

## **UM MODELO PARA PROJEÇÕES PARA DEMANDA POR ENERGIA ELÉTRICA, 2009-2017 PARA O SETOR RESIDENCIAL NO BRASIL**

Gustav Ives Mendes Nicácio Viana<sup>1</sup>

Alexandre Lima Marques Silva<sup>2</sup>

### **RESUMO**

A estimação da curva de demanda propicia um instrumental que permite a realização de projeções futuras, as quais por sua vez, permitem verificar se a capacidade instalada de energia atende adequadamente a expectativa de demanda por este produto. Pelo conceito de Co-integração, foi estimado o Modelo de Correção de Erro (VEC), utilizado para projetar o consumo para o período de 2009-2017. Através dos resultados alcançados, o consumo de energia por parte do setor residencial se mostra crescente, mas a uma taxa decrescente, sendo influenciado pela maior eficiência do consumo (comportamento por parte do consumidor pós-acionamento e utilização de equipamentos mais eficientes quanto ao uso da energia elétrica).

Palavras-chave: Co-integração, Vetores Auto-regressivos, Previsões, Energia Elétrica.

---

1 Av. Durval de Góes Monteiro, 4354 - Tabuleiro dos Martins Maceió – AL, CEP – 57081-285 – (82) 3328-2482. E-mail: Gustav@click21.com.br

2 Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins - Maceió - AL, CEP: 57072-970 - (82) 3214-1081. E-mail: almsilva@gmail.com



## ABSTRACT

The estimation of the demand curve provides an instrument that allows the realization of future projections, to check if the installed energy capacity adequately meets the expected demand for this product. Under the concept of Co-integration, we estimated the model error correction (VEC), used to project consumption for the period 2009-2017. Through the results, the energy consumption by the residential sector is showing increasing but at a decreasing rate, and was influenced by the efficiency of consumption (consumer behavior on the part of the post-rationing and the use of more efficient equipment that uses electricity).

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1. Considerações Iniciais

A produção de energia elétrica adequada à demanda constitui um fator relevante para a manutenção de taxas de crescimento do produto de uma economia. A afirmativa decorre do fato deste segmento produtivo se constituir num dos componentes de infra-estrutura de uma região. Em seu Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica, o Ministério das Minas e Energia – MME coloca que, considerando o âmbito nacional, a tendência apresentada pela demanda por energia supera a capacidade de geração do país, MME/EPE (2007).

Um segundo aspecto que corrobora a afirmativa precedente constitui no fato de muitos Estados terem revelado preocupação com a elevação de suas bases geradoras; sendo isto evidente na realização de fóruns nacionais, compostos por agentes ligados diretamente à questão energética como o Operador Nacional de Sistema - ONS, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Ministério de Minas e Energia - MME, para discutir medidas e definir metas para o setor no Brasil.

Com relação à capacidade de geração de energia, o Brasil apresenta potencialidades em alguns segmentos que o faz destacar-se no ramo de energia renovável. Mais especificamente, o país apresenta diversificada pauta de geração de eletricidade, concentrando 45% desse total em fontes renováveis. Por outro lado, dos 55% restantes, 45% é proveniente do petróleo e derivados MME (2008a).

Considerando este contexto de potencialidade de produção em diversos segmentos versus tendência de insuficiência na oferta, este estudo pretende estimar o comportamento da Curva de Demanda Residencial por energia elétrica para o País e identificar seu comportamento no tempo.

## 1.2. Objetivos

Mais especificamente, o objetivo deste trabalho compreende a estimação e análise da evolução do consumo de energia elétrica para o setor residencial no Brasil de 1975 a 2006, partindo de abordagens feitas por MODIANO (1984) e ANDRADE e LOBÃO (1997), que estimaram esses parâmetros por meio de Vetores Auto Regressivos e Modelo de Correção de Erros, na tentativa de captar a sensibilidade da função demanda dos setores a preço e renda.

Cabe mencionar a importância desses parâmetros para o planejamento de políticas públicas no setor energético, já que eles captam a reação dos usuários desse serviço à tarifação<sup>3</sup> e à renda, e tais variáveis apresentam variabilidade no período analisado. Seguindo os resultados alcançados por outros trabalhos que abordam essa mesma questão, é de se esperar que a elasticidade preço seja inelástica, mas próxima a 1. Neste aspecto, essas elasticidades contribuiriam para o melhor direcionamento de ações políticas, que neste caso passariam pelo aumento de preços, caso houvesse a busca da redução do consumo de energia.

## 2. CONCEITOS TEÓRICOS

### 2.1. Considerações Iniciais

No trabalho realizado por TAYLOR (1975), pelo levantamento de estudos anteriores, se destaca a princípio a possibilidade de representação da curva de demanda por energia como sendo um problema de maximização de utilidade pelo agente. No entanto, o indivíduo consumidor não está diante de um preço único, mas de uma tabela de preços em que a eletricidade pode ser adquirida em blocos de preços marginais decrescentes. Existem alguns bens que possuem particularidades quanto à relação preço e quantidade demandada, o que dificulta a especificação de suas demandas.

---

3 No modelo a tarifa é representada como sendo o preço do acesso ao consumo de energia



O autor conclui que uma boa especificação quanto à variável preço (tarifa), é a utilização dela marginal ou média.

