolução desse consumo para o Brasil é apresentada na Figura 5.

¹² Ver Schmidt e Lima (2004) e Mattos e Lima (2006).



Fonte: Dados da Eletrobrás (2011).

Figura 5 – Evolução do consumo nacional de energia elétrica pela classe Industrial, de janeiro de 2003 a junho de 2011.

A evolução do consumo industrial de eletricidade tem se refletido no desempenho da produção física industrial no país. No entanto, a análise da Figura 5 permite destacar um momento que alterou a trajetória de crescimento desse consumo. Essa alteração na dinâmica de crescimento do consumo de energia elétrica ocorreu em dezembro de 2008, resultado da crise econômica mundial que se iniciou naquele ano, causando redução da produção física em muitos setores produtivos, com consequente redução do consumo de energia elétrica. O setor Industrial foi o mais afetado pela crise mundial, e os efeitos da crise tiveram intensidades diferentes em cada região do país.

A região Sudeste é aquela que concentra o maior consumo industrial de energia elétrica, superior a 50% do consumo nacional, tendo sido essa região a mais afetada pelos efeitos da crise. Segundo a EPE (2010a), o Sudeste apresenta o mais variado e menos concentrado perfil industrial entre as regiões do país, o que significa dizer que a queda da produção industrial foi generalizada, seja por uma necessidade de ajuste de estoques das empresas, seja como consequência direta da diminuição do comércio em nível mundial.

Por ser a região mais industrializada, o Sudeste apresentou a maior taxa de crescimento no período de janeiro de 2003 a junho de 2011, com um valor de 2,06% ao ano. No que se refere ao período posterior à crise, a região também foi a que

apresentou maior crescimento do consumo industrial em nível nacional, especialmente em função da retomada dos setores da cadeia metalúrgica e extrativa mineral (EPE, 2010d). Destacam-se, nesse sentido, os estados do Rio de Janeiro, com a implantação e operação de uma nova planta siderúrgica, e o Espírito Santo, cuja expansão mais elevada do crescimento do consumo de eletricidade ocorreu em função da recuperação das atividades das indústrias do ramo extrativo-mineral (EPE, 2011b).

Outra região fortemente impactada pela crise de 2008 foi a Nordeste, em especial pela retração dos setores de siderurgia e ferro ligas. No período analisado neste trabalho, o crescimento do consumo de energia foi de apenas 1,29% ao ano, resultado dos impactos da crise nessa região. A recuperação do crescimento do consumo de energia elétrica desta região foi conduzida pelos estados de Pernambuco, com a instalação de novas plantas no segmento de alimentos no fim de 2009 e ampliação do nível de atividade no estaleiro Atlântico Sul, e da Bahia, com a intensificação da atividade de metalurgia básica, ampliação do refino de petróleo e produção de álcool e também do setor de alimentos e bebidas (EPE, 2010c). Além desses estados, o Maranhão também contribuiu para o aumento do consumo de energia elétrica pela presença da indústria de alumínio Alumar (EPE, 2011b).

Além do impacto da crise na baixa taxa de crescimento do consumo de energia elétrica do Nordeste, a região também sofreu uma queda no consumo industrial de eletricidade devido a uma interrupção temporária do fornecimento de energia que, embora de curto tempo, teve efeito prolongado no tocante à retomada da produção industrial (EPE, 2011c). Adicionalmente, o segundo trimestre de 2011 também foi marcado por paradas técnicas não programadas em indústrias do ramo químico, decretação de férias coletivas no setor têxtil para ajuste de estoque, além do encerramento de atividade da indústria Novelis (alumínio) na Bahia, que levaram a uma redução do consumo de energia naquele período (EPE, 2011d).

A região Norte, por sua vez, não sofreu queda no consumo tão acentuada quanto as demais regiões, tendo apresentado uma taxa de crescimento do consumo industrial de eletricidade de 1,64% ao ano, entre janeiro de 2003 e junho de 2011. O crescimento do consumo de energia no pós-crise ocorreu pelos resultados das indústrias eletrointensivas e do polo industrial de Manaus, a entrada da fábrica de cimento Votorantim no estado do Tocantins, a construção das usinas hidrelétricas de

Santo Antônio e Jirau em Rondônia, além do crescimento das indústrias de alumínio no Pará (EPE, 2010c; 2011a).

As regiões Sul e Centro-Oeste registraram um crescimento do consumo industrial de energia elétrica de aproximadamente 1,89% no período analisado. Na primeira região, embora tivesse havido significativa participação de setores que não foram fortemente afetados pela crise, houve elevada participação de alguns setores especialmente afetados, como a fabricação de artigos de borracha e plástico, de celulose e papel, a metalurgia básica e fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos (EPE, 2010a). Nesta região, a recuperação do consumo foi ocasionada pelo restabelecimento da produção no polo petroquímico de Triunfo, no Rio Grande do Sul, além da recuperação dos setores de máquinas e equipamentos e de veículos automotores (EPE, 2010c).

A região Centro-Oeste foi a menos impactada pelos efeitos da crise financeira internacional, pela predominância do ramo de fabricação de produtos alimentícios e bebidas, setor geralmente voltado para o mercado interno (EPE, 2010a). Ainda assim, o crescimento do consumo de energia elétrica da indústria no período pós-crise foi superior no Distrito Federal e Goiás, em virtude da expansão dos setores de produtos químicos e de alimentos e bebidas, além da instalação de uma mineradora no estado de Goiás (EPE, 2010c; 2011c).

Ao longo de todo o período analisado, o consumo de energia elétrica da indústria também esteve relacionado à dinâmica de outras variáveis. A Tabela 3 apresenta as taxas geométricas de crescimento dessas variáveis, incluindo o consumo industrial e, a partir dessa tabela, serão descritas e analisadas a forma como essas variáveis se relacionaram ao longo do período de janeiro de 2003 a junho de 2011.

Tabela 3 - Taxa geométrica de crescimento do número de horas pagas na indústria, do consumo industrial, do número de consumidores, do consumo médio por consumidor e da tarifa industrial de energia elétrica (em % ao ano)

	2003-2005	2006-2008	2009-2011
Número de horas pagas na indústria	0,7948***	0,9599***	1,4151***
Consumo industrial	3,4442***	3,3692***	3,2824***
Número de estabelecimentos	-0,8979***	0,6544***	1,1306***
Consumo médio por estabelecimento	4,3814***	2,6971***	2,1277***
Tarifa industrial	5,5398***	-2,8708***	-1,2410***

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota: (***) significativo a 1%.

Como abordado anteriormente, a evolução do consumo industrial de eletricidade reflete o desempenho da produção física industrial do país. Essa relação pode ser analisada a partir da Tabela 3, na qual se percebe uma relação positiva de crescimento para as variáveis “consumo industrial” e “número de horas pagas na indústria”, tendo a última sido utilizada como uma *proxy* para o nível de atividade industrial.

Da mesma forma que para as classes anteriores, os resultados apresentados na Tabela 3 não revelam uma relação clara entre a tarifa e o consumo de energia da indústria, pois se esperava que a taxa de crescimento do consumo fosse maior nos períodos em que a tarifa apresentou taxas de crescimento negativas. No entanto, esse resultado pode indicar que o consumo de energia do setor não sofreu uma grande influência do preço da energia, visto existirem variáveis que têm um impacto mais significativo para determinar a quantidade de energia que será consumida.

A análise da relação entre as taxas de crescimento do “consumo industrial”, do “número de estabelecimentos” e do “consumo médio por estabelecimento” indica que o crescimento do consumo no período de 2003 a 2005 ocorreu principalmente devido ao aumento do consumo médio, que apresentou uma taxa de crescimento elevada, enquanto o número de estabelecimentos industriais se reduziu no período. Nos períodos posteriores, entretanto, o aumento do consumo foi resultado do aumento de ambas as variáveis, pois os resultados indicam que tanto o consumo médio por indústria quanto o número de indústrias apresentaram taxas de crescimento positivas e significativas.

4.2 Demanda de energia elétrica das principais classes consumidoras

Conforme abordado na seção anterior, a dinâmica do comportamento da demanda de energia elétrica está relacionada ao desempenho de outras variáveis, como renda e tarifa de energia. Dessa forma, busca-se nessa seção apresentar e analisar as estimativas da demanda de energia elétrica das classes Residencial, Comercial e Industrial, assim como a reação do consumo de energia diante de variações na renda e tarifa. Esses resultados estão apresentados nas subseções 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3.

4.2.1 Demanda de energia elétrica da Classe Residencial

O primeiro procedimento para estimar a função de demanda de energia elétrica consiste na realização dos testes de raiz unitária de Dickey_Fuller Aumentado (ADF) e Phillips-Perron (PP). Os resultados destes testes estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Testes de raiz unitária ADF e PP, realizados para as séries $Cons_res_dess_t$, $Renda_res_dess_t$ e $Tarifa_res_t$, no período de janeiro de 2003 a junho de 2011

Teste	Série	Equação do teste	Número de defasagens	Defasagem de truncamento	Estatística do teste
ADF	$Cons_res_dess_t$	Constante e tendência	0	-	-7,177665***
PP	$Cons_res_dess_t$	Constante e tendência	-	3	-7,111798***
ADF	$Renda_res_dess_t$	Constante e tendência	0	-	-4,832203***
PP	$Renda_res_dess_t$	Constante e tendência	-	3	-4,699919***
ADF	$Tarifa_res_t$	Constante e tendência	0	-	-2,438936 ^{NS}
ADF	$\Delta Tarifa_res_t$	Sem constante e tendência	1	-	-5,639264***
PP	$Tarifa_res_t$	Constante e tendência	-	6	-2,458629 ^{NS}
PP	$\Delta Tarifa_res_t$	Sem constante e tendência	-	6	-7,905108***

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas:

- 1) No teste ADF, foi utilizado o número de defasagens que minimizou o Critério de Informação de Schwarz e, no PP, foi adotado o Critério de Newey-West.
- 2) (***) significativo a 1%; (**) significativo a 5%; (*) significativo a 10%; (ns) não significativo.
- 3) Para a realização destes testes, utilizou-se o procedimento proposto por Enders (1995), que recomenda que se inicie o teste da forma mais geral, com a variável em nível, com constante e tendência, eliminando sucessivamente os termos determinísticos, sempre que eles não forem significativos, diferenciando as séries, quando necessário.

Os resultados apresentados na Tabela 4 indicam que, em nível de significância de 1%, rejeita-se a hipótese de que as séries dessazonalizadas do Consumo Residencial ($Cons_res_dess_t$) e da Renda Residencial ($Renda_res_t$) tenham pelo menos uma raiz unitária, indicando que ambas as séries são estacionárias em nível. Tais resultados foram evidenciados tanto nos teste de Dickey-Fuller Aumentado quanto de Phillips-Perron. Para a série de Tarifa Residencial ($Tarifa_res$), no entanto, não foi possível rejeitar a hipótese de raiz unitária para a variável em nível, pois o resultado do teste não foi significativo. O teste realizado para a série em primeira diferença rejeita a hipótese de raiz unitária, indicando que a $Tarifa_res$ é uma variável integrada de primeira ordem. Dessa forma, foram consideradas as variáveis consumo e renda em nível e tarifa em primeira diferença na estimação do modelo.

