

**Eixo Temático: Inovação e Sustentabilidade**

**ESTUDO DAS INTERAÇÕES DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NAS  
CINCO REGIÕES BRASILEIRAS**

**STUDY OF THE ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION INTERACTION IN THE  
FIVE BRAZILIAN REGIONS**

Márcio Marcelo Gross e Adriano Mendonça Souza

**RESUMO**

O objetivo dessa pesquisa é analisar empiricamente as possíveis relações existentes no consumo de energia elétrica entre as cinco regiões geográficas do Brasil. O período de análise compreende dados agregados mensais de janeiro de 1979 até março de 2014 perfazendo um total de 423 observações para cada uma das cinco regiões do Brasil. Através do Sistema Interligado Nacional (SIN) sob responsabilidade do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) com fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é possível as transmissões entre subsistemas de praticamente todo o país. Em toda revisão de literatura realizada todos os estudos encontrados que tratavam do tema de energia elétrica analisavam apenas previsões da mesma, sendo que não foi encontrado nenhum estudo que se preocupasse em analisar as possíveis relações entre as regiões, analisando se o consumo de uma afeta o consumo da outra. Para alcançar esse objetivo será utilizado para analisar as séries temporais um modelo VAR/VEC e IFR.

**Palavras-chave:** Energia elétrica, Interações entre regiões, Séries temporais.

**ABSTRACT**

The main goal of this research is to empirically analyse the possible relations between the electric power consumption in the five geographic regions of Brazil. The period of analysis includes monthly aggregated data from January 1979 to March 2014, with number of 423 observations for each one of the five regions of Brazil. Under the ONS (National Operator of the Electric System) responsibility, through SIN (National Interconnected System), with fiscalization and regulation of ANEEL (National Agency of Electrical Energy) the transmissions between subsystems of all the country are possible. In every literary review made and in all of the found studies about the electrical energy subject, only forecasts were analysed, and no studies were found that cared about analysing the possible relations between the regions, and if one region consumption affects the other regions. To reach this objective a model VAR/VEC and IFR will be used to analyse the temporal series.

**Keywords:** Electrical energy, Interations between regions, Temporal series.

## 1 INTRODUÇÃO

No início dos anos 1990 o setor energético se encontrava com vários problemas, obras de construções de hidrelétricas paradas, a manutenção do sistema ficava cada vez mais ultrapassada, havia um setor que era usado para controle de preços e uma demanda crescente por energia. Sendo um setor crucial ao crescimento de qualquer país, a partir de 1995 novas medidas foram tomadas (HIROTA, 2006).

De acordo com a Constituição de 1988 em seus artigos 21º e 175º compete a União explorar, diretamente ou mediante autorização, concessão ou permissão os serviços e instalações de energia elétrica (BRASIL, 1988). Assim, com a Lei nº 9.427 de dezembro de 1996 foi criada a ANEEL, vinculada diretamente ao Ministério de Minas e Energia (MME), com a finalidade de regular e fiscalizar todas as fases do setor elétrico nacional (BRASIL, 1996).

Para aperfeiçoar o sistema, foi criado o ONS, uma pessoa jurídica de direito privado sob a forma de associação civil sem fins lucrativos, criado em 1998, órgão responsável pela coordenação do SIN, sob a fiscalização e regulação da ANEEL<sup>1</sup>.

Com o SIN, busca-se diminuir o risco do sistema como um todo, pois no caso de um dos subsistemas estar passando por dificuldades, o outro poderá suprir as necessidades de forma a aperfeiçoar a oferta de energia elétrica, lembrando que a energia elétrica não pode ser armazenada em larga escala, sendo que toda energia produzida em determinado tempo também precisa ser consumida no mesmo tempo.