No que se refere aos métodos de estimação, como destacado em SIQUEIRA, CASTELAR, CORDEIRO (2006), até 1970, as elasticidades eram estimadas por meio de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Posteriormente, os estudos passariam a incorporar a teoria de co-integração e a metodologia apresentada em ENGLE e GRANGER (1987), incluindo o Modelo de Correção de Erros na modelagem de Vetores Auto Regressivos. Segundo os autores, se as variáveis são co-integradas, os estimadores de MQO dos coeficientes na regressão de co-integração, embora consistentes, são não eficientes e as estimativas baseadas na inferência por meio da estatística- $t$  são não confiáveis. A modelagem por VAR<sup>4</sup> considera que as variáveis em questão são determinadas endogenamente não havendo variáveis exógenas neste sistema, GUJARATI (2006). A preocupação em relação à existência de simultaneidade diz respeito à possibilidade dela existir entre a variável  $C_t$  - consumo de energia e a variável  $T_t$  - tarifa média.

De acordo com MODIANO (1984), em seu trabalho Elasticidade Renda e Preço da Demanda para o Brasil, o autor estima o comportamento do consumo para quatro setores: residencial, comercial, industrial e também outros. Em seus resultados foram estimadas as elasticidades de longo prazo utilizando a modelagem por MQO<sup>5</sup>, pressupondo primeiro que o ajustamento do consumo a demanda é instantâneo e segundo que esse ajustamento se dá de forma parcial para os três setores. Respectivamente, para os setores residencial, comercial e industrial com ajustamento parcial, têm-se os seguintes resultados: -0,403; -0,183 e -0,222; para tarifa. 1,13; 1,068; 1,360 para renda.

No trabalho intitulado Elasticidade Renda e Preço da Demanda Residencial de Energia Elétrica no Brasil de ANDRADE e LOBÃO (1997), os autores estimam este comportamento para os anos de 1963-1995, e buscam fazer uma previsão para o consumo residencial até 2005. A modelagem envolve o modelo de Vetores Auto Regressivos (VAR) e Vetor de Correção de Erros (VEC). Deve-se ressaltar que no caso de modelagem de séries temporais não estacionárias, esse método é o que fornece o tratamento estatístico e econométrico mais indicado. Por fim, as elasticidades de longo prazo

---

4 O termo auto-regressivo se dá pelo fato da defasada da variável dependente aparecer do lado direito e o termo vetorial por tratarmos e um vetor de uma ou mais variáveis.

5 Mínimos Quadrados Ordinários

alcançadas para tarifa, renda e preço foram: -0,05084; 0,2132 e -0,1864 respectivamente. O modelo em questão para estimação do comportamento do consumo teve como variáveis determinantes: renda (*Proxy* PIB *per capita*), preço (*Proxy* tarifa média residencial) e preço dos eletrodomésticos (*Proxy* IPA-OG<sup>6</sup>). Neste caso, a elasticidade renda capta os efeitos que a renda exerce sobre a aquisição do serviço, bem como sobre a aquisição de bens intensivos em energia, afetando o estoque, caracterizando os efeitos diretos e indiretos da renda sobre a demanda.

No trabalho Demanda por Energia Elétrica no Brasil de SCHMIDT e LIMA (2004), o modelo engloba as mesmas variáveis propostas pelo trabalho anterior, diferindo no caso da *Proxy* para renda do setor residencial, sendo a renda deste setor representada pelo “rendimento médio do trabalhador assalariado principal”. Da mesma forma que Andrade e Lobão, utilizam-se da modelagem VAR-VEC e estimam com base em dados de 1969-1999 o comportamento do consumo para os anos de 2001 a 2005. Por fim, as elasticidades de longo prazo traçadas por este trabalho são respectivamente para tarifa, renda e preço dos eletrodomésticos: -0,085; 0,539 e -0,148. Os autores ainda estimam o comportamento do consumo de energia para outros dois setores: comercial e industrial, acrescentando a este último setor a variável “substitutos da energia”, que tem como *Proxy* a variável combustíveis e lubrificantes. As elasticidades tarifa, renda e preço dos bens intensivos em energia para estes dois últimos setores são respectivamente: -0,174; 0,636 e -0,294 para o setor comercial. Para o setor industrial tem-se: -0,545; 1,916; -0,465 e para a variável substitutos da energia, -0,027.

Os resultados alcançados pelo trabalho de MATTOS e LIMA (2005), Demanda Residencial de Energia Elétrica em Minas Gerais para o setor residencial de 1970-2002, foram: -0,258; 0,532 e -0,146 para tarifa, renda e preço dos eletrodomésticos. O modelo utilizado foi VAR-VEC e por apresentar em sua base de dados os anos posteriores a 2000 (período do racionamento), foi incorporada a variável *Dummy* binária. Os autores concluem pela afirmativa de que a elasticidade-preço da demanda é inelástica.

Conforme LEITE (2006), no trabalho Projeções para a Demanda por Energia Elétrica no Brasil 2006-2015, o autor se utiliza da mesma metodologia dos trabalhos anteriores, baseadas em VAR-VEC e também utiliza o método ARIMA. Essa metodologia permite que valores futuros de uma série sejam previstos tomando por base apenas seus valores presentes e

passados. As elasticidades de longo prazo para dados agregados do Brasil de 1966-2005 baseadas na modelagem de vetores auto-regressivos foram: -0,90 e 1,18 para tarifa e renda respectivamente.

