



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E
CONTABILIDADE

VINÍCIUS ALCÂNTARA VASCONCELOS

UMA ANÁLISE DOS CLUBES DE CONVERGÊNCIA DO SETOR ELÉTRICO
BRASILEIRO

FORTALEZA

2016

VINÍCIUS ALCÂNTARA VASCONCELOS

**UMA ANÁLISE DOS CLUBES DE CONVERGÊNCIA DO SETOR ELÉTRICO
BRASILEIRO**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para a conclusão do Curso de Graduação em Ciências Econômicas

Orientador: Prof. Dr. Christiano Modesto
Penna

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca da Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade

-
- V451a Vasconcelos, Vinícius Alcântara.
Uma análise dos clubes de convergência do setor elétrico brasileiro / Vinícius Alcântara
Vasconcelos. - 2015.
31 f. : il., color.
- Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia,
Administração, Atuária e Contabilidade, Curso de Ciências Econômicas, Fortaleza, 2015.
Orientação: Prof. Dr. Christiano Modesto Penna.
1. Setor elétrico. 2. Energia elétrica – Consumo - Brasil. I. Título

VINÍCIUS ALCÂNTARA VASCONCELOS

**UMA ANÁLISE DOS CLUBES DE CONVERGÊNCIA DO SETOR ELÉTRICO
BRASILEIRO**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Ciências Econômicas da
Universidade Federal do Ceará como parte dos
requisitos para a conclusão do Curso de
Graduação em Ciências Econômicas

Monografia aprovada pelo Programa de Graduação de Ciências Econômicas da Universidade
Federal do Ceará em 15/02/2016.

Vinícius Alcântara Vasconcelos

BANCA EXAMINADORA

Prof. Christiano Modesto Penna, Dr.

Orientador

Prof. Edward Martins Costa, Dr.

Prof. Guilherme Diniz Irffi, Dr.

“A imaginação é mais importante do que o conhecimento. ”

(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, a quem deposito toda a minha fé, pois sem ele não teria a possibilidade de realizar este trabalho, bem como todas as conquistas de minha vida.

Aos meus familiares, Jairo Vasconcelos Santos, Maria Irismar Alcântara Vasconcelos e Viviane Alcântara Vasconcelos, a quem tenho enorme amor e admiração, principalmente por sempre terem me ensinado a seguir os caminhos corretos da vida com honestidade e respeito e me apoiar em todos os momentos da vida.

Aos meus avós, (*In Memoriam*), os quais, sempre passaram muitos conhecimentos de vida e sempre estiveram ao meu lado.

Agradeço ao Professor Christiano Modesto Penna pela sua dedicação, paciência, disponibilidade e orientação durante a elaboração deste trabalho, e aos demais professores do Curso de Ciências Econômicas, que contribuíram, direta ou indiretamente, para minha formação como Economista.

Agradeço aos meus amigos Fernando Stumpf, Jader Alencar, Laís Lopes e Renê Sales que de alguma forma fizeram parte de minha formação e sempre me apoiaram e incentivaram.

Por fim, agradeço aos meus chefes, Eng. Carlos da Gama Bentes Junior, Eng. Mario Nunes Dias e aos colegas de trabalho Eng. Douglas Alves Silva, Eng. Eduardo Vasconcelos Araújo, bem como ao Eng. Rômulo José Bezerra Ciarlini, pela oportunidade de fazer parte da ND Engenharia, pelas contribuições realizadas neste trabalho, pelos conhecimentos transmitidos tanto profissionais quanto pessoais e por suas amizades.

RESUMO

O mercado de energia brasileiro sofreu recentes mudanças no seu funcionamento, mudanças que podem tornar o abastecimento de energia nos mercados deficitário, diminuindo as probabilidades de crescimento. Com base nisto, a partir do procedimento desenvolvido por Phillips e Sul (2007), teste *log t*, testa-se a possibilidade de convergência de demanda *per capita*, oferta *per capita* e do equilíbrio (entre oferta e demanda) *per capita* dos mercados brasileiros. O período de análise é de janeiro de 2000 a novembro de 2015. A formação de clubes de convergência dos mercados de energia do Brasil, a partir de uma análise regional considerando as regiões Norte, Nordeste, Sul e Sudeste Centro-oeste tem como motivação contribuir para que a crise de oferta do setor energético não se prolongue. O uso da metodologia acima permitiu encontrar a formação de um clube de convergência na oferta *per capita*, dos mercados Sul e Sudeste Centro-oeste, assim como um clube de convergência da demanda *per capita* envolvendo todos os mercados regionais do país, além de um clube de convergência para o equilíbrio *per capita* envolvendo os mercados Sudeste Centro-oeste e Norte.

Palavra-Chave: Clubes de Convergência, Phillips e Sul (2007), Mercado de Energia, Demanda *per capita*, Oferta *per capita* e Equilíbrio *per capita*.

ABSTRACT

The Brazilian energy market has undergone recent changes in its operation, changes that can make the power supply deficit in the market, reducing growth prospects. Based on this, from the procedure developed by Phillips and Sul (2007) test log t, tests the hypothesis that there is convergence of per capita demand, per capita supply and the per capita balance (between supply and demand) of the Brazilian markets. The period of analysis is from January 2000 to November 2015. The formation of convergence clubs on Brazilian energy markets from a regional analysis considering the North, Northeast, South and Southeast Midwest is motivated to contribute so that the energy sector of the supply crisis does not extend. The use of the methodology above referred allowed to find the formation of a convergence club in per capita supply of South, Midwest and Southeast markets, as well as a convergence club in per capita demand involving all regional markets in the country, plus a club convergence to per capita equilibrium involving Southeast, Midwest and Northern markets.