Com o objetivo de determinar o número de defasagens (p) adotado no modelo, optou-se pela utilização do número de defasagens que minimizasse os Critérios de Informação de Akaike, Schwarz e Hannan-Quinn. Para isso, considerou-se a inclusão máxima de seis defasagens para cada variável no modelo a ser estimado. Os resultados desses critérios são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Definição do número de defasagens do modelo a partir dos Critérios de Informação de Akaike e Schwarz

Defasagens	Akaike	Schwarz	Hannan-Quinn
0	-20.2140	-20.0527	-20.1488
1	-20.6407*	-20.2375*	-20.4778*
2	-20.5986	-19.9534	-20.3379
3	-20.5636	-19.6765	-20.2051
4	-20.4596	-19.3305	-20.0033
5	-20.4269	-19.0558	-19.8729
6	-20.3533	-18.7403	-19.7015

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: (*) indica o número de defasagens escolhido por cada critério de informação.

Os resultados apresentados na Tabela 5 indicam a inclusão de uma defasagem para cada variável no modelo VAR. Como a partir da inclusão desta única defasagem não foi detectado o problema de autocorrelação serial, o modelo VAR estimado foi o VAR (1).

Após a definição da ordem do VAR, buscou-se verificar se a inclusão de termos determinísticos, como constante e tendência, se fazia necessária. Este diagnóstico foi realizado a partir da análise gráfica do comportamento das variáveis que compõem o modelo, além do teste de significância estatística dos termos determinísticos. Após este procedimento, verificou-se que o modelo deveria conter tanto a constante como a tendência.

Definidas as especificações do modelo, estimou-se o VAR (1). Uma vez que o objetivo deste trabalho é definir as relações entre a demanda de energia elétrica e seus principais determinantes, optou-se por apresentar apenas a equação referente à variável quantidade consumida ($Cons_res_dess_t$). As variáveis incluídas no modelo foram o Consumo Residencial ($Cons_res_dess_t$) e a Renda Residencial ($Renda_res_dess_t$) em nível, e a Tarifa Residencial em primeira diferença ($\Delta Tarifa_res_t$), atendendo aos resultados dos testes de raiz unitária apresentados anteriormente. As estimativas do modelo estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Estimativas do modelo VAR referentes à variável $Cons_res_dess_t$

Variável explicativa	Coefficiente	Desvio padrão	
Cons_res_dess(-1)	0,271827 ^{***}	0,09722	
Renda_res_dess(-1)	0,027440 ^{NS}	0,05205	
Δ Tarifa_res(-1)	0,203076 ^{NS}	0,13806	
Constante	-0,066115 ^{***}	0,00891	
Tendência	0,001313 ^{***}	0,00017	
Testes e qualidade do ajuste			
$R^2 = 0,9807$	R^2 ajustado = 0,9799	Estatística F = 1208,33	
	Defasagem	Estatística do teste	P-valor
Autocorrelação (LM-teste)	1 ^a	9,529331	0,3899
	2 ^a	16,61054	0,0552
	3 ^a	7,409946	0,5945

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas: (***) significativo a 1%; (^{NS}) não significativo.

De acordo com a Tabela 6, dos parâmetros estimados, apenas dois não foram significativos, enquanto os demais foram significativos a 1%. A tendência foi estatisticamente significativa e apresentou sinal positivo, indicando que parte do crescimento do consumo de energia ocorreu devido ao crescimento de outras variáveis, como número de consumidores residenciais, por exemplo.

Além disso, o valor da estatística F é altamente significativo, indicando que, em conjunto, as variáveis são significativas para explicar o comportamento da demanda de energia elétrica. Tem-se ainda que, pelo valor encontrado para o coeficiente de determinação, 98,07% das variações ocorridas na quantidade demandada de energia elétrica são explicadas pelo modelo ajustado. O teste do Multiplicador de Lagrange permite afirmar que, ao nível de 1% de significância estatística, não há autocorrelação no modelo estimado.

A partir do modelo VAR, estimou-se a matriz de relações contemporâneas do modelo VAR estrutural. Conforme descrito anteriormente, foram apresentados apenas os resultados da influência das variáveis $Renda_res_dess_t$ e Δ Tarifa_res_t sobre o $Cons_res_dess_t$, que atendem aos objetivos deste estudo. Estes resultados representam as elasticidades-renda e preço da demanda, já que as variáveis foram utilizadas na forma de logaritmo e estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Estimativa das relações contemporâneas do modelo SVAR para a demanda de energia elétrica da classe Residencial

Influência		Coeficiente	Desvio padrão
Do	Sobre o		
Renda_res_dess _t	Cons_res_dess _t	0,123938*	0,063695
ΔTarifa_res	Cons_res_dess _t	0,482964 ^{NS}	0,727645

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas: Os sinais já estão analisados da forma contrária à apresentada pela estimação.

(*) significativo a 10%; (^{NS}) não significativo.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 7, tem-se que o coeficiente da variável Renda_res_dess_t foi estatisticamente significativo ao nível de 10% e apresentou sinal de acordo com o esperado, enquanto o coeficiente da variável ΔTarifa_res não apresentou sinal esperado, mas também não foi estatisticamente significativo. Isto significa que há uma relação contemporânea apenas entre a renda e o consumo de energia elétrica, enquanto a variação da tarifa pode influenciar o consumo apenas em períodos posteriores.

O resultado do coeficiente estimado para a relação contemporânea entre renda e consumo de energia elétrica representa a elasticidade-renda e indica que, mantidas constantes as demais variáveis, um aumento de 1% na renda do consumidor é acompanhado por um aumento de 0,12% na demanda de energia elétrica da classe Residencial. Esse valor é inferior aos resultados encontrados por Andrade e Lobão (1997) e Schmidt e Lima (2004), de 0,2132 e 0,539, respectivamente. Porém, é importante ressaltar que esses autores utilizaram um período diferente do adotado neste trabalho, empregando dados anuais para estimar a demanda de energia elétrica, além de terem adotado um método diferente do empregado neste trabalho, pois empregaram o modelo VEC.

Uma possível explicação para a elasticidade-renda inferior aos valores encontrados na literatura, segundo a EPE (2012), é consequência da queda da intensidade elétrica da economia que ocorreu depois do racionamento, sinalizando um aumento da eficiência no uso da eletricidade. Isto indica que, após o racionamento de energia de 2001/2002, houve um ajuste no mercado, no qual a renda possibilitou a renovação de uma parcela do estoque de equipamentos eletrodomésticos que foi sucateada, sendo substituída por equipamentos mais eficientes. A EPE (2010e) reforça tal argumento ao afirmar que o ganho de eficiência médio dos equipamentos eletrodomésticos, responsáveis por cerca de 85% do

consumo de energia elétrica residencial, foi de 7,4%, podendo esse valor representar uma economia de energia elétrica equivalente à geração de uma usina do porte de Itumbiara (2.124MW), a sexta maior usina hidrelétrica brasileira em operação.

É importante ressaltar, no entanto, que aumentos na renda dos consumidores residenciais ainda são responsáveis por acréscimos no consumo de energia elétrica, embora também contribuam para a redução de uma parcela do consumo pela substituição de equipamentos eletrodomésticos por equipamentos mais eficientes. Isso se justifica pelo fato de incrementos na renda também permitirem ampliação do estoque e uso de eletrodomésticos, como indicado pela Eletrobrás (2007) numa pesquisa que aponta maior intenção de compra para os aparelhos geladeira, televisor, computador, máquina de lavar, DVD e micro-ondas, tendo, no caso dos dois primeiros aparelhos citados, os consumidores demonstrado intenção de acrescentar unidades do equipamento ao domicílio.

Com relação à elasticidade-preço da demanda de energia elétrica, as pesquisas existentes na literatura, em geral, indicam demanda inelástica com relação à tarifa. No entanto, os resultados estimados neste trabalho não foram estatisticamente significativos, indicando que não é possível estabelecer uma relação entre as variáveis consumo e variação da tarifa.

A elasticidade-preço estimada neste trabalho representa a relação contemporânea entre demanda e tarifa, sugerindo que o consumidor residencial não atribui grande importância ao valor da variação da tarifa de um determinado período para decidir sobre a quantidade de energia elétrica que ele irá consumir nesse mesmo período. Além disso, o consumidor não tem conhecimento acerca do valor da tarifa no mesmo período em que ele consome a energia, pois, como afirma Gomes (2010), o valor da tarifa média disponibilizada pela Aneel é calculado pela divisão simples da receita obtida com a venda de energia elétrica para a classe Residencial pela quantidade consumida de energia, em KWh, da respectiva classe de consumo, para cada uma das distribuidoras. Desta forma, o valor dessa tarifa não apresenta influência contemporânea na determinação do consumo de energia.

Apesar de o resultado da elasticidade-preço não ter sido estatisticamente significativo, torna-se relevante ressaltar que seu valor não invalida os demais resultados apresentados na literatura, visto que, neste trabalho, adotou-se um período diferente dos demais, além de um método que também difere dos métodos empregados por outros autores.

Analisando-se a decomposição da variância do erro de previsão do consumo de energia elétrica, verifica-se que grande parte das variações nessa variável é explicada pela própria variável. Os resultados da decomposição da variância do erro de previsão do consumo residencial de energia elétrica estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Decomposição da variância do erro de previsão do consumo residencial de energia elétrica – Cons_res_dess

Período	Desvio Padrão	Decomposição da variância devido a choque em (%)		
		Cons_res_dess	Renda_res_dess	D(Tarifa_res)
1	0.007492	85.00213	3.447616	11.55025
2	0.007888	80.77841	3.808785	15.41281
3	0.007936	80.20132	3.805675	15.99301
4	0.007941	80.12995	3.800104	16.06994
5	0.007942	80.11941	3.801040	16.07955
6	0.007942	80.11692	3.802495	16.08058
7	0.007942	80.11606	3.803314	16.08062
8	0.007942	80.11574	3.803678	16.08059
9	0.007942	80.11561	3.803824	16.08056
10	0.007942	80.11556	3.803880	16.08056
11	0.007942	80.11555	3.803901	16.08055
12	0.007942	80.11554	3.803909	16.08055

Fonte: Resultados da pesquisa.

A análise da Tabela 8 permite identificar que a principal fonte de variação no consumo de eletricidade da classe Residencial é a ocorrência de choques na própria variável, sendo que a variância do erro de previsão do consumo passa de 85% no primeiro período para 80,11% a partir do quinto período. A variação da tarifa de energia elétrica representa a segunda fonte de variação no consumo de energia, que aumenta de 11,55% no primeiro período, para 16,08% a partir do quinto período. A contribuição de um choque na renda para a explicação da variância do erro de previsão do consumo de energia elétrica, por sua vez, é reduzida a um valor de 3%, permanecendo esta contribuição relativamente estável ao longo de todo o horizonte de previsão.