Para o âmbito regional, o trabalho de SIQUEIRA *et al.* (2006) busca estimar o comportamento do consumo para o nordeste de 1969-2004, além de contribuir com uma metodologia apropriada para estudos que venham a incorporar em sua base os anos do racionamento, 2001 e 2002. O modelo utilizado pouco difere do utilizado por SCHMIDT e LIMA (2004); exceto pela introdução da variável *dummy* de intercepto não-binária. Os presentes autores, da mesma forma que os trabalhos anteriormente citados, modelam o consumo por energia através dos métodos clássicos e por VAR/VEC. Quanto às elasticidades tarifa, renda e preço dos bens intensivos em energia para o setor residencial, tem-se: -0,412; 1,400 e -0,672. Para o setor comercial: -0,502; 1,019 e para o setor industrial: -0,982; 1,181; -0,471.

O trabalho Previsão da Demanda por Energia Elétrica para Classes de Consumo na Região Nordeste, usando Ols Dinâmico e Mudança de Regime de IRFFI, CASTELAR, SIQUEIRA (2009), vai contribuir com estimação do consumo de energia elétrica para o nordeste empregando, além dos modelos citados anteriormente, os modelos de Mínimos Quadrados Ordinários Dinâmicos – DOLS, e Modelo de Mudança de Regime, para o período de 1970 a 2003. As elasticidades de longo prazo para o nordeste nos três setores residencial, comercial e industrial respectivamente foram, para tarifa e renda: -0,5043; 0,8767 (MR) e -0,6872; 0,6840 (DOLS). Para o setor comercial: -1,2017; 1,4288 (MR) e -0,9752; 1,1028 (DOLS). Para o setor industrial: -1,0708; 1,2040 (MR) e -3,7064; 1,2071 (DOLS). Os resultados das previsões apresentadas por estes dois modelos para 2004 a 2006 se mostram bastante precisos em relação a outros métodos para as classes residencial e comercial.

Dessa forma, em resumo, apresenta-se na tabela abaixo, através dos dados da pesquisa, o comportamento das elasticidades de longo prazo para tarifa e renda de acordo com os trabalhos supracitados, para o caso do setor residencial.

Tabela 1 - Resumo das Elasticidades de Longo Prazo

<b>Estudos</b>	<b>Período</b>	<b>Elasticidade Preço</b>	<b>Elasticidade Renda</b>
1. Brasil		Residen.	Residen.
1.1 Modiano (1984)*	1963-1981	-0,403	1,13
1.2 Andrade e Lobão (1997)	1970-1995	-0,0504	0,2132
1.3 Schmidt e Lima (2004)	1969-2000	-0,085	0,539
		Setores Agregados	Setores Agregados
1.4 Leite (2006)	1980-2003	-0,9	1,18
2. Regional		Residen.	Residen.
2.1 Siqueira et al. (2006)	1970-2002	-0,412	1,4
2.2 Mattos (2004)	1970-2002	-0,258	0,532
2.3 Mattos e Lima (2005)	1970-2002	-0,258	0,532
2.4 Irfi et al. (2009)**	1970-2002	-0,5043	0,8767

(\*)Estimativas por MQO

(\*\*)Estimativas por MR

Observa-se que as elasticidades para o período anterior ao racionamento são menores que as elasticidades do período posterior. Dessa forma, espera-se que os valores para as elasticidades preço da demanda para o presente trabalho sejam maiores que as elasticidades estimadas para o período anterior ao racionamento<sup>7</sup>.

Na tabela abaixo, pelos dados da pesquisa, encontram-se o resumo das *proxies* utilizadas por outros trabalhos:

---

7 Maiores discussões, ver pág. 16.



Tabela 2 - Resumo das Proxies para o Setor Residencial

Estudos	Variáveis		
	Renda - Y	Tarifa - T	Preço - P
Modiano (1984)	PIB PC	Tarifa Média do Setor	-
Andrade e Lobão (1997)	PIB PC	Tarifa Média do Setor	Índice Real de Preço dos Eletrodomésticos
Schmidt e Lima (2004)	Rendimento Médio Real (assalariado principal)	Tarifa Média do Setor	IPA-DI (bens de consumo duráveis)
Leite (2006)	PIB	Tarifa Média do Setor	IGP-DI
Siqueira <i>et al.</i> (2006)	PIB NE PC	Tarifa Média do Setor	IPA-OG (eletrodomésticos)
Mattos e Lima (2005)	PIB MG PC	Tarifa Média do Setor	Índice Real de Preço dos Eletrodomésticos
Irffe <i>et al.</i> (2009)	PIB NE PC	Tarifa Média do Setor	IPA-OG (eletrodomésticos)

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Considerações sobre a Demanda por Energia Elétrica

TAYLOR (1975) destaca que, apesar de o comportamento do consumo de energia se aproximar de um problema de utilidade, *a priori*, existem razões para que o comportamento da demanda por energia não possa ser representado desta forma. Para o autor, o indivíduo consumidor não está diante de um preço único, mas de uma tabela de preços em que a eletricidade pode ser adquirida em blocos de preços marginais decrescentes. Existem alguns bens que possuem particularidades quanto à relação preço e quantidade demandada, dificultado a especificação de suas demandas. Essas especificidades abrem espaço para que se discuta a utilização de preços marginais ou médios. Para TAYLOR (1975), a especificação mais correta para uma função de demanda de um bem que possui preços em bloco é a que engloba preços marginais e médios.