Key words: Convergence Clubs, Phillips and Sul (2007), Power Market, Demand per capita, supply per capita and Balance per capita per capita balance

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - ILUSTRAÇÃO DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL..... 16

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - TEMPO DE CONSTRUÇÃO DAS GERADORAS DE ENERGIA SISTEMA CHESF.....	20
QUADRO 2 - ESTATISTICA DESCRITICA DOS PANEIS UTILIZADOS	21
QUADRO 3 - RESULTADOS DO TESTE DE PHILLIPS E SUL (2007), PARA CONVERGENCIA EM CLUBES DE OFERTA, DEMANDA E EQUILIBRIO PER CAPITA.....	27

LISTA DE GRAFICOS

GRAFICO 1 - OFERTA <i>PER CAPITA</i> DE ENERGIA DOS SUBMERCADOS.....	18
GRAFICO 2 - DEMANDA <i>PER CAPITA</i> DE ENERGIA DOS SUBMERCADOS	18
GRAFICO 3 - EQUILIBRIO <i>PER CAPITA</i> DE ENERGIA DOS SUBMERCADOS ...	19

LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS

ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
kV	Quilovolts
MWmed	Megawatt médio
N	Norte
NE	Nordeste
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
RE-SEB	Projeto de Reestruturação do Setor elétrico Brasileiro
S	Sul
SE-CO	Sudeste e Centro Oeste
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	7
LISTA DE QUADROS	8
LISTA DE GRAFICOS.....	9
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	10
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. O MERCADO DE ENERGIA BRASILEIRO	14
3. A METODOLOGIA.....	17
3.1 FONTE E DESCRIÇÃO DE DADOS	17
3.2 A METODOLOGIA DE PHILLIPS E SUL (2007).....	22
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	26
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	30

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um bem de consumo que pode ser gerado através de várias fontes, que podem ser renováveis e não renováveis, apesar desta característica na geração, a energia elétrica é um bem de consumo homogêneo, diferente de outros bens considerados fontes de energia, como a gasolina que é bem heterogêneo composto de enxofre, nitrogênio e compostos metálicos.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é a responsável pela elaboração da matriz energética brasileira. De acordo com Maron Vichi (2009), a matriz energética é uma descrição do consumo e produção de energia, que em geral é detalhada de tal forma que pode se saber a produção e consumo por fonte.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2015 a geração de energia no Brasil é predominantemente hidráulica, totalizando 11,8% do total produzido¹ e do total de energia consumido 62,5% é desta fonte. Tornando o país vulnerável a sazonalidade das chuvas e dos fenômenos da natureza. Ainda segundo Pires, Giambiagi e Sales (2002) a crise de oferta de energia de 2002 esteve relacionada a quatro motivos principais: esgotamento do modelo estatal, falhas na transição do modelo estatal para o privado, problemas nos contratos e de regulação e a falta de gestão e coordenação entre os órgãos do governo. Assim, um somatório dos problemas mencionados anteriormente agravou a situação dos mercados de energia, como pode se observar na crise de 2002, onde a carga de demanda (demanda) foi bem superior a carga de energia (oferta), tendo como consequências o racionamento de energia para as regiões nordeste e sudeste em sua maioria.

Gadelha (2010) salienta a importância de analisar se choques no setor energético iria comprometer a capacidade de crescimento econômico, a escassez de energia pode levar a decisões que tendem a suspender ou adiar investimentos. Seu estudo revela que o Brasil é uma nação que depende do suprimento de energia elétrica para estimular o crescimento, ou seja, choques negativos no setor irão desfavorecer o desenvolvimento e crescimento da economia. Júnior (2011) defende que no período de setembro de 2000 a julho de 2010 o mercado de energia elétrica apresentou um equilíbrio entre a oferta e a

¹ Os dados do estudo utilizados no BEN 2015 são fontes não renováveis (Petróleo 42,8%, Gás Natural 11,6%, Carvão 12,7%, Urânio 0,2% e outras fontes não renováveis) e fontes renováveis (Energia Hidráulica 11,8%, Lenha 9,1%, Derivados da Cana-de-açúcar 18,1% e outras fontes renováveis 4,6%).

demanda de energia em virtude dos preços e do potencial energético instalado, espera-se que o resultado do presente trabalho possa complementar o trabalho do antes realizado.

Assim, analisar o processo de convergência dos mercados brasileiros de energia, contribui para o debate sobre a necessidade de se investir mais em geração e transmissão de energia no mercado brasileiro, afim de se evitar uma discrepância entre a carga de demanda (demanda) e carga de energia (oferta) experimentada pelo setor novamente ao longo dos anos de 2014 e 2015.

Para isso, emprega-se a metodologia de análise de séries temporais de Phillips e Sul (2007), teste log t, para testar a hipótese de convergência de demanda *per capita*, oferta *per capita* e do equilíbrio *per capita* em clubes nos mercados brasileiros (Norte, Nordeste, Sul e Sudeste Centro-oeste).

Este método de estudo tem por base a formulação de um modelo de fatores não lineares composto de um elemento idiossincrático variante no tempo, apropriado para mensurar os efeitos individuais de transição para o estado estacionário, e de um fator de tendência estocástica comum, que captura os efeitos da tecnologia comum.

Sendo assim, espera-se que a partir desses resultados encontrar formas de melhorias da matriz energética, estimulando os investimentos em novas fontes de geração de energia, que não estejam totalmente ligadas a sazonalidade das chuvas, como por exemplo a fotovoltaica, eólica e oceânica. Além de se investir em linhas de transmissão, para que o sistema energético não tenha tantas perdas em geração de energia.

Para alcançar esses objetivos, optou-se por dividir este trabalho em mais cinco seções. A próxima se reserva a descrever o mercado de energia brasileiro. A metodologia, assim como a modelagem, o teste log t e a apresentação dos dados são feitos na segunda e terceira seção respectivamente. Em seguida, são apresentados e analisados os resultados alcançados pela pesquisa. E, por fim, são tecidas as considerações finais.

2. O MERCADO DE ENERGIA BRASILEIRO

Para descrever o funcionamento do mercado de energia brasileiro, são utilizados os textos da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE). A partir 2004, o Brasil inseriu ao sistema Ambiente de Contratação Livre (ACL), se tornando um mercado com dois tipos de negociações acerca do modelo de comercialização de energia elétrica, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), o primeiro formado por agentes de geração e distribuição, já o segundo por geradores, comercializadores, importadores, exportadores, consumidores livres e especiais. Essa configuração faz parte do modelo setorial vigente, que é uma melhoria do Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (RE-SEB).

O Projeto RE-SEB ocorreu entre 1996 e 1998 e as principais conclusões do projeto foram: i) a necessidade de desverticalização das empresas de energia elétrica; ii) incentivar a competição na geração e comercialização; e, iii) manter sob regulação os setores de distribuição e transmissão de energia elétrica, considerados como monopólios naturais, sob regulação do Estado.

O modelo de leilões atual foi criado com objetivo de alcançar uma tarifa moderada e seu funcionamento é baseado na compra de energia elétrica pelas distribuidoras reguladas. A realização dos leilões é de responsabilidade da CCEE, a qual opta pela menor tarifa, objetivando uma redução do custo de aquisição da energia a ser repassada aos consumidores cativos.²

A estrutura setorial completa-se com a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), que atua como órgão regulador, além do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), o qual se responsabiliza pela operação, geração e transmissão nos sistemas interligados brasileiros.