Segundo dados do Banco Mundial, o Brasil em 2012 possuía um PIB de US\$ 2,233 trilhões se configurando como a sétima maior economia mundial, a economia brasileira está se recuperando da desaceleração do seu crescimento que caiu de 7,5% em 2010 para 2,7% em 2011 e apenas 0,9% em 2012. No período de 2003 à 2011 a pobreza caiu de 26,7% da população para 12,6% e a extrema pobreza diminuiu de 11,2% para 5,4% no mesmo período. Apesar da queda na pobreza o país ainda é um dos mais desiguais do mundo, com um Índice de Gini de 0,519 em 2011, o mais baixo nos últimos 50 anos (BM, 2014). Com esse perfil o Brasil é o nono maior consumidor de energia elétrica do mundo.

Esta pesquisa tem por objetivo determinar o comportamento do consumo de energia elétrica fornecida no Brasil e suas relações de consumo nas cinco regiões geográficas utilizando modelos econométricos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Outros autores já utilizaram modelos VEC para análise da interdependência, como Lamounier, Nogueira & Pinheiro (2006), Meurer e Pereira (2005) assim como os Bancos Centrais nas análises macroeconômicas (BACEN, 2014). Prado, Safadi e Silva (2014) utilizando modelos SARIMA onde previram a demanda para 2014 de energia elétrica da Universidade Federal de Lavras. Outro estudo isolado é o de Silva et al. (2013) que analisaram os gastos com energia da Universidade Federal do Semi-Árido, porém sem o uso de métodos quantitativos. Rodrigues e Batistela (2013) analisam a disponibilidade hídrica no Brasil, bem como a necessidade de geração de energia elétrica a qual vem tendo custos crescentes. Menezes et al. (2014) se utilizaram da técnica SSA não-paramétricas para realizar as previsões de energia elétrica. Percebe-se, que os estudos se concentram na previsão da demanda ou previsão de determinado tipo de energia para determinado local, mas não se detém nas possíveis relações entre as demandas das regiões brasileiras, o que é o caso desta pesquisa.

---

<sup>1</sup> O ONS foi criado em 27 de maio de 1998, pela Lei nº 9.648/98 (BRASIL, 1998), com as alterações introduzidas pela Lei nº 10.848/04 (BRASIL, 2004a) e regulamentado pelo Decreto nº 5.081/04 (BRASIL, 2004b).

A Tabela 1 sintetiza os principais dados de cada região geográfica brasileira com as principais informações energéticas de cada região. Ao analisar a Tabela 1 se percebe que a região sudeste apresenta os maiores índices, com a maior população também é a mais consome energia elétrica. As regiões norte e centro-oeste apresentam desempenho semelhante, com a região norte (565,5 KWh/mês) com um consumo total médio maior que a região centro-oeste (660,8 KWh/mês).

Tabela 1 – Principais informações energéticas das regiões geográficas do Brasil em 2012.

	População (mil)	Consumo capita (KWh/ano)	per Clientes totais (mil)	Consumo médio (KWh/ano)	total
<b>Norte</b>	16.335	1.778	4.284	565,5	
<b>Centro-Oeste</b>	14.482	2.121	5.555	460,8	
<b>Nordeste</b>	54.134	1.397	18.971	332,2	
<b>Sul</b>	27.849	2.783	10.920	591,5	
<b>Sudeste</b>	81.884	2.873	32.646	600,5	

Fonte: EPE (2013).

Através do SIN e do Ambiente de Contratação Livre (ACL), as empresas estabelecem entre si contratos bilaterais de compra e venda de energia com preços e quantidades livremente negociados, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos. Mesmo que cada empresa possua uma concessão determinada é possível existir a inter-relação entre elas; no caso de transmissão de uma estar deficitária, permitindo que essa deficiência seja suprida por outra empresa.

### 3. METODOLOGIA

Os dados utilizados na presente pesquisa estão disponíveis no site do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). A base de dados é mensal e compreende o período de janeiro de 1979 até março de 2014, representa o consumo agregado de energia elétrica em cada região do Brasil, sendo a unidade dos dados expressa em GWh.