Em MATTOS (2005), estudos para o Brasil vêm aplicando a variável preço médio nas estimações, primeiro em função da não disponibilidade de obtenção da tarifa marginal, e segundo que é de conhecimento do consumidor a tarifa média, quando este decide alterar seu padrão de consumo

de energia. Para os demais setores, seu comportamento é melhor descrito como sendo representado por uma função de minimização de custos. Contudo, como para qualquer das classes a demanda por energia elétrica surge da necessidade de se fazer um aparelho ou equipamento funcionar, ela pode ser melhor classificada como um fator que participa da atividade produtora de bens, SCHMIDT e LIMA (2004), e a representação desta função demanda derivada, pode ser melhor dada em (1)<sup>8</sup>:

$$\text{Log}C_t = \text{Log}k + \beta \text{Log}Y_t + \beta_2 \text{Log}T_t + \beta_3 \text{Log}P_t + \beta_4 \text{Log}S_t \quad (1)$$

onde:

$C_t$  é o consumo (residencial, comercial, Industrial), de energia elétrica no tempo;

$k$  é uma constante.

$Y_t$  é a renda (PIB *pc* para o setor residencial, PIB industrial para o setor industrial e PIB serviços para o setor comercial);

$T_t$  é a tarifa (residencial, comercial, Industrial), de energia elétrica no tempo;

$P_t$  é o preço dos eletro-intensivos no tempo;

$S_t$  é o preço dos substitutos da energia elétrica no tempo (apenas inserido na função consumo industrial – *proxy*: combustíveis e lubrificantes);

$\beta$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  e  $\beta_4$  são as elasticidades renda, preço, preço dos eletro-intensivos e preço dos substitutos.

Quanto ao comportamento das variáveis em (1), esperamos que  $\beta$ ,  $\beta_4 > 0$  enquanto que  $\beta_2$ ,  $\beta_3 < 0$ . Em outras palavras, sendo a elasticidade renda e preço dos substitutos positiva, caracteriza uma elevação no consumo em detrimento de uma elevação destas variáveis e sendo as demais elasticidades negativas, caracteriza uma redução no consumo pela elevação de seus valores.

Para melhor tratar os aspectos da introdução da abordagem Log-Linear, considera-se o seguinte modelo de regressão exponencial:

$$Y_i = \beta_1 X_i^{\beta_2} e^{u_i} \quad (2)$$

<sup>8</sup> A função de demanda Cobb-Douglas foi utilizada por Modiano (1984), Andrade e Lobão (1997), Schmidt e Lima (2004), Siqueira et alii. (2006).



Tal expressão pode ser representada também por:

$$\ln Y_i = \ln \beta_1 + \beta_2 \ln X_i + u_i \quad (3)$$

Desta forma podemos elencar dois aspectos especiais do modelo log-linear: O primeiro diz respeito ao coeficiente de elasticidade entre  $Y$ ,  $X$  e  $\beta_2$ , permanecer constante que também é conhecido como modelo de elasticidade constante, em função de a média ser constante e a variância estável. O outro aspecto deste modelo é o termo de intercepto ser tratado de maneira secundária, não sendo necessário se preocupar em obter sua estimativa não-tendenciosa.

### 3.2. Descrição da Metodologia

Alguns trabalhos que tratam da estimação do consumo por energia elétrica utilizaram métodos clássicos<sup>9</sup>, com o intuito de comparar os resultados e a modelagem de Vetores Alto Regressivos – VAR. Este último baseado no procedimento de JOHANSEN (1988) e JOHANSEN e JUSELIUS (1990) para identificar os coeficientes de co-integração.

Ao lidarmos com estimações por métodos clássicos, particularmente MQO, se faz necessário saber se há alguma relação de simultaneidade entre as variáveis. Em alguns modelos há presença de uma única variável dependente  $y$  e uma ou mais variáveis independentes  $x$ . Neste caso, busca-se a estimação ou previsão do valor médio de  $y$  condicionado a valores fixos de  $x$ . Em outras palavras, a relação causa e efeito vai de  $x$  para  $y$ . A questão é que nem todos os modelos apresentam este comportamento de uma única variável dependente. Isso ocorre quando  $y$  é determinado por alguns desses  $x$  e algum destes  $x$  forem determinado por  $y$ , havendo alguma relação de mão dupla ou simultaneidade. No caso da utilização de MQO desconsiderando a presença de simultaneidade, há de se ter estimadores inconsistentes e viesados<sup>10</sup>, ou seja, à medida que a amostra se expande indefinidamente, os estimadores não irão convergir para seus verdadeiros valores.