O Sistema Interligado Nacional (SIN), por sua vez, é formado pelas empresas produtoras de energia e pelas transmissoras, que abrangem as regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste, Sul e parte do Norte do Brasil. O sistema de produção e transmissão de

² Os consumidores são divididos em dois grupos, os livres e os cativos. Os consumidores cativos devem negociar energia com as concessionárias de distribuição, onde cada um pagará uma única fatura mensal de energia, onde as tarifas são reguladas pelo governo.

energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários.³

É no SIN que acontecem as negociações de compra e venda de energia. Qualquer agente do mercado que seja membro do SIN tem a permissão negociar energia com qualquer outro agente, mesmo com restrições físicas de geração e transmissão.⁴

A estrutura brasileira de transmissão de energia possui linhas com tensão de 230 kV a 750 kV em corrente alternada. Os agentes de transmissão não são considerados agentes de mercado em virtude de não participarem da comercialização de energia.

O sistema brasileiro é dividido em submercados, o do Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Norte e Nordeste, em cada um a energia circula livremente. A linha que separa os submercados é determinada por limites de intercâmbio presentes no sistema de transmissão, ou seja, restrições elétricas no fluxo de energia entre as diversas regiões do país.

O comércio de energia no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) é concretizado através de contratos entre os geradores e distribuidores, advindos de leilões de compra e venda de energia. Os contratos estabelecidos são regulados, isto é, os preços e sua vigência não podem ser alterados pelos agentes.

No Ambiente de Contratação Livre (ACL) os agentes do mercado têm liberdade para negociar e estabelecer em contratos os volumes de compra e venda de energia e seus respectivos preços. Todos os contratos firmados nos ambientes, livre e regulado, devem ser registrados na CCEE.

O ACL trouxe ao mercado energético oportunidades aos geradores de energia privados, pois neste ambiente a energia tem seu preço regulado pelas variações mercadológicas, além de proporcionar oportunidade de se comprar energia onde o preço atenda as expectativas de custo e benefício. A possibilidade de faturamento através do ACL estimula a participação de investidores privados no mercado, aumentando as chances de modernização do mesmo.

³ Para se ter uma ideia, apenas 1,7% da energia requerida pelo país encontra-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados na região amazônica.

⁴ Agentes do mercado são os geradores, os distribuidores, os comercializadores, o consumidor especial e o livre.

As ilustrações abaixo são um demonstrativo esquemático do mercado de energia brasileiro, onde as linhas de cor preto com azul representam as linhas de transmissão de 800kV, as linhas de cor preto representam as linhas de transmissão de 750kV, as linhas de cor preto com amarelo representam as linhas de transmissão de 600kV, as linhas de cor vermelho representam as linhas de transmissão de 500kV, as linhas de cor roxo representam as linhas de transmissão de 440kV, as linhas de cor azul representam as linhas de transmissão de 345kV, as linhas de cor verde representam as linhas de transmissão de 230kV, as linhas de cor salmão representam as linhas de transmissão de 138kV, as linhas de cor rosa representam as linhas de transmissão de 88kV ou menor. As linhas contínuas representam as existentes e as pontilhadas as planejadas.

Figura 1: Sistema Interligado Nacional



Fonte: Operador Nacional do Sistema

3. METODOLOGIA

1. FONTE E DESCRIÇÃO DE DADOS

Para estimar se o mercado de energia converge e se, a convergência é global ou em clubes, são construídos três painéis de dados, a saber: i) carga de demanda; ii) carga de oferta; e, iii) um painel que considera a diferença entre a carga de oferta e a carga de demanda, o que fornece uma condição de equilíbrio caso não ocorra qualquer tipo de excesso.

A oferta é obtida a partir da geração de energia de todas as usinas despachadas centralizadas pela ONS, somada à de usinas programadas pelo ONS. A demanda é obtida pelo ONS, através da soma de toda a energia contratada da região em estudo.

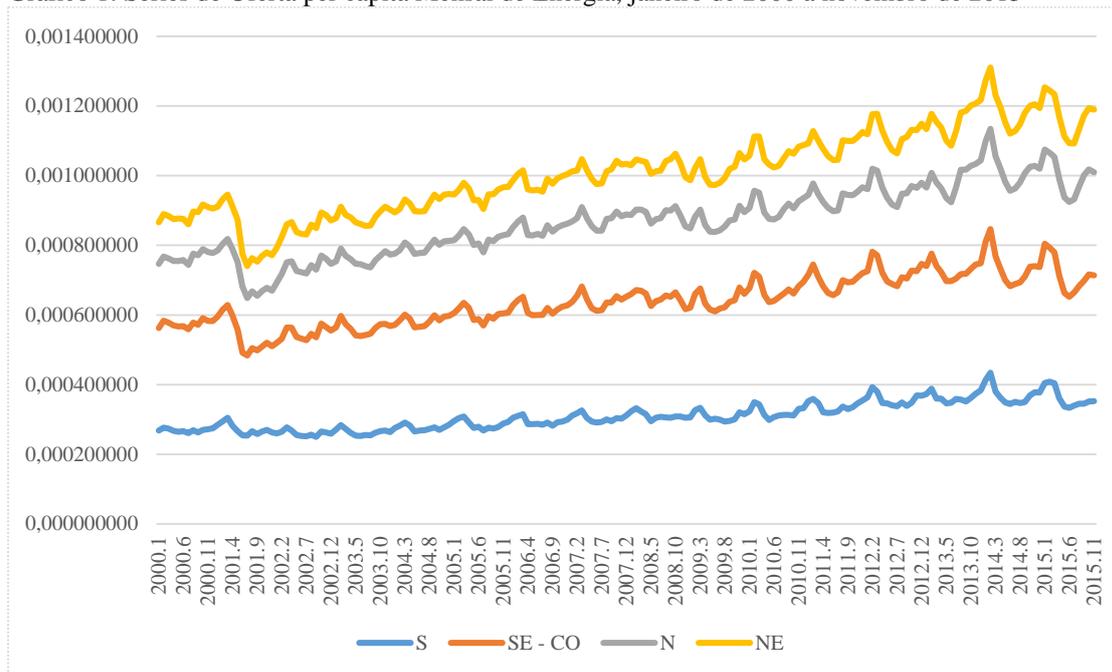
Os dados de carga de oferta e demanda possuem periodicidade mensal e estão expressos em megawatt médio (MWmed). Estes dados foram obtidos junto ao ONS e o período de tempo considerado foi de janeiro de 2000 a novembro de 2015, por região. Estas séries foram coletadas para quatro regiões: Norte, Sul, Nordeste e Sudeste mais Centro-Oeste.