A partir desses resultados, é possível verificar que o consumo é pouco sensível em relação à renda, pela reduzida contribuição que um choque nesta variável tem sobre o consumo residencial de energia. Com relação aos resultados obtidos para a tarifa, embora a elasticidade-preço da demanda residencial de energia elétrica não

seja significativa, indicando que uma variação na tarifa não tem efeito sobre a variação do consumo contemporaneamente, um choque na tarifa de energia terá efeitos sobre a variância do consumo ao longo do tempo, sendo esses efeitos superiores àqueles ocasionados por um choque na renda do consumidor, sugerindo uma relação mais forte entre a variação do consumo e a tarifa do que entre a variação do consumo e a renda com o passar do tempo.

Dessa forma, uma política de aumentos na tarifa de energia poderá contribuir para a redução do consumo residencial de energia elétrica, embora esses efeitos não ocorram no mesmo período da aplicação desta política, já que a elasticidade-preço não foi significativa. A estratégia de aumento na tarifa de energia tem efeitos superiores sobre o consumo a partir do segundo mês, como pode ser observado na Tabela 8, indicando que o resultado da política será mais significativo a partir desse período.

Para complementar os resultados anteriores, foram estimadas as funções de impulso-resposta de cada uma das variáveis sobre o consumo, de modo a determinar a direção das respostas dinâmicas do consumo diante de choques na própria variável e nas demais variáveis (renda e variação da tarifa). A Figura 6 apresenta esses resultados, sendo observadas respostas no comportamento do consumo a choques positivos de 1% nas variáveis do modelo estimado.

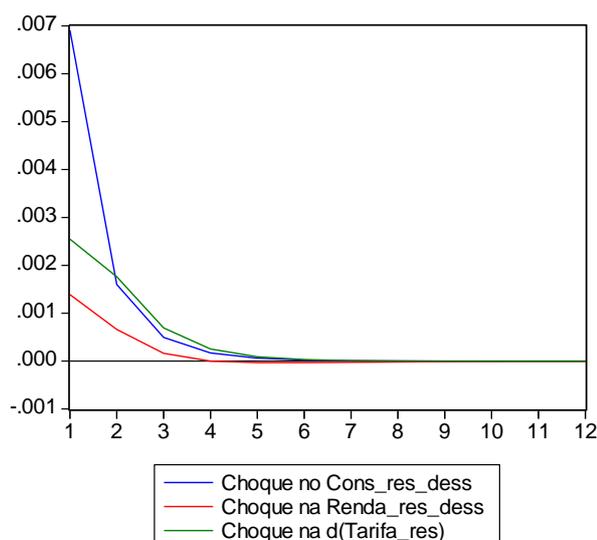


Figura 6 – Função de impulso-resposta do consumo residencial de energia elétrica a um impulso no próprio consumo, na renda e na variação da tarifa.
Fonte: Resultados da pesquisa.

Ao analisar o efeito que um choque de 1% no consumo de energia tem sobre ele próprio, pode-se notar que, no primeiro período, ele provoca um aumento de aproximadamente 0,007% no consumo, reduzindo-se de maneira gradual ao longo do tempo até que seus efeitos sejam anulados após seis meses. De maneira semelhante, um choque na renda tem um impacto positivo sobre o consumo, fazendo com que ele tenha um aumento de 0,0014% no primeiro período, reduzindo-se de maneira gradual até se dissipar após o quarto período.

O comportamento do consumo diante de um choque na variação da tarifa, entretanto, também foi análogo ao provocado por um choque nas demais variáveis, contradizendo a dinâmica esperada. Esperava-se que um choque positivo de 1% na variação da tarifa fizesse com que o consumo fosse reduzido, mas ocorreu foi um aumento deste choque, como pode ser observado na Figura 6. Essa dinâmica ocorreu pelo fato de os coeficientes referentes à variação da tarifa no modelo VAR, apresentado na Tabela 6, e SVAR, apresentado na Tabela 7, não terem sido estatisticamente significativos, comprometendo a função impulso-resposta referente a essa variável. Além disso, a adoção de séries mensais para estimar os resultados e a forma como a tarifa de energia elétrica é calculada podem ter comprometido a significância dos resultados. Porém, a utilização de tal periodicidade foi necessária devido ao fato de a ocorrência do racionamento ter sido recente, o que restringe o número de observações anuais para as variáveis.

4.2.2 Demanda de energia elétrica da Classe Comercial

Seguindo o mesmo procedimento adotado na classe Residencial, foram aplicados os Testes de Raiz Unitária de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e Phillips-Perron (PP) para testar a estacionariedade das séries de variáveis da classe Comercial, cujos resultados estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Testes de raiz unitária ADF e PP, realizados para as séries $Cons_com_dess_t$, $Renda_com_dess_t$ e $Tarifa_com_t$, de janeiro de 2003 a junho de 2011

Teste	Série	Equação do teste	Número de defasagens	Defasagem de truncamento	Estatística do teste
ADF	$Cons_com_dess_t$	Constante e tendência	0	-	- 8,234754***
PP	$Cons_com_dess_t$	Constante e tendência	-	13	- 8,689169***
ADF	$Renda_com_dess_t$	Constante e tendência	11	-	-2,393222 ^{NS}
ADF	$\Delta Renda_com_dess_t$	Apenas constante	10	-	-3,491403**
PP	$Renda_com_dess_t$	Constante e tendência	-	4	- 6,742923***
ADF	$Tarifa_com_t$	Constante e tendência	0	-	-2,549159 ^{NS}
ADF	$\Delta Tarifa_com_t$	Sem constante e tendência	0	-	- 10,25095***
PP	$Tarifa_com_t$	Constante e tendência	-	5	-2,564009 ^{NS}
PP	$\Delta Tarifa_com_t$	Sem constante e tendência	-	5	- 10,30540***

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas:

1) No teste ADF, foi utilizado o número de defasagens que minimizou o Critério de Informação de Schwarz e, no PP, foi adotado o Critério de Newey-West.

2) (***) significativo a 1%; (**) significativo a 5%; (*) significativo a 10%; (^{NS}) não significativo.

Os resultados da Tabela 9 mostram que a série dessazonalizada do Consumo Comercial ($Cons_com_dess_t$) é estacionária em nível em ambos os testes adotados, enquanto a série dessazonalizada da Renda Comercial ($Renda_com_dess_t$) apresentou uma raiz unitária pelo teste ADF e foi estacionária em nível pelo teste PP. Como o modelo VAR pressupõe que as variáveis sejam estacionárias, ao estimar a demanda, será adotada a variável em nível, seguindo o resultado do teste de Phillips-Perron. No caso da Tarifa Comercial ($Tarifa_com_t$), em ambos os testes não foi possível rejeitar a hipótese de que a série em nível possuía uma raiz unitária, sendo estacionária a primeira diferença da série em questão.

Para determinar o número de defasagens das variáveis incluídas no modelo VAR, utilizou-se um número de defasagens que minimizasse os Critérios de Informação de Akaike, Schwartz e Hannan-Quinn, da mesma forma que foi realizado

para a classe Residencial. Os resultados para cada um dos critérios estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Definição do número de defasagens do modelo a partir dos Critérios de Informação de Akaike e Schwarz

Defasagens	Akaike	Schwarz	Hannan-Quinn
0	-20.2325	-20.0712*	-20.1673
1	-20.4685*	-20.0653	-20.3056*
2	-20.3263	-19.6812	-20.0656
3	-20.2786	-19.3915	-19.9201
4	-20.3484	-19.2193	-19.8922
5	-20.3012	-18.9301	-19.7472
6	-20.3856	-18.7726	-19.7338

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: (*) indica o número de defasagens escolhido por cada critério de informação.

Pela análise da Tabela 10, com base no Critério de Informação de Schwarz, o modelo VAR não deve ter nenhuma defasagem, enquanto os demais Critérios de Informação indicaram que o modelo VAR deve conter uma defasagem. Portanto, optou-se por incluir uma defasagem no modelo, estimando um VAR (1).

De maneira semelhante à classe Residencial, para a classe Comercial também foi verificada necessidade da inclusão de termos determinísticos pelo teste de significância estatística desses termos e pela análise gráfica que levaram à inclusão da constante e da tendência. Os resultados do modelo VAR estimado para a classe Comercial estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Estimativas do modelo VAR referentes à variável $Cons_com_dess_t$

Variável explicativa	Coefficiente	Desvio padrão	
Cons_com_dess(-1)	0,168335*	0,10115	
Renda_com_dess(-1)	0,015853 ^{NS}	0,08336	
Δ Tarifa_com(-1)	-0,145606 ^{NS}	0,08895	
Constante	-0,080813***	0,01329	
Tendência	0,001598***	0,00026	
Testes e qualidade do ajuste			
$R^2 = 0,9826$	R^2 ajustado = 0,9819	Estatística F = 1341,34	
	Defasagem	Estatística do teste	P-valor
Autocorrelação (LM-teste)	1 ^a	11,55711	0,2394
	2 ^a	3,584255	0,9366
	3 ^a	10,12808	0,3402

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas: (***) significativo a 1%; (*) significativo a 10%; (^{NS}) não significativo.

A análise da Tabela 11 permite identificar que, embora as variáveis $Renda_com_dess(-1)$ e Δ Tarifa_com(-1) não tenham sido individualmente significativas, a estatística F mostra que, em conjunto, todas as variáveis são importantes para explicar as variações no consumo de energia elétrica da classe Comercial. O coeficiente de determinação do modelo também indica que 98,26% das variações na quantidade demandada de energia elétrica são explicadas pelo modelo. Além disso, o teste do Multiplicador de Lagrange sugere que o modelo não apresenta autocorrelação até a terceira defasagem, ao nível de 1% de significância estatística.

A partir dos resultados do modelo VAR, estimou-se a matriz de relações contemporâneas do modelo estrutural, cujos resultados estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Estimativa das relações contemporâneas do modelo SVAR para a demanda de energia elétrica da classe Comercial

Influência		Coeficientes estimados ¹	Desvio padrão
Do	Sobre o		
Renda_com_dess _t	Cons_com_dess _t	0,197964 ^{**}	0,088603
ΔTarifa_com	Cons_com_dess _t	-0,096174 ^{NS}	0,400211

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas: ¹ Os sinais já estão analisados da forma contrária à apresentada pela estimação.
 (**) significativo a 5%; (NS) não significativo.

Os resultados apresentados na Tabela 12 mostram que a influência contemporânea da renda sobre o consumo de energia elétrica da classe Comercial é estatisticamente significativa e apresenta sinal de acordo com o esperado. Assim, um aumento de 1% na renda da classe Comercial é acompanhado de um aumento de aproximadamente 0,20% na demanda de energia elétrica, mantida constante a influência das demais variáveis. Esse resultado é inferior ao encontrado por Schmidt e Lima (2004), Mattos *et al.* (2006) e Siqueira *et al.* (2006), que obtiveram elasticidades-renda de 1,02, 0,78 e 0,636, respectivamente, analisando as demandas de energia elétrica do Brasil, de Minas Gerais e da região Nordeste.