Em se identificando simultaneidade entre as variáveis, teremos mais de uma equação representativa e todas estas variáveis devem ser tra-

<sup>9</sup> Os métodos clássicos a que nos referimos são MQO – Mínimos Quadrados Ordinários e IV – Variáveis Instrumentais

<sup>10</sup> Um dos pilares do MQO é que as variáveis explanatórias  $x$  são não estocásticas, ou se estocásticas, são independentes do termo de erro estocástico. Caso estas premissas não sejam respeitadas, encontramos problemas como os descritos.

tadas igualmente. A modelagem por VAR<sup>11</sup> considera que as variáveis em questão são determinadas endogenamente não havendo variáveis exógenas neste sistema, GUJARATI (2006). A preocupação em relação à existência de simultaneidade diz respeito à possibilidade dela existir entre a variável  $C_t$  - consumo de energia e a variável  $T_t$  - tarifa média. Neste caso, acredita-se que o consumo é determinado pela tarifa, mas existe a possibilidade da tarifa ser determinada pelo consumo.

### 3.3. Base de Dados

A princípio a base de dados poderia assumir três periodicidades: anual, a qual é adotada neste trabalho, trimestral e mensal. Com relação aos dados trimestrais, não havia de fato disponibilidade para a variável tarifa média. Na questão dos dados mensais, havia disponibilidade para as variáveis em questão, todavia a série seria iniciada apenas a partir de 1990. Até então seria possível trabalharmos com esta periodicidade, no entanto como o presente trabalho, em conformidade com planos decenais, realizar-se-á previsões cujo horizonte é de longo prazo, não seria factível se utilizar séries mensais. Além disso, como resultados anteriores alcançados foram obtidos com séries anuais, pode-se utilizar destes resultados como referência para as estimativas a serem alcançadas neste trabalho. Dessa forma, a utilização de séries anuais torna-se a melhor escolha.

Abaixo, na Tabela 3, por meio dos dados da pesquisa, encontra-se, em resumo, a definição e as respectivas fontes, além do tratamento dado as variáveis relevantes:

Tabela 3 - Fonte e Dados Utilizados

Variáveis (série anual 1975-2006)		Fontes e Tratamento
Caso Residencial		
C	Consumo Residencial Total (MWh)/População	Eletrobrás in IPEA
Y	PIB per capita (milhões) preços 2008	IBGE - Contas Nacionais in IPEA
T	Tarifa Média Residencial (MWh) preços 2008	Eletrobrás in IPEA - Deflator IGP-DI - FGV in IPEA
P	IPA-OG (eletrodomésticos) preços 2008	FGV/Conju. Econômica in IPEA - Deflator IPA-DI

11 O termo auto-regressivo se dá pelo fato da defasada da variável dependente aparecer do lado direito e o termo vetorial por tratarmos e um vetor de uma ou mais variáveis.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO (SETOR RESIDENCIAL)

Para a estimação do comportamento da demanda por energia, foi aplicado inicialmente o logaritmo sobre os valores apresentados pelas variáveis renda, preço dos intensivos em energia elétrica, tarifa e consumo, além de uma *dummy* que tentará suavizar os efeitos ocasionados ao consumo pelo racionamento.

Posteriormente foram feitos testes de Raiz Unitária para verificar se as séries são estacionárias. Em se identificando pelo referido teste que as séries apresentam este comportamento, poderá então proceder-se o teste de co-integração. No geral, as séries econômicas são estacionárias de ordem I(1).

Tabela 4 - Teste de Raiz Unitária

Variável em Log	Termos da Equação	Número de Defasagens*	Estatística do Teste ADF	Valor Crítico	
				5%	1%
$\Delta C_{res}$	Constante e Tendência	0	-3,8297	-3,5683	-4,2967
$\Delta T_{res}$	Constante e Tendência	0	-6,6742	-3,5683	-4,2967
$\Delta P_{res}$	Constante e Tendência	0	-5,2282	-3,5683	-4,2967
$\Delta Y_{res}$	Constante e Tendência	4	-6,2208	-2,9810	-3,7114

(\*) foi utilizado o número de defasagens que minimizou o Critério de Informação de Schwarz.

Dessa forma, são apresentados em resumo os resultados em primeira diferença na tabela acima, formulada através dos dados da pesquisa. As séries são estacionárias ao nível de 1% e 5%, exceto para o caso do consumo que aceita a hipótese de presença de raiz unitária ao nível de 1%. Com isso, podemos afirmar que as séries são I(1) ao nível de 5% e é possível que sejam co-integrantes.

Assim como para o teste de identificação de Raiz Unitária há necessidade da correta determinação do número de defasagens, o mesmo será feito para a determinação do número de defasagens para o teste de co-integração, além da presença de termos determinísticos, como a presença de uma variável *dummy*. Será utilizado o critério de decisão pelo número de defasagens que minimizou os Critérios de Informação de Schwarz e de

Hannan-Quinn para a determinação do número de defasagens do VAR. Na tabela abaixo, através dos resultados da pesquisa, encontra-se o resumo destes resultados.

Tabela 5 - Definição do Número de Defasagens do VAR

Defasagens	AIC	HQIC	SBIC
0	-2.165	-2.047	-1.788
1	-10.070	-9.715*	-8.938*
2	-10.251	-9.661	-8.367
3	-10.404*	-9.578	-7.763

Obs: AIC – Akaike, SBIC – Schwarz e HQIC – Hannan-Quinn

(\*) Menores Valores

Posteriormente, realizou-se o teste proposto por JOHANSEN (1988), com o objetivo de encontrar, caso exista, uma relação de longo prazo entre as variáveis e o(s) vetor (es) de co-integração. Para tanto, baseou-se nos dois testes desenvolvidos por JOHANSEN e JUSELIUS (1990), capazes de determinar o número de vetores de co-integração. São eles  $\lambda_{\text{trace}}$  e o teste do máximo autovalor (*eigenvalue*). Abaixo nas Tabelas 6 e 7, por meio dos dados da pesquisa, resumem-se os resultados destes testes.