Para transformar as séries em *per capita*, dividi a oferta, demanda e equilíbrio pela projeção da população total de cada região. Os dados populacionais foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística disponibilizado pelo Ipeadata e, para transformação destes dados em dados mensais, extrapolou-se as séries anuais de cada região supondo-se uma taxa de crescimento populacional constante ao longo de cada ano.

O Gráfico 1 representa o comportamento da série Carga de Oferta para as 4 regiões em análise. Note-se que as séries apresentam uma forte retração no período compreendido entre julho de 2001 a fevereiro de 2002, fato este ocorrido em virtude dos racionamentos vividos pelo Brasil⁵, com exceção da região Sul. Após este período, as séries aparentam uma tendência de crescimento, até o fim do período analisado.

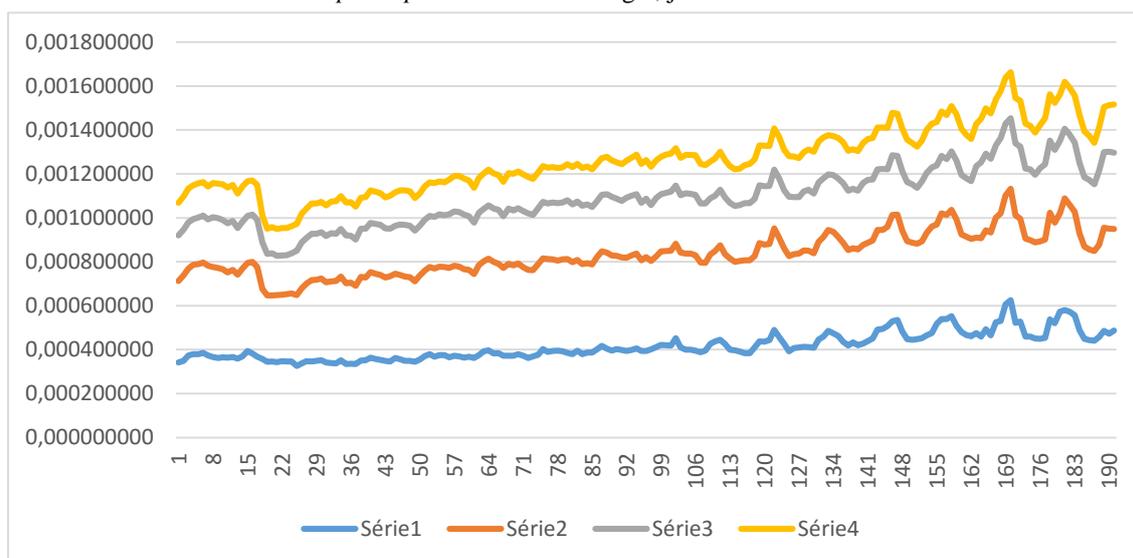
⁵ Os apagões foram decorrência de uma soma de fatores: poucas chuvas, falta de planejamento, ausência de investimentos em geração e transmissão de energia, etc.

Gráfico 1: Séries de Oferta per capita Mensal de Energia, janeiro de 2000 a novembro de 2015



Fonte: Elaboração do Autor.

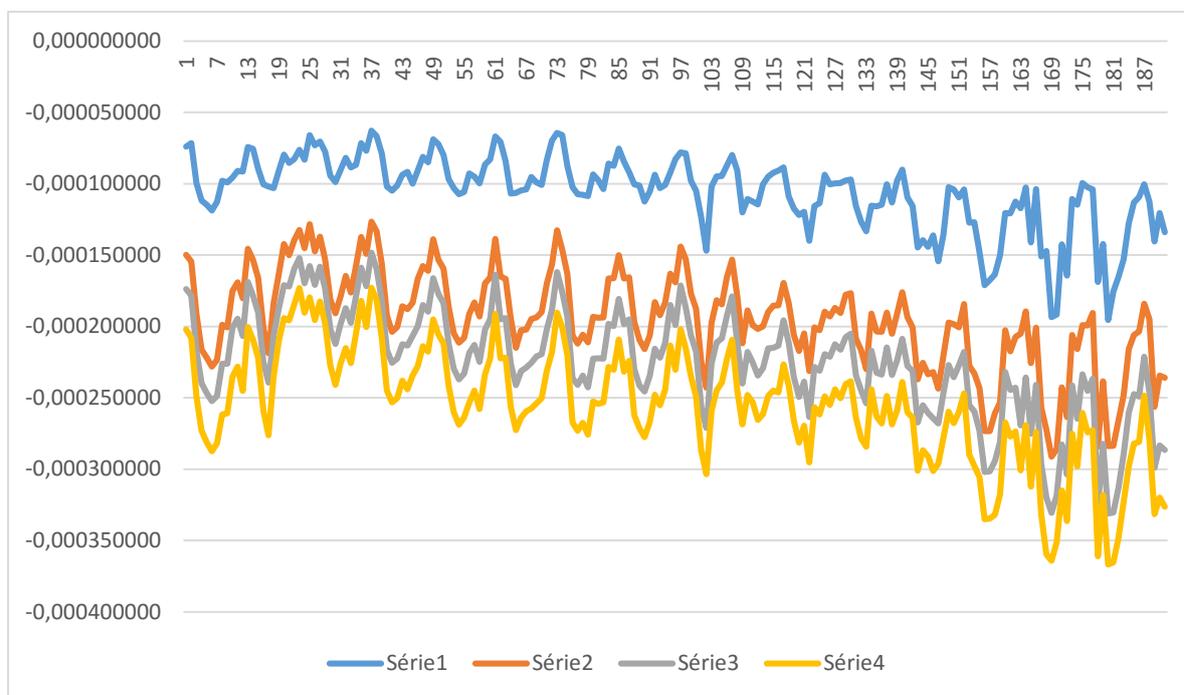
O Gráfico 2 revela o comportamento das séries de Carga de demanda *per capita* para as regiões em análise. As séries apresentam o mesmo declínio no período compreendido entre outubro de 2001 a maio de 2002, possivelmente atribuído à política de racionamento do governo, o que interfere nas decisões tanto do consumidor livre quanto do cativo. Assim como visto no Gráfico 1, após esse período há uma tendência de crescimento, embora também possa ser constatada uma leve retração ao final das séries.

Gráfico 2: Séries de Demanda *per capita* Mensal de Energia, janeiro de 2000 a novembro de 2015

Fonte: Elaboração do Autor.

Note, pelo Gráfico 3, que comportamento de equilíbrio, aferido a partir da diferença entre as cargas de oferta e demanda, é negativo. Isto ocorre em função do excesso de demanda, ou seja, a carga de demanda *per capita* é superior à de oferta *per capita*.