Assim como analisado para a classe Residencial, o valor inferior ao da literatura estimado para a elasticidade-renda deve-se ao fato de, no período posterior ao racionamento, muitos consumidores terem substituído antigos equipamentos elétricos por equipamentos novos e mais eficientes. Segundo a EPE (2008), as elasticidades-renda de todas as classes têm uma tendência declinante ao longo do horizonte temporal, refletindo um mercado mais maduro, que faz uso mais racional da energia elétrica. No entanto, a avaliação da eficiência energética nesse setor requer uma ampla pesquisa sobre posse e uso de equipamentos, mas essa análise é especialmente complexa, tendo em vista tratar-se de um setor bastante heterogêneo (EPE, 2010e).

Apesar de apresentar uma pequena elasticidade-renda, a classe Comercial vem ampliando consideravelmente seu consumo de energia, o que a EPE (2011f) atribui à evolução da economia nacional no sentido de uma economia mais desenvolvida e com melhor distribuição de renda, que faz com que a população solicite serviços e segmentos comerciais mais sofisticados, além da ampliação do turismo nacional.

A análise do coeficiente referente à elasticidade-preço da demanda de energia elétrica da classe Comercial apresentou sinal de acordo com o esperado, mas ele não foi significativo. Da mesma forma como foi observado para a classe Residencial, tal resultado indica que a variação da tarifa não tem influência contemporânea sobre a demanda, e seu impacto sobre o consumo poderá ocorrer apenas em períodos posteriores.

No que concerne à análise da decomposição da variância do erro de previsão do consumo de energia elétrica, a Tabela 13 apresenta os resultados obtidos para a classe Comercial, estimados com base num horizonte temporal de 12 meses.

Tabela 13 – Decomposição da variância do erro de previsão do consumo comercial de energia elétrica – Cons_com_dess

Período	Desvio Padrão	Decomposição da variância devido a choque em (%)		
		Cons_com_dess	Renda_com_dess	D(Tarifa_com)
1	0.007809	94.07611	4.767319	1.156568
2	0.008024	91.05253	4.752345	4.195121
3	0.008030	90.92799	4.845971	4.226036
4	0.008031	90.91071	4.862311	4.226982
5	0.008031	90.90808	4.864954	4.226962
6	0.008031	90.90768	4.865369	4.226953
7	0.008031	90.90762	4.865433	4.226952
8	0.008031	90.90761	4.865443	4.226951
9	0.008031	90.90760	4.865445	4.226951
10	0.008031	90.90760	4.865445	4.226951
11	0.008031	90.90760	4.865445	4.226951
12	0.008031	90.90760	4.865445	4.226951

Fonte: Resultados da pesquisa.

A análise da Tabela 13 permite identificar que a principal fonte da variância do erro de previsão do consumo comercial é o próprio consumo comercial, que explica 94% da variação no consumo no primeiro período, tornando-se estável a partir do terceiro mês, com uma participação de 90% na variância do erro de previsão da variável. As demais variáveis (renda e variação da tarifa) são menos relevantes para explicar as variações no consumo de energia, pois têm uma participação de 4% na variância do erro de previsão daquela variável.

Outra evidência que pode ser observada na Tabela 13 diz respeito à dinâmica da participação da renda e da variação da tarifa sobre a variância do erro de previsão do consumo ao longo do período de 12 meses. Pode-se verificar que a participação

da renda é estável ao longo de todo o período, enquanto o efeito da variação da tarifa sobre o consumo é menor no primeiro período (1,16%), aumenta consideravelmente no segundo mês, tornando-se estável a partir do terceiro mês. Isso sugere que as políticas públicas adotadas via aumentos na tarifa desta classe, que objetivam reduzir o consumo de energia elétrica, terão efeitos maiores com o passar do tempo.

Para complementar a análise da demanda de energia elétrica da classe Comercial, foram estimadas as funções impulso-resposta, cujos resultados, reportados na Figura 7, mostram as reações do consumo comercial de energia elétrica a choques no próprio consumo, na renda ou na variação da tarifa de energia.

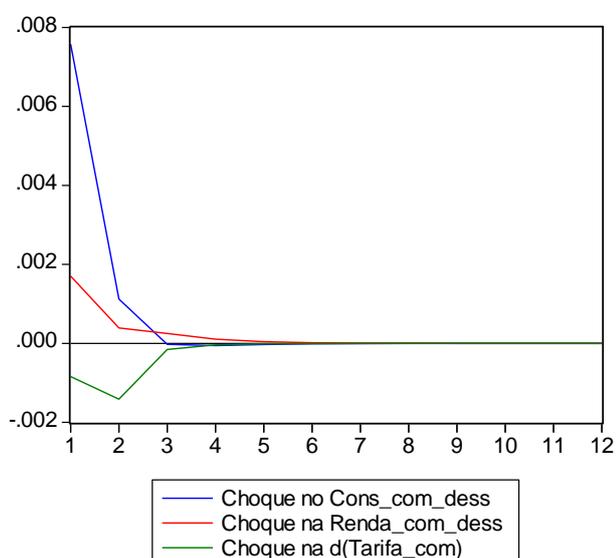


Figura 7 – Função de impulso-resposta do consumo comercial de energia elétrica a um impulso no próprio consumo, na renda e na variação da tarifa
 Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 7 mostra que um choque de 1% no consumo faz com que ele aumente cerca de 0,0076% no primeiro período, reduzindo o seu efeito até se dissipar após o terceiro mês. Quando o choque ocorre na variação da tarifa, no entanto, o consumo comercial de energia elétrica é reduzido até o segundo período, quando atinge uma queda máxima de 0,0014%, que é reduzida até se dissipar a partir do quarto mês posterior ao choque. Tal reação do comércio ocorre porque o consumo de energia é considerado um insumo de produção, e o aumento da tarifa fará com que esse insumo se torne mais caro, tendo que ser reduzido no curto prazo, até que esse aumento nos custos possa ser incorporado ao preço do produto para que o consumo volte aos níveis habituais.

Um choque de 1% na renda, por sua vez, faz com que o consumo aumente cerca de 0,0017% no primeiro período, reduzindo-se até se dissipar depois de cinco meses. O fato de o consumo ser um insumo de produção do comércio faz com que o aumento da rentabilidade desse setor ocasione a necessidade de um maior volume do insumo, o que determina que um choque positivo sobre a renda tenha um impacto sobre o crescimento do consumo de eletricidade.

A Figura (7) também indica que um choque na renda leva um tempo maior para se dissipar, se comparado a um choque na variação da tarifa ou no consumo de energia elétrica. Isso porque o aumento da rentabilidade do setor fará com que o comércio amplie aos poucos sua produção, aumentando o consumo de eletricidade nesse período, enquanto um choque na tarifa fará com que o setor reduza o consumo apenas no princípio, pois o consumo deve voltar à dinâmica anterior para que a produção de bens ou serviços seja suficiente para atender à demanda de bens e serviços do comércio.

4.2.3 Demanda de energia elétrica da Classe Industrial

Antes de iniciar a estimação da demanda de energia elétrica da Classe Industrial, deve-se, inicialmente, fazer os Testes de Raiz Unitária de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e Phillips-Perron (PP), cujos resultados estão reportados na Tabela 14. A realização desses testes seguiu o procedimento proposto por Enders (1995), da mesma forma que para as classes Residencial e Comercial.

Tabela 14 – Testes de raiz unitária ADF e PP, realizados para as séries $Cons_ind_dess_t$, $Renda_ind_dess_t$ e $Tarifa_ind_t$, de janeiro de 2003 a junho de 2011

Teste	Série	Equação do teste	Número de defasagens	Defasagem de truncamento	Estatística do teste
ADF	$Cons_ind_dess_t$	Sem constante ou tendência	0	-	- 1,347860 ^{NS}
ADF	$\Delta Cons_ind_dess_t$	Sem constante ou tendência	0	-	- 8,817348 ^{***}
PP	$Cons_ind_dess_t$	Sem constante ou tendência	-	5	- 1,385071 ^{NS}
PP	$\Delta Cons_ind_dess_t$	Sem constante ou tendência	-	8	- 8,791265 ^{***}
ADF	$Renda_ind_dess_t$	Sem constante ou tendência	0	-	- 1,259156 ^{NS}
ADF	$\Delta Renda_ind_dess_t$	Sem constante ou tendência	1	-	- 5,455650 ^{***}
PP	$Renda_ind_dess_t$	Sem constante ou tendência	-	6	-1,751190*
ADF	$Tarifa_ind_t$	Constante	12	-	- 2,443678 ^{NS}
ADF	$\Delta Tarifa_ind_t$	Sem constante ou tendência	11	-	-1,685325*
PP	$Tarifa_ind_t$	Constante	-	5	-2,684767*

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas:

1) No teste ADF, foi utilizado o número de defasagens que minimizou o Critério de Informação de Schwarz e, no PP, foi adotado o Critério de Newey-West.

2) (***) significativo a 1%; (**) significativo a 5%; (*) significativo a 10%; (^{NS}) não significativo.

Os resultados apresentados na Tabela 14 indicam que as variáveis $Renda_ind_dess_t$ e $Tarifa_ind_t$, pelo teste ADF, são integradas de primeira ordem, ou seja, ambas têm uma raiz unitária em nível, mas não a têm em primeira diferença. No entanto, pelo teste de Phillips-Perron, ambas as variáveis são estacionárias em nível, a 10% de significância estatística. Dessa forma, a função de demanda de energia elétrica da classe Industrial será estimada considerando essas variáveis em nível.

Quanto à variável $Cons_ind_dess_t$, ao nível de significância de 10%, não se pode rejeitar a hipótese de que ela tenha uma raiz unitária, indicando ser ela não estacionária em nível. No entanto, em primeira diferença, pode-se rejeitar a presença

de raiz unitária para a mesma variável ao nível de 1% de significância estatística, indicando que tal variável é integrada de primeira ordem.

No caso da indústria, porém, diferentemente das classes Residencial e Comercial, a crise econômica de 2008 teve impactos relevantes sobre o consumo de energia elétrica, já que levou à suspensão ou redução das atividades em diversos segmentos industriais, em especial nos produtores de bens de consumo durável e capital (CNI, 2009a). Com isso, houve uma quebra estrutural na série de consumo industrial de energia elétrica, o que poderia gerar distorções nos resultados dos testes de raiz unitária anteriores, caso essa mudança tivesse sido simplesmente ignorada. Para corrigir esse impasse, foi realizado um novo teste de raiz unitária, inicialmente proposto por Saikkonen e Lütkepohl (2002), que utiliza um procedimento semelhante ao de Dickey_Fuller Aumentado, mas incorpora uma *dummy* para captar essa mudança estrutural. Os resultados do novo teste para a variável $Cons_ind_dess_t$ estão reportados na Tabela 15.