Na aplicação de modelagens VAR é condição pressuposta de que as séries sejam estacionárias (MADDALA, 2003). A estacionariedade pode ser identificada pelo teste Dickey-Fuller Aumentado (DFA)<sup>2</sup>. Este teste pode ser usado para o caso em que os  $u_t$  são correlacionados, ele identifica a presença ou ausência da raiz unitária a partir das hipóteses.

O teste DFA recebe críticas por possuírem baixo poder, dado pela dificuldade em rejeitar a hipótese nula quando esta é falsa, para suprir essa fragilidade será utilizado também o teste KPSS para confirmar os resultado de DFA e (ENDERS, 2009).

Depois de verificado a estacionariedade das séries, passa-se a modelagem econométrica. O uso de modelos VAR é adequado para atender aos objetivos desta pesquisa, pois através desses modelos é possível ver as relações existentes entre uma determinada variável e as demais, ou seja, permite analisar a dinâmica existente entre as variáveis, no caso desta pesquisa, esse modelo será usado para quantificar as possíveis relações existentes entre o consumo de energia elétrica entre as cinco regiões geográficas do Brasil. Nos modelos VAR cada variável endógena é explicada por seus valores defasados e pelos valores defasados de todas as outras variáveis endógenas do modelo, normalmente não há variáveis exógenas no modelo (ENDERS, 2009). Pode ser matematicamente representado por:

$$Ax_t = A_0 + \sum_{i=1}^p A_i x_{t-i} + B\varepsilon_t \quad (1)$$

Em que A é uma matriz n x n,  $x_t$  é um vetor de variáveis endógenas,  $A_0$  é um vetor de interceptos,  $A_i$  são matrizes n x n, B é uma matriz diagonal n x n de desvios-padrão e  $e_t$  é um vetor de perturbações aleatórias utilizando-se das pressuposições usuais. Um choque na  $i^{\text{ésima}}$

<sup>2</sup> A formalização do teste pode ser encontrada em (BUENO, 2008) Econometria de Séries Temporais. São Paulo, Ed. CENGAG Learning.

variável não afeta apenas diretamente a  $i^{\text{ésima}}$  variável do modelo, mas também é transmitido para as demais variáveis endógenas através da estrutura dinâmica do VAR. Os choques em  $\varepsilon_t$  são chamados de choques estruturais, porque afetam individualmente cada uma das variáveis endógenas, esses choques são considerados independentes entre si porque as inter-relações entre um choque e outro são captadas indiretamente pela matriz A. Essa é uma das grandes vantagens dos modelos VAR, que permite a inclusão de diversas variáveis conectadas entre si.

O VAR além de ser usado para previsões, seu papel fundamental é responder qual a trajetória da série, revelando o que acontece com a série quando recebe um choque estrutural, esses choques são da dimensão de 1 desvio padrão da série, se ela muda de patamar ou não, para que patamar vai, entre outras informações.

Sendo as séries não estacionárias e da mesma ordem de integração será feito o teste de cointegração de Johansen<sup>3</sup> que tem por trás a estatística multivariada, pela complexidade dos cálculos e por não ser o objetivo desta pesquisa a derivação matemático do teste não será exposta aqui, mas indica-se aos interessados as referências citadas na bibliografia. O teste desenvolvido por Johansen (1988) e explicado detalhadamente em Johansen e Juselius (1990) permite a detecção de um ou mais vetores de cointegração, através das estatísticas *traço* e *auto-valor*. Este teste é preferível a outros testes como o teste de Engle-Granger, pois, permite a identificação de mais de um vetor de cointegração, caso exista. É necessário que as séries possuam a mesma ordem de integração para a realização deste teste.

Antes de utilizar o modelo de Johansen, é preciso determinar a ordem do VAR, ou seja, o número de defasagens do modelo. Esse número de defasagens será determinado com base nos critérios AIC(m) (critério de informação de Akaike) e BIC (critério de informação bayesiano), divergindo os critérios entre si se opta pelo BIC(m), seguindo orientação de Bueno (2011):

Verificada a cointegração, haverá relação de longo prazo, recomendando a utilização de um modelo de correção de erro (VEC/MCE/VECM). Esse modelo permite determinar a velocidade com que a série converge para o equilíbrio no longo prazo, ao inserir tanto elementos de longo quanto de curto prazo. Os elementos de longo prazo são captados pelas defasagens do resíduo da equação de cointegração.