Tabela 6 - Teste  $\lambda_{\text{trace}}$  para Co-integração

Hipótese nº Co-integrações	Estatística Traço	Valor crítico	
		1%	5%
Nenhuma	76.42459	71.47921	63.87610
No máximo 1	41.76389	49.36275	42.91525
No máximo 2	21.21403	31.15385	25.87211
No máximo 3	2.581015	16.55386	12.51798

Tabela 7 - Teste de Autovalor para Co-integração

Hipótese nº Co-integrações	Estatística Máx-Eigen	Valor crítico	
		1%	5%
Nenhuma	34.66070	37.48696	32.11832
No máximo 1	20.54986	30.83396	25.82321
No máximo 2	18.63302	23.97534	19.38704
No máximo 3	2.581015	16.55386	12.51798



Com base nesses resultados, podemos afirmar que os sinais estão de acordo com o sugerido pela teoria econômica, e os coeficientes são significantes. Abaixo se apresenta esta relação.

$$C_t^{\text{res}} = 1,79Y_t^{\text{res}} - 0,707I_t^{\text{res}} - 0,701P_t^{\text{res}} - 0,064t \quad (4)$$

Na tentativa de melhor ajustar o modelo, foram feitas previsões *ex post* com o intuito de averiguar a capacidade de previsão do modelo. Por meio dos dados da pesquisa, os resultados se mostram na Tabela 8.

Tabela 8 - Previsão *ex post* (one-step ahead)

Período	Valores Observados (MWh)	Valores Previstos (MWh)	Diferença (MWh)	Diferença %
2007	90.940.000,00	91.205.763,28	265.763,28	0,29
2008	94.912.000,00	97.503.365,26	2.591.365,26	2,73

Tabela 9 - Estimação de  $\Delta C_t^{\text{res}}$

Variável Explicativa	Coefficiente	Teste de Qualidade	
$u_{t-1}$	-0.196981	R <sup>2</sup>	0,72
	(0.06359)	Teste LM	14,8 (0,539)
k	0.064002	Teste Normalidade	11,91 (0,152)
	(0.01034)	Heterocedasticidade	153,6 (0,406)
D	-0.132260	(White)	
	(0.02568)		

(\*) *p-value* em parênteses

Pelo VEC estimado, Tabela 9, a velocidade de ajustamento em relação ao equilíbrio de longo prazo é 0,197, ou seja, 19,70% do desequilíbrio de curto prazo em relação à trajetória de longo prazo é corrigido a cada período. Significa dizer que a classe Residencial levaria aproximadamente seis anos para ajustar a quantidade demandada dessa energia a eventuais choques nas tarifas e/ou na renda dos consumidores. Cabe ainda ressaltar que os resíduos do VEC estimados são normalmente distribuídos, homocedásticos e não-autocorrelacionados conforme mostram os testes do Multiplicador de Lagrange (LM) para correlação serial, White para Heterocedasticidade e o teste de Jarque-Bera para normalidade dos resíduos.

Tabela 10 - Construção dos Cenários

<b>Cenário 1: Alto crescimento do PIB e Tarifa</b>									
Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PIB	4%	4,5%	4,5%	5%	5,5%	5,5%	6%	6%	6%
Tarifa	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
População	0,99%	0,93%	0,87%	0,82%	0,77%	0,73%	0,70%	0,67%	0,64%
<b>Cenário 2: Intermediário Crescimento do PIB e Tarifa</b>									
Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PIB	4%	4%	4%	4%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%
Tarifa	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%
População	0,99%	0,93%	0,87%	0,82%	0,77%	0,73%	0,7%	0,67%	0,64%
<b>Cenário 3: Baixo Crescimento do PIB e Tarifa</b>									
Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PIB	4%	3%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%
Tarifa	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
População	0,99%	0,93%	0,87%	0,82%	0,77%	0,73%	0,70%	0,67%	0,64%

OBS: Para a tarifa, considerou-se uma recuperação alta, média e baixa a depender do crescimento observado pelo PIB. Para a variável preço dos intensivos, manter-se-ão constantes em valores de 2008.

Com base em (4) e nas projeções contidas na Tabela 10, elaborada em consonância com o Plano Decenal de Energia e pelas estimativas populacionais do IBGE, foi possível alcançar os resultados contidos na Tabela 11, que se referem às previsões para o período de 2009-2017:

Tabela 11 - Previsões e Comparações – Setor Residencial (*one-step ahead*)

<b>Valores Previstos</b>				<b>Diferença %</b>		
Cenário 1 (GWh)	Cenário 2 (GWh)	Cenário 3 (GWh)	EPE (GWh)	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
105.213,35	105.213,35	105.213,35	101.868	3,28	3,28	3,28
114.610,82	114.610,82	114.610,82	107.591	6,52	6,52	6,52
122.310,22	122.310,22	122.234,29	113.408	7,85	7,85	7,78
128.463,03	128.463,03	128.103,71	119.341	7,64	7,64	7,34
133.383,40	133.267,67	132.550,89	125.443	6,33	6,24	5,67
137.397,63	136.965,37	135.694,25	131.733	4,30	3,97	3,01
140.479,11	139.689,73	137.603,42	138.221	1,63	1,06	-0,45
142.656,75	141.575,82	138.473,29	144.907	-1,55	-2,30	-4,44
144.074,86	142.748,31	138.470,19	151.907	-5,16	-6,03	-8,85

OBS: Os valores da EPE correspondem às previsões geradas em MME/EPE (2008b).

