

# Relação entre Desempenho Econômico e Consumo de Eletricidade no Brasil

David Costa Correia-Silva<sup>1</sup>  
Jorge Eduardo Macedo Simões<sup>2</sup>  
Clayton Douglas Chagas de Oliveira<sup>3</sup>

Enviado em: 18 janeiro 2017. Aceito em 19 maio 2017

---

**Resumo:** Esse artigo objetiva testar a hipótese de haver uma relação entre o desempenho econômico e o consumo de energia elétrica no Brasil no período de 1996 a 2015, assim como investigar a relação de causalidade entre as variáveis. A metodologia econométrica utilizada envolve técnicas de Cointegração e Modelo de Vetores Auto Regressivos (VAR) e Correção de Erros (VEC). Os resultados comprovaram a hipótese de que existe uma forte correlação positiva ao longo do tempo entre as evoluções do consumo de energia elétrica e o desempenho econômico. Evidenciou-se ainda a existência de cointegração, assegurando a presença de um elo linear entre as tendências estocásticas das variáveis em se moverem na direção de um equilíbrio de longo prazo. Através do teste de causalidade de Granger comprovou-se a hipótese subjacente de que há relação de causalidade unidirecional do crescimento econômico para o consumo de eletricidade.

**Palavras-chaves:** Energia Elétrica; Desempenho Econômico; Modelo de Correção de Erro.

**Classificação JEL:** C32

## Relationship Between Economic Performance and Electricity Consumption in Brazil

**Abstract:** This paper aims to test the hypothesis of a relationship between economic performance and consumption of electricity in Brazil from 1996 to 2015, as well as to investigate the causal relationship between variables. The econometric methodology used involves Cointegration and Auto Regressive Vector Model (VAR) and Error Correction (VEC) techniques. The results confirm the hypothesis that there is a strong positive correlation over time between the evolution of electric energy consumption and economic performance. At the same time they evidenced the existence of cointegration assuring the presence of a linear link between the stochastic trends of the variables in moving towards a long term equilibrium. Through the Granger causality test we have proved the underlying hypothesis that there is a unidirectional causal relationship of economic growth to electricity consumption.

**Keywords:** Electricity, Economic Performance, Error Correction Model

**JEL Code:** C32

---

<sup>1</sup> Doutorando do Núcleo de Altos Estudos da Amazônia - NAEA/Universidade Federal do Pará - UFPA, Mestre e Bacharel em Economia pela Universidade Federal do Pará - UFPA. Email: davidcorreiasilva@hotmail.com

<sup>2</sup> Professor da Universidade Federal do Sul e Sudoeste do Pará - UNIFESSPA. Doutorando do CAEN/Universidade Federal do Ceará - UFC, Mestre em Economia pela UFPA e Bacharel em Economia pela UNAMA. Email: jsimoesf@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Professor da Universidade Federal do Sul e Sudoeste do Pará - UNIFESSPA. Mestre em Economia pela Universidade Federal do Pará - UFPA e Bacharel em Estatística pela UFPA. Email: douglaslenoir@yahoo.com.br

## 1 INTRODUÇÃO

A trajetória econômica do Brasil mostra que o progresso industrial e, por consequência, o consumo de fontes inanimadas de energia para substituição de parte da energia humana e animal que moviam de maneira decisiva o país ocorreu após o primeiro quartil do século XX, quando o governo central organizou mecanismos em prol do desenvolvimento nacional, o que implicou a disposição de eletricidade para o setor industrial e urbano (LEITE, 2007; PINTO JR et al., 2007; TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

As diferenças iniciadas na revolução industrial foram decisivas na trajetória que as sociedades seguiriam ao passar do tempo. Inicialmente é relevante destacar que a noção de progresso ou desenvolvimento está ligada à indústria, à urbanização e ao consumo de bens duráveis, os quais, por sua vez, têm a eletricidade como insumo básico. A contribuição desse tipo de energia para a melhoria do bem-estar das pessoas é explicitada na forma de conservação de alimentos, na facilitação da comunicação ou ainda no desenvolvimento tecnológico. Indubitavelmente, a energia elétrica é um dos insumos essenciais à vida moderna. Na prática, a eletricidade provocou grandes avanços na saúde, na educação e na economia das sociedades que têm acesso a esse insumo.

A importância da energia elétrica, assim como outras fontes de infraestrutura no processo produtivo e em outras atividades fundamentais para o crescimento econômico, é fato estilizado dentro da teoria econômica (CARMINATI; SCALCO, 2013). O consumo de eletricidade é um indicador de bem-estar social, uma vez que denota que a sociedade dispõe de meios além dos fornecidos pela natureza para ampliar suas capacidades produtivas e intelectuais. Outra forma de ver a importância da energia elétrica é por meio das diferenças socioeconômicas e tecnológicas entre as nações do mundo, e como o insumo energético se tornou um fator determinante nessa trajetória, separando nações industrializadas e desenvolvidas de países que possuem acesso limitado a esse fator de desenvolvimento.

Até por volta de 1930, o Brasil possuía uma sociedade rural e uma economia essencialmente agrária. A partir de então a nação passaria por uma reorientação que mudaria fortemente a estrutura socioeconômica do país. Já na década de 1970, o país contava com uma sociedade majoritariamente urbana, com um relevante parque industrial e uma política energética voltada para atender essa nova estrutura.