A função impulso-resposta (ou *impulse response function* - IFR) apresenta como a variância de determinada variável reage a um impulso de uma unidade na variância de outra variável ou da própria variável. Isso é útil, pois os coeficientes individuais nos modelos estimados VAR/VEC são frequentemente difíceis de interpretar. É através da estrutura dinâmica (defasagens) do modelo que esses choques são transmitidos (SIQUEIRA, 2007). Essa metodologia foi proposta pelo economista Sims (1980) através de uma maneira triangular de decompor os resíduos, a qual ficou conhecida como *decomposição de Cholesky*.

#### 4 RESULTADOS

Esta pesquisa está em fase de resultados preliminares, sendo assim, até o momento foram realizados os testes de estacionariedade os quais se encontram na Tabela 2, encontramos os resultados dos testes de estacionariedade para as variáveis em nível. Os resultados mostraram que todas as séries não são estacionárias em nível, o próximo passo será realizar os mesmos testes para as variáveis em primeira diferença, até identificar a ordem de integração das séries.

Tabela 2 – Teste de estacionariedade para as variáveis em nível.

Variável	DFA*	KPSS**
Sudeste(12)	- 0,22	2,48

<sup>3</sup>A formalização e aprofundamento do teste podem ser encontrados em (MORETTIN, 2011) *Econometria Financeira: um curso em séries temporais financeiras*. 2ª Edição, São Paulo: Blucher, 2011, pág. 310.

Sul(12)	- 3,49	2,56
Nordeste(12)	- 0,71	2,52
Centro-Oeste(16)	- 2,79	2,48
Norte(12)	- 1,71	2,53

\* Com valores críticos de MacKinnon (1996) Valor crítico a 5% de significância é de -2,87.

\*\*Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992, Table 1), valor crítico a 1% de significância é de 0,73.

Fonte: resultados da pesquisa.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo desta pesquisa refere-se às interações e influência existentes entre as três maiores empresas fornecedoras de energia elétrica no Rio Grande do Sul de janeiro de 1998 a junho de 2013 (TAES, TCEEE e TRGE). Para atender a tal objetivo, será aplicada a metodologia VEC. Utilizando a modelagem VEC, testes de estacionariedade e cointegração.

Como a pesquisa está em fase de execução, até o momento tem-se os resultados preliminares, os indicam que as séries não são estacionárias pelo teste de ADF e confirmados pelo teste de KPSS. Em seguida após a determinação da ordem de integração será feito o teste de cointegração, através do qual se busca detectar pelo menos um vetor de cointegração, e em seguida estimar o modelo de correção de erro para corrigir as relações de longo e curto prazo.

Como sugestão para futuros trabalhos, sugerimos um estudo de outras técnicas para analisar as influências através de VEC-Sazonal, VEC-Bayesiano e Near-VEC buscando identificar o que apresenta melhores resultados.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACEN. **Banco Central do Brasil**. Relatório de Estabilidade Financeira – Março/2014. Brasília-DF, 2014.

BM. **The World Bank**. Brasil: aspectos gerais. Washington, EUA, 2014. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/pt/country/brazil/overview>>. Acesso em: 26 mai. 2014.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil (1988)**, art. 21 e 175. Brasília, DF, 1988.

BRASIL. Decreto nº 5.081, de 14 de maio de 2004b. Regulamenta os arts. 13 e 14 da Lei no 9.648, de 27 de maio de 1998, e o art. 23 da Lei no 10.848, de 15 de março de 2004, que tratam do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 de mai. de 2004.

BRASIL. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004a. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 de mar. de 2004. p. 2.