Gráfico 3: Séries de Equilíbrio *per capita* Mensal de Energia, janeiro de 2000 a novembro de 2015



Fonte: Elaboração do Autor.

Para que esse mercado estivesse em equilíbrio ou a geração fosse superior a demanda, o Brasil necessitaria ser autossuficiente na geração de energia em todos os momentos, fato este que não ocorre, já que em momentos de pico (onde o consumo está elevado) é necessário a importação de energia. Segundo Dos Santos há interconexão entre Peru e Brasil, Argentina e Brasil, Bolívia e Brasil, e entre Venezuela e Brasil. Ou seja, entre os países que fazem fronteira com o Brasil.

As séries apresentam várias sequencias de altos e baixos, fato que observando os gráficos estima-se que pode ocorrer em virtude da curva de demanda se deslocar mais rápida que a curva da oferta, ou seja, a curva da demanda irá responder mais rápido aos choques⁶ do mercado, do que a curva de oferta. No mercado de energia há sempre um descompasso entre estas duas curvas, já que para ofertar energia, é necessário um tempo longo, pois a construção de geradoras pode levar em média 7 anos, como visto no quadro 1.

⁶ Exigências essas que podem ser positivas, como um aquecimento na economia, elevando assim ao aumento no consumo de energia, como pode ser uma recessão e a produção industrial diminuir.

Quadro 1: Tempo de construção das geradoras de energia Sistema Chesf

Usina	Município/Estado	Potência Instalada (MW)	Início Obras	Início Operação	Tempo Obras em anos
Boa Esperança	Guadalupe - PI	237,3	1964	1970	6
Camaçari	Dias D' Ávilla - BA	70	1977	1979	2
Curemas	Coremas - PB	3,52	1939	1957	18
Funil	Ubaitaba - BA	30	1954	1962	8
Luiz Gonzaga	Petrolândia - PE	1479,6	1979	1988	9
Apolônio Sales	Delmiro Gouveia - Alagoas	400	1971	1977	6
Paulo Afonso I	Paulo Afonso - BA	180	1948	1954	6
Paulo Afonso II	Paulo Afonso - BA	443	1955	1961	6
Paulo Afonso III	Paulo Afonso - BA	794	1967	1971	4
Paulo Afonso IV	Paulo Afonso - BA	2462,4	1972	1979	7
Pedra	Jequié - BA	20	1976	1978	2
Sobradinho	Sobradinho - BA	1050,3	1973	1979	6
Xingó	Canindé do São Francisco - SE	3162	1987	1994	7
Média em anos					6,7

Fonte: Elaboração do Autor. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf)

A quadro 2, demonstra as estatísticas descritivas das séries da pesquisa (média, desvio padrão, mínimo, máximo e crescimento por período). Durante o período analisado a oferta de energia *per capita* no mercado Sul cresceu 31,41%, no mercado do Sudeste e Centro-Oeste cresceu 22,58%, no mercado Norte cresceu 61,07%, e no mercado Nordeste cresceu 51,20%. Entretanto, a demanda *per capita* no mercado Sul cresceu 42,09%, no mercado Sudeste e Centro-Oeste cresceu 25,07%, no mercado Norte cresceu 66,80%, e no mercado Nordeste houve um aumento de 49,06%.

Quadro 2: Estatísticas Descritivas dos Painéis Utilizados

Grupos	Estatísticas	S	SE - CO	N	NE
<i>Oferta Per capita</i>	Média	0,00031	0,00033	0,00023	0,00014
	Desvio Padrão	0,000040	0,000033	0,000032	0,000021
	Mínimo	0,000250	0,000229	0,000157	0,000092
	Máximo	0,000434	0,000413	0,000303	0,000180
	Crescimento no Período	31,41%	22,58%	61,07%	51,20%
<i>Demanda Per capita</i>	Média	0,000419	0,000259	0,000172	-0,000106
	Desvio Padrão	0,000061	0,000039	0,000038	0,000023
	Mínimo	0,000326	0,000301	0,000177	0,000114
	Máximo	0,000626	0,000508	0,000351	0,000220
	Crescimento no Período	42,09%	25,07%	66,80%	49,06%
<i>Equilíbrio Per capita</i>	Média	-0,000106	-0,000089	-0,000030	-0,000031
	Desvio Padrão	0,000026	0,000012	0,000007	0,000004
	Mínimo	-0,000195	-0,000125	-0,000064	-0,000040
	Máximo	-0,000056	-0,000056	-0,000019	-0,000021

Fonte: Elaboração do Autor

Em suma, nota-se que a demanda *per capita* cresceu mais do que a oferta *per capita* em todos os mercados, com exceção do Nordeste que de acordo com o MME teve investimentos em geração de energia eólica, térmica e hidráulica. Este fato se deve, em parte, aos investimentos em geração de energia não serem capazes de acompanhar o crescimento das regiões. Isso sugere que o país tende a permanecer dependente da importação de energia. Como afirma Goldemberg e Lucon (2008) é preciso investir em tecnologias eficientes e modernas na obtenção e consumo de energia além de se investir na utilização de energias renováveis como a solar, a oceânica e eólica⁷.

⁷ Exemplo de Solar: Térmica Solar e fotovoltaica; Oceânica: Ondas costeiras e ondas do mar; Eólica: Bombas de ar e aero geradores

2. A METODOLOGIA DE PHILLIPS E SUL (2007)

Seja X_{it} a carga de demanda de energia *per capita* da i -ésima unidade *cross-section* no tempo t , onde $i = 1, \dots, N$ e $t = 1, \dots, T$. Usualmente, $X_{i,t}$ é decomposto em duas partes, uma sistemática, $g_{i,t}$, que inclui elementos comuns às unidades *cross-section*, e uma transitória, $a_{i,t}$, ou seja, $X_{i,t} = g_{i,t} + a_{i,t}$. Observe que $g_{i,t}$ e $a_{i,t}$ podem ser formados por uma mistura de componentes comuns e idiossincráticos. A estratégia empírica de Phillips e Sul (2007) é modelar $X_{i,t}$ de modo que a parte comum seja separada da parte idiossincrática, ou seja,

$$X_{i,t} = g_{i,t} + a_{i,t} = \left(\frac{g_{i,t} + a_{i,t}}{\mu_t} \right) \mu_t = b_{i,t} \mu_t \quad , \quad (1)$$

onde μ_t é um componente que determina a trajetória de longo prazo, ou seja, uma trajetória comum de crescimento da carga de demanda *per capita* e $b_{i,t}$ é um elemento idiossincrático, que varia no tempo, capaz de mensurar a transição individual de i , dado o seu deslocamento em torno da trajetória comum, μ_t .