Tabela 15 – Teste de raiz unitária com quebra estrutural de Saikkonen e Lütkepohl (2002) para a variável $Cons_ind_dess_t$

Série	Equação do teste	Número de defasagens	Data da quebra considerada	Estatística do teste
$Cons_ind_dess_t$	Constante e tendência	2	12/2008	-2,8253*

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas:

- 1) A data da quebra foi estimada com programa J-Multi, baseada na proposta de Saikkonen e Lutkepohl (2002).
- 2) (*) significativo a 10%.

Os resultados apresentados na Tabela 15 indicam que, ao nível 10% de significância estatística, rejeita-se a hipótese de que a variável $Cons_ind_dess_t$ tenha uma raiz unitária, indicando que essa variável é estacionária em nível. Os resultados da Tabela 12 também apontam que a quebra estrutural na série de dados de consumo de energia elétrica ocorreu em dezembro de 2008, o que se justifica pelo fato de a produção industrial ter sofrido maior redução apenas a partir daquele mês, devido ao elevado nível de estoques indesejados formados no quarto trimestre de 2008, resultante da desaceleração do consumo (CNI, 2009a).

Dessa forma, tendo em vista que o consumo de energia elétrica também é uma variável estacionária, a função de demanda de energia elétrica da classe

Industrial que será estimada utilizará todas as variáveis em nível, visto que as demais também foram estacionárias pelo teste de Phillips-Perron.

No entanto, antes de fazer a estimação da demanda de energia elétrica da indústria, faz-se necessário determinar o número de defasagens a ser adotado no modelo VAR. Esse número foi determinado com base nos critérios de Akaike, Schwarz e Hannan-Quinn, cujos resultados estão apresentados na Tabela (16).

Tabela 16 – Definição do número de defasagens do modelo a partir dos Critérios de Informação de Akaike, Schwarz e Hannan-Quinn

Defasagens	Akaike	Schwarz	Hannan-Quinn
0	-16.36950	-16.12599	-16.27114
1	-21.40165	-20.91464*	-21.20494*
2	-21.40930*	-20.67878	-21.11422
3	-21.27417	-20.30015	-20.88074
4	-21.16500	-19.94747	-20.67321
5	-21.14817	-19.68713	-20.55802
6	-21.16853	-19.46399	-20.48002

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: (*) indica o número de defasagens escolhido por cada critério de informação.

Conforme pode ser observado na Tabela 16, os critérios de informação de Schwarz e Hannan-Quinn indicam que o modelo VAR deve adotar apenas uma defasagem, enquanto o critério de informação de Akaike sugere a adoção de duas defasagens no modelo. O número de defasagens utilizado neste trabalho foi aquele sugerido pelo critério de Akaike, pois a adoção de um número de defasagens inferior gerava um modelo com presença de autocorrelação, que foi corrigida ao utilizar duas defasagens.

Outro procedimento adotado antes de estimar o modelo foi a tomada de decisão sobre a inclusão de termos determinísticos, que indicou que o modelo deveria conter tanto a constante como a tendência. Essa decisão foi tomada da mesma forma para as classes anteriores, com base em testes estatísticos e análise gráfica.

Além da constante e tendência, o modelo também inclui uma variável *dummy* com o objetivo de captar o efeito que a crise econômica de 2008 teve sobre o consumo de energia elétrica. Essa variável assume valores iguais à unidade entre dezembro de 2008 e junho de 2009, período em que a crise financeira teve um maior impacto sobre a indústria, já que, segundo a Confederação Nacional da Indústria

(CNI, 2009b), no terceiro trimestre de 2009, a economia nacional seguia um processo de recuperação, com crescimento do PIB, do consumo e do emprego. Adicionalmente, a EPE (2011c) afirma que a dinâmica do consumo industrial de energia elétrica iniciou uma trajetória de recuperação do pós-crise apenas no segundo semestre de 2009. Os resultados do modelo VAR estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Estimativas do modelo VAR referentes à variável $Cons_ind_dessa_t$

Variável explicativa	Coefficiente	Desvio padrão
Cons_ind_dess(-1)	0,890633 ^{***}	0,10393
Cons_ind_dess(-2)	-0,116629 ^{NS}	0,11036
Renda_ind_dess(-1)	0,293519 ^{NS}	0,42582
Renda_ind_dess(-2)	-0,187596 ^{NS}	0,37974
Tarifa_ind(-1)	-0,113312 [*]	0,06636
Tarifa_ind(-2)	0,168843 ^{**}	0,06592
Constante	-0,143716 ^{**}	0,05594
Tendência	0,000293 ^{***}	9,4E-05
Dummy	-0,009402 ^{**}	0,00450

Testes e qualidade do ajuste		
$R^2 = 0,9707$	R^2 ajustado = 0,9681	Estatística F = 376,74

	Defasagem	Estatística do teste	P-valor
Autocorrelação (LM-teste)	1 ^a	13,63761	0,1358
	2 ^a	12,30408	0,1967
	3 ^a	7,365719	0,5991

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas: (***) significativo a 1%; (**) significativo a 5%; (*) significativo a 10%.

De acordo com a Tabela 17, os resultados indicam que apenas o $Cons_ind_dessa(-2)$, a $Renda_ind_dessa(-1)$ e a $Renda_ind_dessa(-2)$ não foram significativos. As demais variáveis foram estatisticamente significativas em níveis de 1%, 5% e 10%. A *dummy* também foi estatisticamente significativa e apresentou sinal negativo, corroborando as análises anteriores de que a crise financeira internacional teve um impacto no consumo de energia elétrica do setor, levando à sua redução.

Em conjunto, todas as variáveis são importantes para explicar o comportamento da quantidade demandada de energia elétrica, já que a estatística F se apresentou altamente significativa. Além disso, o coeficiente de determinação indica que 97,07% das variações na quantidade demandada de energia elétrica são explicadas pelo modelo ajustado. O modelo também não apresentou autocorrelação ao nível de 1% de significância estatística.

Após a estimação do modelo VAR, foi estimada a matriz de relações contemporâneas do modelo estrutural para a indústria. De maneira semelhante às classes anteriores, foram apresentados apenas os resultados relativos à influência das variáveis renda e tarifa sobre o consumo de energia elétrica, com vistas a atender os objetivos desta pesquisa. Os resultados estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Estimativa das relações contemporâneas do modelo SVAR para a demanda de energia elétrica da classe Industrial

Influência		Coeficiente	Desvio padrão
Do	Sobre o		
Renda_ind_dess _t	Cons_ind_dess _t	1,178603 ^{**}	0,479834
Tarifa_ind	Cons_ind_dess _t	0,306138 ^{NS}	0,284887

Fonte: Resultados da pesquisa.

Notas: ¹ Os sinais já estão analisados da forma contrária à apresentada pela estimação.
 (**) significativo a 5%; (^{NS}) não significativo.

A análise da Tabela 18 permite identificar que a Renda_ind_dess_t tem um significativo impacto sobre a demanda de energia elétrica da indústria, representada pela variável Cons_ind_dess_t. O elevado coeficiente estimado indica que, mantidas constantes as demais variáveis, um aumento de 1% na renda da indústria é acompanhado por um aumento de aproximadamente 1,18% no consumo contemporâneo de energia elétrica desta classe.

Como foi ressaltado na seção 4.1.3 deste capítulo, para a classe Industrial, a *proxy* utilizada para representar a renda foi o número de horas pagas na indústria, variável que representa o nível de atividade da indústria. Dessa forma, o aumento do nível de atividade nesta classe é acompanhado por uma elevação imediata do consumo de energia elétrica, insumo indispensável na produção de grande parte dos setores industriais, determinante para que a elasticidade-renda fosse positiva, mesmo sendo estimada a partir da matriz de relações contemporâneas, e apresentando valor

superior à elasticidade das classes Residencial e Comercial, já que nessas classes o consumo de eletricidade não é o principal fator para determinar o bem-estar (no caso da classe Residencial) ou o nível de produção (para a classe Comercial).

Comparando esse resultado aos demais estudos da literatura, o valor de 1,179 foi inferior ao valor de 1,916 encontrado por Schmidt e Lima (2004), mas foi praticamente o mesmo encontrado por Siqueira *et al.* (2006), de 1,181, apesar de os últimos autores terem estimado a demanda industrial de energia elétrica para a região Nordeste. É relevante ressaltar, no entanto, que o valor encontrado por Schmidt e Lima (2004) foi considerado demasiadamente elevado pelos mesmos autores, que esperavam encontrar um valor próximo à unidade, além de os autores acima terem estimado a elasticidade-renda a partir das relações de longo prazo e não das relações contemporâneas entre as variáveis.

O valor inferior obtido para a elasticidade-renda do setor Industrial reflete tanto a crescente terceirização da economia quanto a maior eficiência dos processos produtivos, resultante da mudança de comportamento da indústria depois do racionamento, que contribuiu para a diminuição da intensidade energética da economia (EPE, 2008). Entre os diversos setores industriais, a EPE (2010e) avalia um maior ganho de eficiência energética no uso da eletricidade nas indústrias de papel e celulose, siderurgia, ferro ligas e cimento, além da indústria de alumínio.

A EPE (2008) ressalta ainda que estudos em relação ao mercado de energia elétrica, não só no Brasil, como em outros países, revelam que, embora a atividade econômica esteja aumentando, isso vem ocorrendo pelo uso mais eficiente da eletricidade no período posterior ao racionamento e pela maior participação de segmentos menos eletrointensivos e mais agregados de valor, contribuindo para uma relação decrescente da elasticidade em função da taxa de crescimento da atividade econômica.

Ao comparar as elasticidades-renda das diferentes classes estudadas, a classe Industrial apresentou o maior valor, seguida das classes Comercial e Residencial. Tal resultado, que também ficou evidenciado no trabalho de Schmidt e Lima (2004), deve-se ao fato de a renda da classe Industrial ser utilizada para representar o nível de produção da indústria, e que o aumento deste nível implica maior atividade e, conseqüentemente, maior consumo de energia elétrica.

No que tange à influência da tarifa no consumo industrial de energia elétrica, o resultado obtido apresentou sinal oposto ao esperado, contudo seu valor não foi

estatisticamente significativo. Desta forma, alterações na tarifa não têm impacto significativo sobre o consumo da classe, ou seja, contemporaneamente, a tarifa não é uma variável que determine a quantidade demandada de energia elétrica da indústria. No entanto, em períodos posteriores, o valor da tarifa pode influenciar a demanda de energia, como pode ser observado na Tabela 18, devido à significância estatística dos coeficientes da tarifa estimados no modelo VAR. Schmidt e Lima (2004) também encontraram elasticidade-preço não significativa quando estimaram a demanda de energia elétrica para a classe Industrial, desconsiderando o preço dos substitutos.

Contudo, é importante ressaltar, como lembrado por Siqueira *et al.* (2006), que as comparações dos resultados obtidos com os valores de outros estudos não são tão simples, uma vez que cada estudo tem sua especificidade no que se refere às variáveis utilizadas, métodos de estimação, fonte de dados e períodos de análise.

Quanto à análise da decomposição da variância do erro de previsão do consumo industrial de energia elétrica, os resultados da Tabela 19 indicam que grande parte das variações no consumo são explicadas por ele mesmo.