BRASIL. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 de dez. de 1996. p. 28653.

BRASIL. Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998. Altera dispositivos das Leis no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 8.666, de 21 de junho de 1993, no 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, no 9.074, de 7 de julho de 1995, no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação das Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 de mai. de 1998. p. 1.

BUENO, R. DE L. DA S. **Econometria de Séries Temporais**. 2ª Edição, São Paulo: CENGAG Learning, 2011.

- DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. **Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root.** *Econometrica*, v. *Econometrica* 49, 1981.
- ENDERS, W. **Applied Econometric Time Series.** John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- EPE. **Empresa de Pesquisa Energética: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2013.** Seção 3 Mercado Consumidor e Energia Elétrica no Brasil. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909_1.pdf)>. Acesso em: 27 mai. 2014.
- HIROTA, H. H. **O mercado de concessão de transmissão de energia elétrica no Brasil.** 2006, Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto/SP, 2006. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96131/tde-26042007-114337/pt-br.php>>. Acesso em: 15 nov. 2013.
- JOHANSEN, S. JUSELIUS, K.; **Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with application to the demand of money.** *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, v. *Statistics*, 52, 1990.
- JOHANSEN, S. **Statistical analysis of cointegration vectors.** *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 12, 1988.
- KWIAKOWSKI, D.; PHILLIPS, P. C. B.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. **Testing the alternative of stationary against the alternative of a unit root: how sure are we that economic time series have a unit root.** *Journal of Econometrics*. p. 159-178, 1992.
- MacKinnon, J. G. **Numerical Distribution Functions for Unit Root and Cointegration Tests.** *Journal of Applied Econometrics*. Volume 11, Issue 6, pages 601–618, nov. 1996.
- MADDALA, G. S. **Introdução à Econometria.** 3ª Edição, Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2003.
- MENEZES, M. L. DE; CASSIANO, K. M.; SOUZA, R. M. DE; TEXEIRA JÚNIOR, L. A.; PESSANHA, J. F. M.; CASTRO SOUZA, R.; **Modelagem e Previsão de Demanda de Energia com Filtragem SSA.** *Revista da Estatística UFOP*, Vol III(2), Pág.170-187, 2014.
- MORETTIN, P. A. **Econometria Financeira: um curso em séries temporais financeiras.** 2ª Edição, São Paulo: Blucher, 2011.
- PEREIRA, L. DE C., MEURER, R. **A Influência do Ambiente Externo no Risco Operacional das Instituições Financeiras: uma análise empírica para fraudes.** *R. Bras. Eco. de Emp.* Brasília, DF, 2005; 5(2): 45-60.
- PRADO, J. R. do.; SAFADI, T.; SILVA, J. P. da; **Modelagem de series temporais de demanda de energia elétrica da Universidade Federal de Lavras, correspondentes ao período de 1995 a 2013.** *Revista da Estatística UFOP*, Vol III, 2014.
- RODRIGUES, S. A.; BATISTELA, G. C.; **Uma Revisão Sobre a Disponibilidade Hídrica Brasileira para Geração de Energia Elétrica.** *Revista Geoambiente on-line*, nº. 21, jul-dez, 2013, Jataí, GO.
- SILVA, M. F.; SOUSA COSTA, F. I. de.; COSTA E SILVA, Y. F. F.; VARELLA, F. K. de O. M.; ANDRADE, H. D.; **Análise da Demanda e do Consumo de Energia Elétrica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido: 2011 E 2012.** *Revista Extendere - Vol. 1*, Edição N. 2(2013).
- SIMS, C. **Macroeconomics and Reality.** *Econometrica*, v. 48, p. 1-49, 1980.
- SIQUEIRA, M. S. **Política Monetária e Inflação no Brasil: Uma Análise pela Função Impulso-Resposta Generalizada.** Dissertação de Mestrado: Fundação Getúlio Vargas, Escola de Pós-Graduação em Economia Mestrado em Finanças e Economia Empresarial, Rio de Janeiro, 2007.