Nestes termos, seria possível se testar convergência de longo prazo (quando $t \rightarrow \infty$) sempre que a heterogeneidade não observada se dissipe, ou seja, sempre que $g_{i,t} \rightarrow g_i$. Assim, pode-se ter convergência global se $b_{i,t} \rightarrow b$, ou formação de clubes de convergência, isto é, $b_{k,t} \rightarrow b_k$ & $b_{j,t} \rightarrow b_j$, $k \neq j$. Inferências sobre o comportamento de $b_{i,t}$ não são possíveis sem a imposição de alguma restrição em sua dinâmica, pois o número de parâmetros desconhecidos em $b_{i,t}$ é igual ao número de observações; uma alternativa para modelar os elementos de transição, $b_{i,t}$, vem da construção de um coeficiente de transição relativo, $h_{i,t}$, definido como: $h_{i,t} = \hat{x}_{i,t} / \left(N^{-1} \sum_{i=1}^N \hat{x}_{i,t} \right) = b_{i,t} / \left(N^{-1} \sum_{i=1}^N b_{i,t} \right)$, onde $\hat{x}_{i,t}$ representa uma suavização da carga de demanda *per capita*.⁸

⁸ Na prática, a variável utilizada pode ser descrita como $\log y_{i,t} = b_{i,t} \cdot \mu_t + \kappa_{i,t}$, onde $\kappa_{i,t}$ representa um efeito de ciclo de negócios. A suavização da série pode ser realizada através da utilização do filtro de

As curvas traçadas por $h_{i,t}$ definem uma trajetória de transição relativa e, ao mesmo tempo, mensuram quanto a carga de demanda *per capita* i se desloca em relação à trajetória de crescimento comum, μ_t . Dessa forma, $h_{i,t}$ pode diferir entre as i regiões no curto prazo, mas admite convergência no longo prazo sempre que $h_{i,t} \rightarrow 1$ para todo i quando $t \rightarrow \infty$. Ressalta-se ainda que, se isso ocorrer, no longo prazo a variância *cross-section* de $h_{i,t}$ converge para zero; ou seja, tem-se que: $\sigma_t^2 = N^{-1} \sum_{i=1}^N (h_{i,t} - 1)^2 \rightarrow 0$ quando $t \rightarrow \infty$, que é a base da σ -convergência.

Com base nesta modelagem, Phillips e Sul (2007) desenvolveram uma análise de convergência baseada no que denominaram teste $\log t$. Os autores propõem uma forma semi-paramétrica para modelar os coeficientes de transição assumindo que os mesmos são tendências estocásticas lineares e permitindo heterogeneidade entre economias ao longo do tempo: $b_{i,t} = b_i + (\sigma_i \xi_{i,t}) / (L(t)t^\alpha)$, onde $L(t)$ é uma função *slowly varying*, crescente e divergente no infinito⁹; $\xi_{i,t} \sim i.i.d(0,1)$, α governa a taxa de queda da variação nas unidades transversais ao longo do tempo e, $\sigma_i > 0$ e $t \geq 1, \forall i$.

Notando que, $L(t) \rightarrow \infty$ quando $t \rightarrow \infty$, então essa formulação assegura que $b_{i,t} \rightarrow b_i$ para todo $\alpha \geq 0$, ou seja, sempre haverá convergência se $b_{i,t} \rightarrow b_i$ para todo $\alpha \geq 0$ e divergência caso contrário. Com efeito, têm-se duas condições para convergência do modelo:

$$\text{i) } \lim_{k \rightarrow \infty} b_{i,t+k} = b \Leftrightarrow b_i = b \text{ e } \alpha \geq 0 \quad \text{e}$$

$$\text{ii) } \lim_{k \rightarrow \infty} b_{i,t+k} \neq b \Leftrightarrow b_i \neq b \text{ ou } \alpha < 0 \text{ ,}$$

Ou seja, é possível estabelecer um teste da hipótese nula de convergência contra hipóteses alternativas de não-convergência. Tal teste é baseado nas seguintes hipóteses:

$$\text{Hipótese nula} \quad H_0 : b_i = b \text{ e } \alpha \geq 0$$

Whittaker-Hodrick-Prescott (WHP). Esta abordagem não requer nenhuma especificação a priori para μ_t e é bastante cômoda, pois requer um único parâmetro de *smooth* como input.

⁹ A função $L(t)$ é dita *slowly varying* desde que $L(t)t^\alpha \rightarrow \infty$ quando $t \rightarrow \infty$ e $\alpha > 0$. Note que a tendência para o infinito suavemente garante que, neste caso, $b_{i,t} \rightarrow b_i$.

$$\text{Hipóteses alternativas } \begin{cases} H_{A1} : b_i = b, \forall i \text{ e } \alpha < 0 \\ H_{A2} : b_i \neq b, \text{ para algum } i \text{ e } \alpha \geq 0 \text{ ou } \alpha < 0 \end{cases}$$

Tal abordagem também permite testar a formação de clubes de convergência. Por exemplo, existindo dois clubes $\{G_1, G_2\}$; $G_1 + G_2 = N$ então a hipótese alternativa pode ser descrita da seguinte maneira:

$$H_A : b_{it} \rightarrow \begin{cases} b_1 \text{ e } \alpha \geq 0 \text{ se } i \in G_1 \\ b_2 \text{ e } \alpha \geq 0 \text{ se } i \in G_2 \end{cases}$$

A regressão para se testar $b_{i,t} = b_i + (\sigma_i \xi_{i,t}) / (L(t)t^\alpha)$ supondo $L(t) = \log t$ é baseada na seguinte regressão:

$$\log \frac{H_1}{H_t} - 2 \log[L(t)] = \pi_0 + \pi_1 \log t + u_t \quad \text{para } t = T_0, \dots, T, \quad (2)$$

onde H_1/H_t representa a relação de variância *cross-section* encontrada através de $H_t = N^{-1} \sum_{i=1}^N (h_{it} - 1)^2$ e $h_{it} = \hat{w}_{it} / N^{-1} \sum_{i=1}^N \hat{w}_{it}$, sendo que \hat{w}_{it} representa o logaritmo neperiano da carga de demanda *per capita* do estado i após a remoção do componente de ciclos através do filtro de Hodrick-Prescott.

Sob hipótese nula, os coeficientes de (2) podem ser testados com base num teste t unilateral, robusto a auto-correlação e heterocedasticidade. Para um nível de 5%, por exemplo, a hipótese nula de convergência deve ser rejeitada se $t_{\hat{\pi}_1} < -1,65$.