Tabela 19 – Decomposição da variância do erro de previsão do consumo industrial de energia elétrica – Cons_ind_dess

Período	Desvio Padrão	Decomposição da variância devido a choque em (%)		
		Cons_ind_dess	Renda_ind_dess	Tarifa_ind
1	0.009159	76.36761	5.787535	17.84485
2	0.012540	79.70827	8.191946	12.09978
3	0.014176	79.24750	8.664931	12.08757
4	0.015019	77.57995	8.988866	13.43118
5	0.015508	75.58935	9.083917	15.32673
6	0.015844	73.52794	9.032505	17.43955
7	0.016109	71.54113	8.893589	19.56528
8	0.016337	69.68906	8.711699	21.59924
9	0.016543	67.99690	8.517383	23.48571
10	0.016732	66.47049	8.329362	25.20015
11	0.016907	65.10582	8.158040	26.73614
12	0.017069	63.89393	8.008289	28.09778

Fonte: Resultados da pesquisa.

A análise da Tabela 19 permite identificar que, embora o consumo seja a principal fonte de variação do próprio consumo industrial de energia elétrica, pode-se notar que sua participação na explicação das variações dessa variável foi sendo reduzida na maior parte do tempo. No primeiro mês, um choque no consumo é responsável por 76,36% da variância do erro de previsão da própria variável, e esta

participação aumenta no segundo mês e volta a se reduzir nos períodos posteriores, e não se estabiliza até o 12º mês após o choque.

A tarifa constitui a segunda fonte de variação do consumo de energia elétrica da classe Industrial, que tem uma participação expressiva para explicar alterações no consumo de eletricidade, passando de 17,84% no primeiro mês, reduzindo-se no segundo e terceiro período, e voltando a se elevar, chegando a alcançar a participação de 28,09% após 12 meses. A Tabela 19 indica ainda que, embora tenha decorrido um ano após a ocorrência de um choque na tarifa, o efeito dessa variável sobre o consumo da indústria ainda não parece ter se estabilizado, pois a participação da variável continua aumentando. Dessa forma, tem-se que, ainda que a elasticidade-preço indique que, contemporaneamente, as alterações na tarifa não induzam modificações no consumo, um choque na tarifa terá efeitos significativos sobre o consumo, e esses efeitos se propagarão por um longo período.

Com relação ao impacto de um choque na renda sobre o consumo de energia, embora seu efeito seja menor que o causado pelas demais variáveis, seu valor é relevante para explicar as variações no consumo industrial de energia elétrica.

Outra análise importante que pode ser feita a partir dos resultados apresentados na Tabela 19 se refere à dinâmica do efeito da renda sobre o consumo, pois apesar de a renda ser a variável com comportamento mais estável sobre a variância do erro de previsão do consumo, sua participação na explicação dessa variância passa de 5,79% no primeiro período, atinge o máximo de 9,08% no 5º mês, e se reduz a partir de então, não ficando muito estável nesse período.

Com o objetivo de complementar os resultados anteriores, foram estimadas as funções impulso-resposta, apresentadas na Figura 8, indicando a trajetória do consumo industrial de energia elétrica quando ele reage a choques no próprio consumo, na renda ou na tarifa industrial de energia.

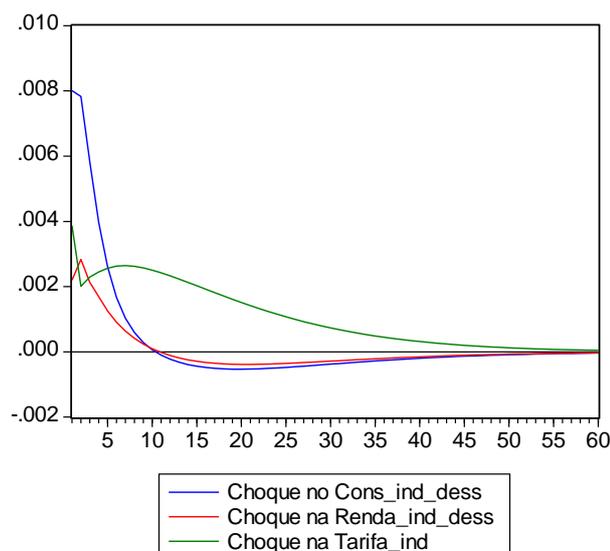


Figura 8 – Função de impulso-resposta do consumo industrial de energia elétrica a um impulso no próprio consumo, na renda e na variação da tarifa

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados apresentados na Figura 8 indicam que, nesta classe, um choque em qualquer variável leva um tempo superior para se dissipar. A reação do consumo de energia elétrica a um choque de 1% nele próprio é um aumento maior no primeiro período, quando continua crescendo em menor proporção até o 10º mês, reduz-se a partir do 11º, até se dissipar somente depois do 55º período.

No caso de um choque de 1% na renda, no entanto, ele fará com que o consumo aumente inicialmente, atingindo um crescimento máximo no 2º mês, passando a atingir um crescimento negativo depois do 11º mês, até que o impacto do choque seja dissipado depois do 55º mês. Uma possível explicação para esse comportamento se refere ao fato de a eletricidade ser um insumo de produção e, por isso, o aumento do nível de atividade demandará maior volume do insumo, elevando inicialmente o consumo de energia. No entanto, com o passar do tempo, o consumo pode ser reduzido pelos ganhos de escala, que possibilitam um mesmo nível de produção com um menor gasto de energia elétrica.

Para a tarifa, um choque de 1% nesta variável fará com que o consumo tenha um crescimento de 0,0039% no 1º mês, e esse choque só será dissipado por volta do 55º mês. Da mesma forma como foi observado para a classe Residencial, essa dinâmica do comportamento do consumo foi contrária ao esperado, o que pode ter ocorrido pela periodicidade dos dados e pela forma como a tarifa de energia elétrica

é calculada, como abordado na análise da função impulso-resposta da classe Residencial.

Comparando esse resultado às funções impulso-resposta e às análises da decomposição da variância das demais classes estudadas, observa-se que a demanda de energia elétrica da classe Industrial é mais sensível às variações na renda e na tarifa que as demais classes. Além disso, um choque na tarifa, na renda ou no próprio consumo da classe Industrial levará um tempo consideravelmente superior para ser dissipado se comparado a um choque nas classes Comercial ou Residencial. Mattos (2004) ressalta que isso pode ser resultante da rigidez existente nas estruturas produtivas da indústria, indicando dificuldades para substituição da energia elétrica por outra fonte de energia.

4.3 Análise da relação demanda/oferta de energia elétrica do Brasil entre 2012 e 2016

A partir das elasticidades-renda estimadas, buscou-se analisar o comportamento do consumo de energia elétrica perante as previsões existentes para a taxa de crescimento do PIB e, a partir desses resultados, comparar o crescimento da demanda com o crescimento da oferta, para o período de 2012 a 2016. Não foram feitas projeções do comportamento da demanda diante de alterações na tarifa pelo fato de as elasticidades-preço estimadas neste trabalho não terem apresentado significância estatística.

De acordo com o relatório de mercado do Banco Central (2012), a expectativa de crescimento do PIB para 2012 é de 3,30%, enquanto para 2013 é de 4,20%. A partir desses valores e considerando que o Banco Central não disponibilizou estimativas da previsão de crescimento do PIB para os anos de 2014 a 2016, foram estabelecidos dois cenários: um cenário baixo, no qual a taxa de crescimento do PIB será de 3,30% ao ano e um cenário alto, no qual a taxa de crescimento do PIB será de 4,20% ao ano, para o período de 2012 a 2016. A partir desses cenários, a Tabela 20 mostra os resultados das taxas de crescimento do consumo de cada classe para o período em questão.

Tabela 20 – Previsão para o consumo de energia elétrica das classes Residencial, Comercial e Industrial de 2012 a 2016

Classes	Cenário baixo (3,30% ao ano)	Cenário alto (4,20% ao ano)
Residencial	0,396%	0,504%
Comercial	0,660%	0,840%
Industrial	3,894%	4,956%

Fonte: Resultados da pesquisa.

A análise da Tabela 20 permite identificar que a demanda por energia elétrica para a classe Residencial poderá aumentar entre 0,396% (cenário baixo) e 0,504% ao ano (cenário alto). A classe Comercial, com base nas projeções, deverá apresentar um crescimento do consumo de eletricidade variando entre 0,660% e 0,840% ao ano. Já a classe Industrial, por ter apresentado a maior elasticidade-renda, deverá apresentar maior crescimento da demanda de eletricidade, entre 2012 e 2016, que poderá variar entre 3,894% e 4,956% ao ano.

Ao considerar a média do crescimento da demanda de energia elétrica previsto, ponderada pelas participações de cada classe no consumo de eletricidade apresentado em 2010¹³, infere-se que a demanda de energia elétrica do Brasil deverá apresentar um crescimento variando de 2,23% ao ano, considerando o cenário baixo, até 2,84% ao ano, valor esperado para o cenário alto.

Ao mesmo tempo em que se buscou prever, com base nas elasticidades-renda obtidas, o crescimento da demanda de energia elétrica para os próximos anos (2012-2016), buscou-se também determinar o crescimento da oferta de eletricidade nesse período, a fim de confrontar os valores esperados para ambos os indicadores. Para isso, foram utilizados os dados de capacidade de geração futura das usinas hidrelétricas que entrarão em operação nos próximos anos, valores apresentados no relatório da Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração da Aneel (2012), como *proxy* para o crescimento da oferta de energia elétrica para o mesmo período.

Os resultados obtidos para a taxa de crescimento da oferta de eletricidade foram de 3,11% ao ano, percentual estimado a partir dos valores apresentados pela Aneel (2012) referentes à capacidade de oferta de energia em 2011 e da capacidade

¹³ O peso do consumo de cada classe referiu-se à participação do consumo da respectiva classe na soma do consumo residencial, comercial e industrial, não sendo considerado o consumo de outros setores, como o rural e o público.

adicional de geração de algumas usinas, que, segundo a Aneel (2012), deverão entrar em operação no período de 2012 a 2016, como as usinas de Santo Antônio e Jirau, em Rondônia, e Belo Monte, no Pará.

Confrontando as taxas de crescimento da oferta e da demanda de eletricidade para o período de 2012 a 2016, é possível observar que, tanto no cenário baixo quanto no cenário alto, a taxa de crescimento da oferta é superior à taxa de crescimento prevista para a demanda, o que poderia reduzir as chances de um novo racionamento de energia como o ocorrido em 2001. Esse crescimento superior da oferta em relação à demanda pode ser explicado pela expansão da capacidade de geração do país advinda do início de operação de algumas usinas de grande porte, como Santo Antônio e Jirau, além da usina de Belo Monte, uma das maiores usinas hidrelétricas do mundo quanto à capacidade de geração de energia elétrica.