Abaixo seguem os gráficos com os valores previstos acima de forma a melhor visualizar o comportamento destes resultados:

Gráfico 1: Valores Previstos 2009-2017 para o Setor Residencial

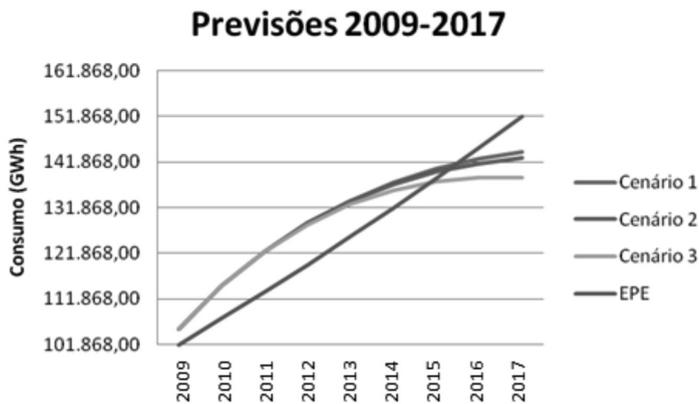


Gráfico 2: Evolução do Consumo Residencial 1975-2017



Como observado anteriormente, a elasticidade apresentada pela variável tarifa se mostrou elevada em relação a outros trabalhos, evidenciando que, ao contrário das conclusões de trabalhos pré-acionamento, a elasticidade preço da demanda é mais elástica. Neste aspecto, é provável



que o comportamento dos consumidores da classe residencial tenha sido alterado pela política de racionamento e tal comportamento tenha sido mantido. Neste caso, mesmo após a retirada da política, os consumidores desta classe reajustaram seu comportamento refletindo-se no consumo de energia. Também cabe mencionar o peso que a elasticidade renda exerce sobre o consumo residencial. Tal variável apresentou maior elasticidade em relação a trabalhos anteriores, em função das políticas de crédito ou mesmo transferências de renda governamentais que possam ter impactado de maneira positiva sobre o consumo de energia. É interessante notar que, como tratado em Andrade e Lobão (1997), a elasticidade renda capta os efeitos que a renda exerce sobre a aquisição do serviço bem como sobre a aquisição de bens intensivos em energia, afetando o estoque, caracterizando os efeitos diretos e indiretos da renda sobre a demanda. Neste caso, em havendo alteração no comportamento dos preços dos eletrodomésticos (preços administrados e controle inflacionário), bem como alterações nas tarifas cobradas ou mesmo na própria variável renda (elevação do crédito ou transferências de renda governamentais), poderíamos ter significativos efeitos sobre a elasticidade renda, que foi o que se observou. Outro ponto é o papel que a variável preço dos eletrodomésticos exerce sobre o consumo. Esta variável também apresenta significativa elasticidade e seus efeitos sobre o consumo de energia são significativos. Desta forma, o consumo se mostra convergindo para tendência de longo prazo onde o hábito dos consumidores é retomado, mas com a imagem não muito distante do racionamento imposto.

Assim como também tratado em Siqueira *et al* (2006), as elasticidades variam no tempo a depender do âmbito dos estudos, da periodicidade dos dados e da abrangência destes, e que o racionamento influencia as suas estimativas, onde nenhum dos estudos citados anteriormente incorporou seus efeitos na determinação das elasticidades (estudos pré-acionamento). Ao analisar-se a curva de demanda por energia para o presente caso, observa-se um crescimento, mas à taxa decrescente, diferentemente do comportamento linear mostrado pelos resultados da EPE. De acordo com os resultados deste trabalho, o consumo de energia mantém-se crescente, mas espera-se uma maior eficiência quanto a esse consumo. Após a introdução da política de racionamento (re-tarifação e corte no consumo de energia), houve mudanças no comportamento consumidor para as três classes, e essas mudanças foram mais significativas para classe residencial, ao se considerar que é mais fácil para uma família reajustar seu consumo de



energia, adquirindo eletrodomésticos que consumam menos energia (pela metodologia do INMETRO, onde os aparelhos possuem tarjas que discriminam seu consumo de energia – equipamentos mais eficientes), utilizando lâmpadas fluorescentes ao invés das incandescentes, desligando a luz de certo cômodo da casa, onde ninguém esteja necessitado de iluminação naquele momento, por exemplo; do que uma firma incorrer em mudanças na matriz de produção pela substituição ou redução da utilização de uma determinada fonte de energia por outra.