Os autores revelam que $\hat{\pi}_1 = 2\hat{\alpha}$, onde $\hat{\alpha}$ é a estimativa de α sob hipótese nula. Phillips e Sul também sugerem que, para eliminar o efeito das observações iniciais, a regressão (2) seja realizada após se descartar uma determinada fração amostral.

A rejeição da hipótese nula de convergência para todo o painel pode estar indicando a existência de pontos separados de equilíbrio ou múltiplos estados estacionários. Quando isso ocorre, pode-se ter a divergência de alguns membros do painel e/ou a formação de clubes de convergência. Neste contexto, um algoritmo que aplique sequencialmente o teste $\log t$ permite a identificação de clubes de convergência sem que se recorra às usuais características observáveis que condicionem o devido agrupamento deste clube. O algoritmo é descrito a seguir:

- (i) Ordenam-se as cargas de demanda *per capita* de acordo com o período final;
- (ii) Selecionam-se as $k < N$ primeiras unidades de corte com maior carga de demanda *per capita*, formando um grupo G_k . Estima-se a regressão $\log t$ e calcula-se a estatística de convergência, t_k , para este grupo. Escolhe-se um grupo formado por k^* unidades de corte tal que a estatística de teste seja maximizada sobre k de acordo com a condição: $k^* = \arg \max_k \{t_k\}$ sujeito a $\min\{t_k\} > -1,65$.¹⁰ Se a condição $\min\{t_k\} > -1,65$ não for válida para $k = 2$, então a unidade de corte com maior carga de demanda *per capita* é excluída da amostra e um novo grupo é formado. Repete-se este passo computando-se a estatística t para este novo grupo e, se a condição $\min\{t_k\} > -1,65$ não for válida para todos os pares sequenciais de regiões, conclui-se que o painel não apresenta clubes de convergência.
- (iii) Adiciona-se uma unidade de corte por vez ao grupo primário com k^* membros e estima-se a regressão $\log t$ novamente; sempre se inclui uma nova economia ao clube de convergência se a estatística t for maior do que o critério de fixação, c^* . Quando T for pequeno, o critério de fixação, c^* , pode ser zero para assegurar uma seleção conservadora; se T for grande, c^* pode ir assintoticamente para o valor crítico de 5%, ou seja, -1,65. Repete-se esse procedimento para todas as economias remanescentes e forma-se o primeiro sub-grupo de convergência a partir do grupo primário G_{k^*} suplementado pelas economias que atendem ao critério de fixação.
- (iv) Forma-se um segundo grupo com as economias cuja regra de fixação falha no passo (iii); estima-se a regressão $\log t$ e se verifica se $t_{\hat{\pi}} > -1,65$, que retrata o nível de significância do teste para a convergência. Se esta condição for atendida conclui-se que existem dois grupos de convergência distintos: o grupo primário G_{k^*} e o segundo grupo. De modo contrário, se a condição não for atendida, repete-se do passo (i) ao passo (iii) para verificar se este segundo grupo pode ser subdividido em um número maior de clubes de convergência. Não existindo um conjunto composto por $k \geq 2$ economias no passo (ii) com $t_k > -1,65$, conclui-se que as economias remanescentes não podem ser subdivididas em subgrupos e, portanto, não convergem para um patamar comum.

¹⁰ A condição $\min\{t_k\} > -1,65$ retrata o nível de significância da análise, 5%.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com base nos dados apresentados na Quadro 3, verifica-se que $t_{\hat{\pi}} > -1,65$ assim não rejeitando a hipótese nula, a oferta *per capita* forma um clube de convergência formado pelos mercados do S e do SE-CO e onde verifica se $t_{\hat{\pi}} < -1,65$ um divergente formado pelos mercados do N e NE. Pode se concluir que os clubes seguem uma lógica econômica, o primeiro clube é formado pelos mercados onde a produção industrial no Brasil é concentrada, ou seja, a demanda de energia nesses mercados é mais intensa. O segundo clube (Divergente) é formado por mercados onde a produção industrial é baixa. As regiões norte e nordeste do Brasil são as maiores, porém a densidade populacional é baixa e a malha industrial é de pequeno porte comparada ao resto do país, contribuindo para que a oferta de energia nesses mercados seja de menor porte, em contrapartida a este fato, a região nordeste possui alta capacidade instalada para gerar energia, de acordo com o Balanço Energético Nacional 2015 foi responsável por 16,33% da geração em 2014.

Deve-se destacar que as hidrelétricas que estão sendo construídas na região norte, como a de Belo Monte na bacia do Rio Xingu com potência instalada de 11.233MW, a de Santo Antônio no Rio Madeira com potência instalada de 3.568 MW por turbina e Jirau também localizada no Rio Madeira com potência instalada de 3.750 MW, podem alterar o formato dos clubes, porém a região norte teria que sofrer um processo de industrialização nesse período, assim a sua geração de energia seria ofertada no mercado interno, trazendo o mercado N para o clube de convergência.

A demanda *per capita*, por outro lado forma um único clube convergindo para um nível igualitário onde verifica se $t_{\hat{\pi}} > -1,65$ para todos os mercados, ou seja, convergência global. Com a demanda dos quatro mercados convergindo para a tendência, pode se dizer que o consumo pode estar aumentando em uma certa proporção, que se calculada devidamente e os padrões desses cálculos se mantiverem, as projeções de demanda para os próximos períodos se provarem verdadeiras e, assim, um planejamento energético irá funcionar melhor, evitando um novo descompasso entre oferta e demanda.

Como existe um descompasso entre a oferta e demanda, já que para ofertar energia é preciso construir novas geradoras o que pode levar em média 7 anos, como visto

anteriormente, algo que gera custos¹¹ e toma um grande tempo, a curva de demanda irá mudar mais rápido do que a curva de oferta, podendo trazer prejuízos para a economia do país.

O equilíbrio *per capita* se comportou semelhante a oferta *per capita*, porém, o clube de convergência é formado pelos mercados SE+CO e N, enquanto o divergente é formado pelos mercados S e NE. Essa divergência pode ser explicada pela atual situação do SIN, pois o mercado NE tem uma oferta maior que a demanda, o oposto do mercado S onde a demanda de energia é maior que a oferta. Observa-se que caso o mercado não fosse interligado pelo SIN entraria em colapso, porém o intercâmbio de energia entre as regiões previne tal desastre e possibilita a interação entre os mercados, onde os volumes de energia são transferidos entre as regiões, através da supervisão da ONS.

Quadro 3: Resultados do teste de Philips e Sul (2007), para convergência em clubes de oferta, demanda e equilíbrio *per capita*.