Entretanto, é importante ressaltar que se a renda nacional apresentar um crescimento superior ao 4,20% ao ano, valor apresentado no cenário alto, ou se houver atrasos no fornecimento de energia das novas usinas hidrelétricas, existe a possibilidade de o crescimento da demanda superar o crescimento da oferta de energia. Nesse caso, Mattos (2004) ressalta que, a menos que exista um excedente de produção, ou seja, que a capacidade atual de ofertar energia seja superior ao consumo, essa situação poderia indicar uma possível ocorrência de interrupções no consumo de energia ou, até mesmo, um novo racionamento do consumo.

Mattos (2004) ainda adverte que uma preocupação adicional em relação à capacidade de produção de energia elétrica se refere ao seu dimensionamento para atender à demanda nos horários de ponta, nos horários de maior utilização do sistema. O autor completa que é possível a ocorrência de um déficit nesses momentos, embora na maior parte do dia possa ser observada capacidade ociosa no sistema elétrico.

Dessa forma, embora os resultados tenham indicado que a população passou a fazer uso mais racional da eletricidade pelos resultados de elasticidades-renda inferiores àquelas observadas na literatura, a energia elétrica é essencial para a continuidade do crescimento econômico, indicando que o governo deve continuar investindo na expansão da capacidade de geração, adotando, inclusive, outras fontes de produção de energia para atender à demanda crescente e minimizar os riscos de déficits, principalmente nos horários de maior demanda ou nos períodos de chuvas escassas.

6 RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo identificar as relações entre a demanda de energia elétrica e seus principais determinantes (tarifa e renda) nas classes Residencial, Comercial e Industrial do Brasil no período pós-acionamento (2003 a 2011). Para isso, foi utilizado o modelo Vetorial Autorregressivo (VAR) na sua forma estrutural (SVAR). Para a classe Industrial, além das variáveis incluídas nos modelos das demais classes (consumo, renda e tarifa de energia, como variáveis endógenas, e tendência, como variável exógena), foi incluída também, como variável exógena, uma *dummy*, com o objetivo de captar os efeitos da crise financeira internacional sobre o consumo de eletricidade da indústria. Ao final do trabalho, buscou-se estabelecer uma comparação entre os resultados obtidos e os encontrados na literatura nacional e entre os resultados encontrados para as diferentes classes.

No Capítulo 1 foram apresentadas algumas considerações iniciais sobre o setor, como as principais classes consumidoras de energia elétrica, a localização do mercado consumidor de eletricidade, bem como algumas características do setor e os fatos que desencadearam a implantação do Programa de Racionamento, em junho 2001. Na sequência do capítulo, foi apresentada a importância da pesquisa, além de uma breve descrição de alguns trabalhos sobre demanda de energia elétrica da literatura nacional.

No Capítulo 2 foi apresentado o referencial teórico que continha as bases para a especificação dos modelos de estimação da demanda de energia elétrica, com as elasticidades-preço e renda.

Na sequência, foi apresentado no Capítulo 3 o modelo analítico utilizado no trabalho, com a descrição do SVAR e dos procedimentos e testes adicionais, como testes de raiz unitária e de autocorrelação, análises de decomposição da variância e função impulso-resposta. Além disso, foram descritas as fontes e operacionalização das variáveis utilizadas, tendo sido mostrado que a tarifa de todas as classes e a arrecadação de ICMS foram deflacionadas pelo IGP-DI (jan. 2010 = 100), a forma como as séries de consumo e renda de todas as classes foram dessazonalizadas, além da especificação de que todas as variáveis foram utilizadas na forma de logaritmo nas estimações dos modelos.

O Capítulo 4, por sua vez, expôs os resultados do trabalho. Inicialmente, este capítulo apresentou a evolução do consumo de energia elétrica de cada classe estudada. Para a classe Residencial, observou-se que grande parte do crescimento do consumo de energia elétrica, no período de janeiro de 2003 a junho de 2011, esteve associado ao aumento do número de consumidores com atendimento de energia elétrica, resultado do Programa Luz Para Todos, além do aquecimento do mercado de trabalho, com aumento da renda e redução do desemprego e oferta abundante de crédito, facilitando a aquisição de aparelhos eletrônicos. Nesta classe, o crescimento do consumo de energia foi maior nas regiões Nordeste e Norte, pois foram as regiões com maior atendimento de programas sociais, como o Luz Para Todos e o Bolsa Família, tendo este último permitido que uma parte da população, que até então não tinha acesso a alguns eletrodomésticos, pudesse participar do mercado consumidor.

No caso da classe Comercial, notou-se que o crescimento do consumo de energia elétrica esteve associado ao aumento do turismo e a atividades portuárias, à criação de *shoppings* e hipermercados de alto padrão, ao aumento do rendimento real da população, redução das taxas de desemprego, ampliação do crédito, além do aumento da temperatura em determinados períodos. Nesta classe, as regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste se destacaram por apresentarem um maior crescimento do consumo de eletricidade em relação às demais regiões.

A classe Industrial, entretanto, não apresentou uma trajetória de crescimento do consumo de energia elétrica ao longo de todo o período analisado, pois ela foi a mais afetada pelos efeitos da crise financeira internacional de 2008. O consumo industrial de energia elétrica reflete diretamente o desempenho da produção física industrial, que apresentou uma queda acentuada na crise, especialmente no caso dos setores de bens de consumo duráveis e de capital. O consumo da região Sudeste foi o mais impactado pelo evento, devido ao fato de essa ser a região mais industrializada do país. No entanto, o Sudeste também apresentou maior crescimento no período posterior à crise, e seu crescimento esteve associado principalmente à recuperação dos setores de siderurgia, metalurgia e extrativo-mineral. Por outro lado, o Centro-Oeste foi a região menos impactada pela crise, e isso decorreu da predominância do ramo de fabricação de produtos alimentícios e bebidas, setores geralmente voltados para o mercado interno.

Posteriormente à análise da evolução do consumo de energia elétrica, o Capítulo 4 ainda apresentou os resultados estimados para a demanda de energia

elétrica das classes Residencial, Comercial e Industrial. Os resultados da classe Residencial indicaram uma elasticidade-renda de 0,12, valor inferior ao encontrado na literatura. No entanto, esse resultado é reflexo do ajustamento do mercado que ocorreu após o Programa de Racionamento de Energia Elétrica, pois os consumidores adquiriram mais informações sobre o consumo dos equipamentos elétricos e aprenderam novos métodos para economizar energia. Adicionalmente, esse resultado ocorreu devido à substituição de grande parte dos equipamentos eletrodomésticos por equipamentos novos e mais eficientes, que consomem menor volume de eletricidade.

A elasticidade-renda da classe Comercial foi de 0,20, valor que também foi inferior às pesquisas anteriores. Porém, da mesma forma que para a classe Residencial, o resultado obtido para a classe Comercial reflete um mercado mais maduro, que aprendeu a economizar energia durante o racionamento e que agora faz um uso mais racional da energia elétrica.

Para a classe Industrial, o resultado estimado foi de 1,18, valor inferior ao encontrado na literatura para o Brasil. Esse resultado indica que também houve um ajustamento nesse setor, com uma maior eficiência dos processos produtivos, que levaram a uma redução da intensidade energética da economia. Esse ganho de eficiência vem sendo superior nas indústrias de papel e celulose, siderurgia, ferro ligas e cimento, além da indústria de alumínio.

Com relação à elasticidade-preço da demanda, os resultados encontrados neste trabalho para todas as classes não foram estatisticamente significativos, indicando que não existe uma relação contemporânea entre a demanda de energia elétrica e o valor da tarifa. Isso pode ser explicado pelo fato de o consumidor não ter conhecimento do valor da tarifa média no mesmo período em que ele consome a energia, já que a tarifa média é calculada pela divisão entre a receita que as concessionárias obtêm com o fornecimento de energia e a quantidade total consumida, indicando que os consumidores só terão acesso ao valor da tarifa média num período posterior ao consumo.

Ao comparar os resultados apresentados por todas as classes, observa-se que a indústria obteve a maior elasticidade-renda da demanda de energia elétrica pelo fato de a quantidade de eletricidade utilizada estar diretamente relacionada ao nível de produção que a indústria irá obter, indicando que uma variação na renda desta classe terá impacto imediato sobre o consumo de energia elétrica. Adicionalmente, os

resultados encontrados indicam que um choque na tarifa ou na renda terá um impacto superior na classe Industrial, além de levar um tempo consideravelmente maior para se dissipar. Isso é resultante da estrutura rígida desse setor, que gera uma grande dificuldade de substituição da energia elétrica por outras fontes de energia.

Com relação à previsão do crescimento da demanda para os próximos anos (2012-2016), observou-se, a partir das elasticidades-renda estimadas, que, se as previsões de crescimento do PIB se confirmarem, tanto no cenário alto como no cenário baixo, a demanda irá crescer a uma taxa inferior à oferta, indício de redução das perspectivas de desequilíbrio entre oferta e demanda de energia. No entanto, se as taxas de crescimento do PIB forem superiores às previstas, poderá ocorrer novamente um déficit de energia, a não ser que exista um excedente de produção atual.

Dessa forma, o governo precisa continuar investindo na expansão da capacidade de geração de energia elétrica, visto que os investimentos nesse setor demandam grandes prazos de maturação, fazendo com que o país tenha a energia necessária para atender à demanda crescente e para afastar o risco de novos déficits no fornecimento, que possam culminar em cortes de energia ou na implantação de um novo programa de racionamento.

Como limitações do trabalho, há a ausência de séries de dados mensais do produto interno bruto separado por setores (comércio, indústria, residência), além de dados para representar o estoque de equipamentos elétricos. Além disso, a forma como a tarifa de energia disponibilizada é calculada pode afetar a análise do impacto que essa variável tem sobre o consumo, comprometendo a estimação da elasticidade-preço e da função impulso-resposta. Esse problema poderia não ser tão significativo se fossem adotadas séries anuais, mas as séries existentes no período posterior ao racionamento são insuficientes para obter estimativas consistentes.

Para trabalhos futuros, sugere-se a estimação de modelos de demanda de energia elétrica que considerem a inclusão de variáveis como o estoque de equipamentos elétricos e a temperatura, ou que utilizem outros métodos para estimação e comparação dos resultados obtidos para o período pós-racionamento.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRUZEIROS MARÍTIMOS (ABREMAR). **Alavanca para o turismo**. 2011. Disponível em: <http://www.abremar.com.br/>. Acesso em 20/02/2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Informações do Setor Elétrico**. 2004. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 02 fev. 2011.
- _____. (ANEEL, várias datas). **Tarifas médias por classe de consumo**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550#>. Acesso em 15 set. 2011.
- _____. (ANEEL). **Acompanhamento da expansão da oferta de energia elétrica: Acompanhamento das usinas hidrelétricas**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=37>. Acesso em 10 de mar. 2012.
- AL-FARIS, A. R. F. The demand for electricity in the GCC countries. **Energy Policy**, v. 30, n. 2, p. 117-124. Jan. 2002.
- AMISANO, G.; GIANNINI, C. **Topics in structural VAR econometrics**. 2nd ed. Berlin: Springer, 1997. 181 p.
- ANDRADE, T.A.; LOBÃO, W.J.A. **Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, 1997. (Texto para discussão, n. 489).
- AZEVEDO, F. S. **Aspectos teóricos sobre o comércio internacional e dois estudos empíricos para a balança comercial brasileira de bens e serviços não fatores (SBCA)**. 2001. 151 p. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2007.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Informe infra-estrutura**, n. 37, ago. 1999. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/infra/g7137.pdf. Acesso em: 10 fev. 2011.
- BARDELIN, C. E. A. **Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica**. 2004. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, 2004.
- BERNANKE, B. S. Alternative explanations of the Money-income correlation. **NBER Working Paper Series**, n. 1842, feb. 1986. 62 p. Disponível em: http://www.nber.org/papers/w1842.pdf?new_window=1. Acesso em: 28 de mar. 2011.