Desta forma, é plausível acreditar que, apesar de crescente o consumo de energia elétrica, em função do crescimento populacional, da renda, universalização do consumo de energia por meio de políticas públicas, pelo que mostra os resultados, a taxa de crescimento é decrescente (não linear). Acredita-se que antes do racionamento o consumo era ineficiente e, atualmente, houve uma correção (via alteração nas tarifas, incentivando os consumidores a encontrar meios de reduzir seu peso sobre sua dotação orçamentária) e as famílias, mesmo consumindo menos energia, não tiveram perda de utilidade (continuam satisfazendo suas necessidades utilizando menos energia).

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após identificar que as séries temporais das variáveis estudadas são não-estacionárias, optou-se pela utilização do conceito de Co-Integração. Para isso, foram adotados os procedimentos e testes desenvolvidos por JOHANSEN (1988) e ainda JOHANSEN e JUSELIUS (1990), com o intuito de estabelecer as relações de co-integração entre as variáveis. Em seguida, foram estimados os Modelos de Correção de Erros Vetoriais (VECM) que foram usados para projetar o consumo de energia elétrica para o período 2009-2017.

No geral as estimativas foram boas, visto que os sinais se enquadraram dentro do que a teoria sugere e os parâmetros estimados foram estatisticamente significativos.

Para os procedimentos a fim de se projetar valores para o consumo de energia, foram construídos cenários baseados em estimativas do IBGE e MME/EPE para o período de 2009-2017 para as três classes de estudo a âmbito nacional.

As previsões para o setor residencial mostram que o consumo é crescente, mas à taxa decrescente, evidenciado pelo maior peso que a tarifa passa a ter sobre o consumo de energia, além do significativo efeito exercido pela variável preço dos eletrodomésticos. Após a introdução da política de racionamento (re-tarifação e corte no consumo de energia), houve mudanças no comportamento consumidor para as três classes, e essas mudanças foram mais significativas para classe residencial, já que é mais fácil para o consumidor deste setor ajustar-se à nova dinâmica de consumo: (pela metodologia do INMETRO, onde os aparelhos possuem tarjas que discriminam seu consumo de energia – equipamentos mais eficientes), utilizando lâmpadas fluorescentes ao invés das incandescentes, desligando a luz de certo cômodo da casa, onde ninguém esteja necessitado de iluminação naquele momento, por exemplo.

Sendo assim, acredita-se que antes do racionamento o consumo era ineficiente e atualmente, houve uma correção via racionamento e as famílias, mesmo consumindo menos energia, não tiveram perda de utilidade (continuam satisfazendo suas necessidades utilizando menos energia).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, T.; LOBÃO, W. Elasticidade-renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil. Rio de Janeiro: IPEA, 1997. (Texto para Discussão, n. 489).

GUJARATI, Damodar N.; *Econometria Básica*. Editora Campus, 4ª edição, 2006

ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. Co-integration and error-correction: Representation, Estimation and Testing. *Econometrica*, v. 55, p. 251-76, 1987

IRFFI, Guilherme.; CASTELAR, Ivan.; SIQUEIRA, Marcelo Lettieri.; LINHARES, Fabrício Carneiro. Previsão da Demanda por Energia Elétrica para Classes de Consumo na Região Nordeste, usando OLS dinâmico e Mudança de Regime. *Economia Aplicada*, V.13, n. 1, p. 69-98, 2009.

JOHANSEN, S. Statistical analysis of cointegrating vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v.12, p. 231-254, 1988.

JOHANSEN, S., JUSELIUS, K. Maximun likelihood estimation and inference on cointegration, with application to the demand for money. *Oxford Bulletin*



tin of Economics and Statistics, v.52, p.169-210, 1990.

LEITE, Sidimar Quezada. Projeções para a Demanda por Energia Elétrica para o Brasil: 2006-2015. Tese (Mestrado) – IBMEC, Rio de Janeiro, 2006, p. 51.

MATTOS, Leonardo Bornacki.; Demanda Residencial de Energia Elétrica em Minas Gerais: 1970 a 2002. Tese (Mestrado) – UFV, Minas Gerais, 2004, p. 132.

\_\_\_\_\_, Uma Estimativa da Demanda Industrial de Energia Elétrica no Brasil: 1974-2002. Organ. rurais agroind., Lavras, v. 7, n. 2, p. 238-246, 2005.

MATTOS, Leonardo Bornacki.; LIMA, João Eustáquio de. Demanda Residencial de Energia Elétrica em Minas Gerais: 1970 a 2002. Nova Economia, Belo Horizonte, V.15, n. 3, p. 31-52, 2005.

MME/EPE - Ministério de Minas e Energia/ Empresa de Pesquisa Energética, Plano Decenal de Expansão de Energia 2007/2016, Brasília. 2007.

\_\_\_\_\_, Plano Decenal de Expansão de Energia 2008/2017, Brasília. 2008a.

\_\_\_\_\_, Projeções da Demanda de Energia Elétrica – Plano Decenal de Energia 2008/2017. Série Estudos da Demanda, Rio de Janeiro, Maio de 2008b.

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

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. M. A demanda por energia elétrica no Brasil. RBE, Rio de Janeiro, v. 58, n. 1, p. 67-98, 2004.

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, 2006.

TAYLOR, L. D. The demand for electricity: a survey. The Bell Journal of Economics, v.6, p.74-110, Spring 1975.