Variável	Região	Parâmetro	$\hat{\pi}$	$t_{\hat{\pi}}$
Carga de Demanda	Sul, SE+CO, Norte e Nordeste (1 Clube)	π_0	-3.479	-22.806
		π_1	0.119	3.738
Carga de Oferta	Clube 1 (Sul e SE+CO)	π_0	-	-5.797
		π_1	22.590	5.441
	Divergentes (N e NE)	π_0	-2.188	-7.065
		π_1	-0.261	-4.049
Equilíbrio (SS-DD)	Clube 1 (SE+CO e N)	π_0	-2.695	-4.610
		π_1	0.001	0.011
	Divergentes (Sul e NE)	π_0	1.703	63.567
		π_1	-1.079	-
			193.768	

Fonte: Elaboração do Autor

¹¹ Como por exemplo a Usina de Belo Monte, que tem um custo estimado em mais de 30 bilhões, segundo Ministério de Minas Energia.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo faz uma análise da convergência da oferta *per capita*, demanda *per capita* e do equilíbrio *per capita* (oferta - demanda) dos mercados de energia do Brasil, utilizando informações mensais do período de janeiro de 2000 a novembro de 2015, tendo por base a metodologia de análise de séries temporais desenvolvida por Phillips e Sul (2007), que permite verificar a formação de clubes de convergência.

Com base nos resultados do teste log t, pode-se afirmar que a demanda *per capita* está convergindo para um nível igualitário, enquanto que a oferta e equilíbrio *per capita* formam um clube de convergência e outro divergente. O fato da demanda *per capita* ter formado um clube indica que no período analisado a demanda esteve convergindo para a tendência proposta pela modelagem de Phillips e Sul (2007), pode se dizer que essa tendência de crescimento deve ajudar a desenvolver planos de ampliação da matriz energética para os próximos anos, maximizando o benefício desta matriz.

Contemplando os resultados obtidos por Júnior (2011) pode se dizer que o equilíbrio da matriz energética dos mercados brasileiros não deve ser analisado levando em conta os preços e a energia armazenada apenas. Já que em caso de crescimento econômico com tendência positiva e uma seca nas regiões das bacias hidrográficas levaria o equilíbrio do sistema ao colapso, em virtude da geração hidráulica diminuir a intensidade e o preço das energias alternativas como a térmica ser bastante elevado. Algo muito semelhante com o que aconteceu com o país no segundo semestre de 2015.

A partir dos resultados encontrados a respeito da formação dos clubes de convergência e divergência no mercado de energia brasileiro sugere-se utilizar os mesmos para dar suporte a tomadas de decisões, tanto para o governo quanto para investidores privados. Indicando que a expansão e investimentos em tecnologias novas para geração de energia elétrica, por hidrelétricas, termoelétricas, eólicas e/ou nuclear são necessários para suprir a demanda do mercado. Assim como a expansão de linhas de transmissão e distribuição é necessária, para que o Sistema Interligado Nacional contemple todas as geradoras e dê suporte no gerenciamento de energia aos mercados, ao fazer os intercâmbios entre regiões.

O trabalho sugere a necessidade de um planejamento energético que distancie a necessidade de um novo racionamento como o ocorrido em 2002, 2014 e 2015 vide benefícios tarifários. A Aneel implementou desde 1º de julho de 2015 o sistema de

bandeiras, onde as mesmas possuem as cores verde, amarela e vermelha. As bandeiras funcionam como alerta para os custos envolvidos para geração de energia, já que ao utilizarmos energia com altos custos de geração, como a térmica, a bandeira vermelha entra em vigor e como há um acréscimo no valor do quilowatt-hora (kWh), estimula a redução do consumo, influenciando as escolhas dos consumidores livres e cativos, ou seja, de certa forma é um novo racionamento de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTARA, Vicent; DURO, Juan Antonio. Inequality of energy intensities across OECD countries: a note. **Energy Policy**, v. 32, n. 11, p. 1257-1260, 2004.

Associação Brasileiras de Distribuidores de Energia Elétrica. Disponível em: < <http://www.abradee.com.br/index.php>>. Acessado em 18 de janeiro de 2016.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Disponível em: < http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/inicio?_afzLoop=8048763758857#%40%3F_afzLoop%3D8048763758857%26_adf.ctrl-state%3Dgfxmbbli4_45>. Acessado em 18 de janeiro de 2016.

COHEN, C. Padrões de consumo, energia e meio ambiente. **Niterói: Universidade Federal Fluminense**, 2005.

DE BRITO GADELHA, Sérgio Ricardo. Consumo de Eletricidade e Crescimento Econômico no Brasil Electricity Consumption and Economic Growth in Brazil, 2010.

DOS SANTOS, Edmilson Moutinho. **Gás natural: estratégias para uma energia nova no Brasil**. Annablume, 2002.

Estadão, Renée Pereira. Disponível em: < <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,orcado-em-r-16-bilhoes-custo-da-usina-de-belo-monte-ja-supera-os-r-30-bilhoes,153398e>>. Acessado em 10 de fevereiro de 2016.

FILHO, B. P; MOTA, J. A; CARVALHO, J. C. J; PINHEIRO, M. M. S. Impactos fiscais da crise de energia elétrica: 2001 e 2002. Rio de Janeiro: IPEA, 2001 (Texto para Discussão nº 816).

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia, meio ambiente e desenvolvimento. 2008.

IRFFI, Guilherme et al. 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.

JÚNIOR, Marlon Resende. OFERTA E DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA: O CASO DO MERCADO BRASILEIRO, 2011.

MARON VICHI, Flavio. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Quim. Nova**, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.

Ministério de Minas e Energia. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br>>. Acessado em 20 de Janeiro de 2016.

NETO, Amir Borges Ferreira. CONVERGÊNCIA DE RENDA E CONVERGÊNCIA DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA: UMA ANÁLISE COMPARATIVA. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos (RBERU)**, v. 8, n. 2, p. 123-138, 2014.

PHILLIPS, Peter CB; SUL, Donggyu. Transition modeling and econometric convergence tests. **Econometrica**, v. 75, n. 6, p. 1771-1855, 2007.

PIRES, José Claudio Linhares; GIAMBIAGI, Fabio; SALES, André Franco. **As perspectivas do setor elétrico após o racionamento**. BNDES, Área de Planejamento, Gerência Executiva de Análise Econômica-GEANE, 2002.

YUAN, J.; ZHAO, C.; YU, S.; HU, Z. Electricity consumption and economic growth in China: cointegration and co-feature analysis. *Energy Economics*, v. 29, p. 1179-1191, 2007.

ZACHARIADIS, T.; PASHOURTIDOU, N. An empirical analysis of electricity consumption in Cyprus. *Energy Economics*, v. 29, p. 183-198, 2007.