BINGER, B. R.; HOFFMAN, E. **Microeconomics with calculus**. 2nd ed. New York: Addison-Wesley Educational Publishers Inc., 1998. 632 p.

BJORNER, T.B., TOGEBY, M., JENSEN, H.H. Industrial companies' demand for electricity: evidence from a micropanel. **Energy Economics**, v. 23, n. 5, p. 595-617, set. 2001.

BUENO, R. L. S. **Econometria de series temporais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 299 p.

CÂMARA DE GESTÃO DA CRISE DE ENERGIA ELÉTRICA (GCE). **Relatório da comissão de análise do sistema hidrotérmico de energia elétrica**. Brasília, 2001. Disponível em: www.planalto.gov.br/gce/relatorios. Acesso em: 18 de fev. 2011.

CHIANG, A. C.; WAINWRIGHT, K. **Matemática para economistas**. Tradução da 4^a ed. Rio de Janeiro: Campus, 2006. 692 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI, 2009a). **Informe conjuntural**. Ano 25, n. 01, jan/mar de 2009. Disponível em: <http://www.cni.org.br/portal/data/files/8A9015D0204327F0012043E9E9A56F17/Informe%20Conjuntural%20jan%20mar%202009.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2011.

_____. (CNI, 2009b). **Informe conjuntural**. Ano 25, n. 03, jul/set de 2009. Disponível em: <http://www.cni.org.br/portal/data/files/FF8080812408175A01240B48C2251179/Informe%20Conjuntural%20Jul-Set%202009.pdf>. Acesso em 19 dez. 2011.

DEATON, A.; MUELLBAUER, J. **Economics and consumer behavior**. 21st printing. New York: Cambridge University Press, 2006. 450 p.

ELETROBRAS. Departamento de Estudos Energéticos e Mercado (DEM). **Plano Decenal de Expansão 2003/2012**. Janeiro de 2003. Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br>. Acesso em 30 de jan. 2011.

_____. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – Classe Residencial**. 2007. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/PCI/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7BE6AA7196-E64E-4FC0-9567-994B77FB24DE%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>. Acesso em 05 jan. 2012.

_____. **Estudo de mercado**. Boletim Siese: Consumo de energia elétrica no Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em 12 de mar. 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **O mercado de energia elétrica em 2004**. Julho de 2005. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Mercado_9/Boletim%20Anual%20do%20Mercado%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20-%202004.pdf. Acesso em 10 nov. 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Consolidação do mercado de energia elétrica e da economia 2005**. Maio de 2006. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Mercado_9/Boletim%20Anual%20do%20Mercado%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20-%202005.pdf. Acesso em 10 nov. 2011.

_____. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica (referente a novembro de 2007)**. Ano I, n° 34, dezembro de 2007. Disponível em: http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/20071227_1.pdf. Acesso em 15 nov. 2011.

_____. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica (referente a junho de 2010)**. Ano III, n° 3, julho de 2010g. Disponível em: http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/20100722_1.pdf. Acesso em: 06 jan. 2012.

_____. **Projeções da demanda de energia elétrica para o plano decenal de expansão de energia 2008-2017**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20080506_1.pdf. Acesso em 06 jan. 2012.

_____. **Avaliação da eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019)**. Rio de Janeiro 2010e. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100809_4.pdf. Acesso em 03 jan. 2012.

_____. **Balanco Energético Nacional 2010 (ano base 2009)**. Rio de Janeiro, 2010f. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf. Acesso em 25 out. 2011.

_____. **Balanco Energético Nacional 2011 (ano base 2010)**. Rio de Janeiro, 2011e. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2011.pdf. Acesso em 25 out. 2011.

_____. **Boletim de conjuntura energética – 3º trimestre de 2009**. Rio de Janeiro, fevereiro de 2010a. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100322_1.pdf. Acesso em 10 dez. 2011.

_____. **Boletim de conjuntura energética – 4º trimestre de 2009**. Rio de Janeiro, julho de 2010b. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100809_2.pdf. Acesso em 12 dez. 2011.

_____. **Boletim de conjuntura energética: 1º trimestre de 2010**. Rio de Janeiro, julho de 2010c. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100809_1.pdf. Acesso em: 10 nov. 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Boletim de conjuntura energética: 2º trimestre de 2010**. Rio de Janeiro, outubro de 2010d. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20101130_1.pdf. Acesso em: 07 de fev. 2011.

_____. **Boletim de conjuntura energética – 3º trimestre de 2010**. Rio de Janeiro, maio de 2011a. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20110505_1.pdf. Acesso em 05 nov. 2011.

_____. **Boletim de conjuntura energética: 4º trimestre de 2010**. Rio de Janeiro, junho de 2011b. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20110607_1.pdf. Acesso em: 18 dez. 2011.

_____. **Boletim de conjuntura energética: 1º trimestre de 2011**. Rio de Janeiro, agosto de 2011c. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20110906_1.pdf. Acesso em 02 jan. 2012.

_____. **Boletim de conjuntura energética: 2º trimestre de 2011**. Rio de Janeiro, dezembro de 2011d. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série%20Estudos%20de%20Energia/20111226_1.pdf. Acesso em: 05 jan 2012.

_____. **Projeções da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2012-2021)**. Rio de Janeiro, dezembro de 2011f. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20120104_1.pdf. Acesso em: 10 jan. 2012.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. John Wiley & Sons, inc. 1995. 433 p.

GARCEZ, E. W.; GHIRARDI, A. G. Elasticidades da demanda residencial de energia elétrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, XXXI, 2003. **Anais...** Porto Seguro, BA. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/encontro2003/artigos/D34.pdf>. Acesso em 23 de fev. 2011.

GOMES, A. C. S. *et al.* **O setor elétrico**, 2002. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro_setorial/setorial14.pdf. Acesso em: 30 jan. 2011.

GOMES, L. S. F. **A demanda por energia elétrica residencial no Brasil: Uma estimativa das elasticidades-preço e renda por meio de painel**. 2010, 72 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da USP, Ribeirão Preto, SP, 2010.

HOLTEDAHL, P.; JOUTZ, F. L. Residential electricity demand in Taiwan. **Energy Economics**, v. 26, n. 2, p. 201-224, mar. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE, várias datas). **Pesquisa industrial mensal – produção física**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=2295&z=t&o=22&i=P>. Acesso em 07 nov. 2011.

_____ (IBGE, várias datas). **Pesquisa mensal do comércio (PMC)**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/comerc/default.asp?z=t&o=13&i=P>. Acesso em 06 nov. 2011.

IRFFI, G. *et al.* Previsão da demanda por energia elétrica para classes de consumo na região Nordeste, usando OLS dinâmico e mudança de regime. **Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, SP, v. 13, n. 1, p. 69 - 98, jan./mar. 2009.

LAMOUNIER, W. M. **Comportamento dos preços no mercado “spot” de café do Brasil: Análise nos domínios do tempo e da frequência**. 2001. 207 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

LEITE, S.Q. **Projeções para a demanda por energia elétrica no Brasil, 2006-2015**. 2006. 40 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Economia). Faculdade de Economia e Finanças do IBMEC, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

LÜTKEPOHL, H.; KRÄTZIG, M. **Applied time series econometrics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 323 p.

MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M. D.; GREEN, J. R. **Microeconomic Theory**. New York: Oxford University Press, 1995.

MATTOS, L.B. **Demanda de energia elétrica no Estado de Minas Gerais: 1970-2002**. 2004. 132 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

MATTOS, L.B.; LIMA, J.E. Demanda residencial de energia elétrica em Minas Gerais: 1970 - 2002. **Nova Economia**, Belo Horizonte, MG, v.15, n.3, p. 31-52, set./dez. 2005.

MATTOS, L. B.; REIS, B. S.; LIMA, J. E. LIRIO, V. S. Demanda de energia elétrica pelo setor comercial em Minas Gerais: 1970-2002. **Informe GEPEC**, v. 10, n. 01, p. 9-27, 2006.

MINISTÉRIO DA FAZENDA (várias datas). **Receita dos Estados - Arrecadação de ICMS (total nacional)**. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries>. Acesso em 16 set. 2011.

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

NAKANE, M. I. Sazonalidade, demanda e inflação de serviços. **Informações FIPE**, n. 330, mar. 2008. Disponível em: http://www.fipe.org.br/publicacoes/downloads/bif/2008/3_indice330.pdf. Acesso em 15 out. 2011.

PHILLIPS, P.; PERRON, P. Testing for a unit root in time series regression. **Biometrika**, v. 75, n. 2, p.335-346, jun. 1988.

PIRES, J.C.L. O Processo de Reformas do Setor Elétrico Brasileiro. **Revista do BNDES**. Rio de Janeiro, v. 6, n. 12, p. 137-168, dez. 1999.

PIRES, J. C. L.; GOSTKORZEWICK, J.; GIAMBIAGI, F. O cenário macroeconômico e as condições de energia elétrica no Brasil. **Textos para Discussão** n. 85, BNDES. Rio de Janeiro, mar. 2001.

PIRES, J.C.L; GIAMBIAGI, F.; SALES, A.F. As Perspectivas do Setor Elétrico após o Racionamento. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 18, p. 163-204, dez. 2002.

SAIKKONEN, P.; LÜTKEPOHL, H. Testing for a unit root with a time series with a level shift at unknown time. **Econometric Theory**. Cambridge: v. 18, n. 02, p. 313-348, abr. 2002.

SCHMIDT, C.A.J., LIMA, M.A. A Demanda por Energia Elétrica no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**. Rio de Janeiro, v. 58, n. 1, p. 67-99, 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** , v. 19, n. 4, p. 493-513, out. 1997.

SILVA, S.M. **Análise Econométrica da Demanda de Energia Elétrica nos Setores Residencial-Urbano e Rural do Brasil, 1970/1999**. 2001. 63 p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

SIMS, C. A. Are forecasting models usable for policy analysis? **Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review** , v. 10, n. 01, p. 2-16, winter/1986.

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

VARIAN, H. R. **Intermediate Microeconomics: A Modern Approach**. New York: Norton & Company, 1993, 3rd ed. 652 p.

VARIAN, H. R. **Microeconomic Analysis**. 3rd ed. New York: W. W. Norton & Company, 1992. 506p.