No que se refere ao abastecimento de energia elétrica no Brasil a predominância é de fontes hidrelétricas em função da existência de diversas bacias hidrológicas. Os reservatórios são estabelecidos em rios represados com a construção de barragens. A geração de eletricidade decorre da movimentação de turbinas. Uma característica peculiar é que a maior parte das hidrelétricas brasileiras está conectada no Sistema Integrado Nacional (SIN). A ideia do SIN é que existam ganhos sinérgicos e uma distribuição de eletricidade conforme as necessidades de cada região.

Cada nação elabora suas estratégias a fim de garantir o suprimento energético de sua sociedade, uma vez que os países possuem recursos naturais e tecnológicos diferentes e o suprimento de eletricidade é fundamental para o crescimento econômico. Embora a relação entre essas duas variáveis tenha sido debatida exaustivamente na literatura econômica, a direção da causalidade permanece não resolvida. As conclusões a respeito da relação de causalidade entre consumo de eletricidade e crescimento econômico da maior parte dos estudos

desenvolvidos são baseadas em quatro hipóteses: primeiro, há uma relação de causalidade unidirecional do consumo de eletricidade para o crescimento econômico; segundo, a relação de causalidade unidirecional do crescimento econômico para o consumo de eletricidade; Terceiro, uma relação de bicausalidade entre o consumo de eletricidade e o crescimento econômico; um quarto cenário associado à falta de relação de causalidade entre consumo de eletricidade e crescimento econômico.

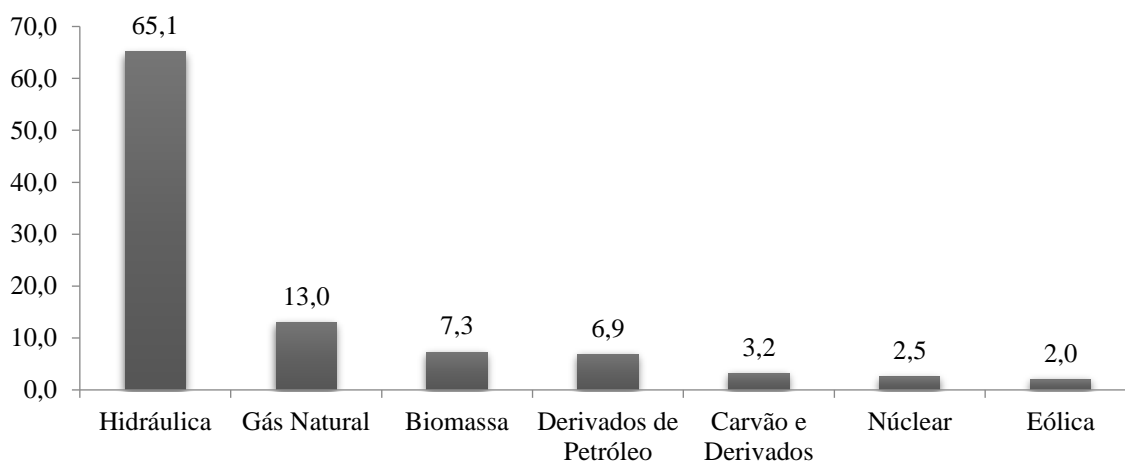
Diante do exposto o presente estudo tem como problemática a ser investigada: qual o impacto do desempenho econômico no consumo de energia elétrica no Brasil? Desse modo o artigo objetiva analisar: a relação entre o consumo de energia elétrica e o desempenho econômico para o caso brasileiro, isto é, mais especificamente, verificar se há relação de longo prazo entre as variáveis estudadas; quantificar a elasticidade-desempenho econômico; verificar se o aumento do crescimento econômico é responsável por promover aumento no consumo de energia elétrica, ou a causalidade é reversa.

Procurando responder à indagação, essa pesquisa parte da hipótese central de que existe uma correlação positiva ao longo do tempo entre o consumo de energia elétrica e o desempenho econômico, conjugado com a hipótese subjacente de que há uma relação de causalidade unidirecional do crescimento econômico para o consumo de eletricidade. O período de análise compreende o primeiro trimestre de 1996 e o terceiro trimestre de 2015. A metodologia econométrica utilizada é o teste de cointegração conjugado com o modelo de correção de erros.

O presente texto foi organizado em seis seções, excluindo a introdução: a segunda seção refere-se a um panorama da geração de energia elétrica no Brasil; na terceira, apresenta-se a revisão da literatura; a quarta seção refere-se à metodologia econométrica utilizada. Posteriormente, a quinta seção faz referência à estimação e análise dos resultados. Por fim, na sexta seção, estão as considerações finais.

## **2 PANORAMA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E A RELAÇÃO COM A ECONOMIA**

Cada nação procura estratégias para desenvolver mecanismos que assegurem o fornecimento de insumos em favor do progresso. O grande volume de recursos naturais, como rios represáveis, levou ao Brasil a adotar as hidrelétricas como principais fornecedoras de energia do país. O sistema é completado com termelétricas e termonucleares. A geração de energia elétrica no Brasil, em 2015, atingiu 590,5 TWh (ANEEL, 2015). O GRÁFICO 1 apresenta a composição percentual do setor elétrico nacional por fonte energética.

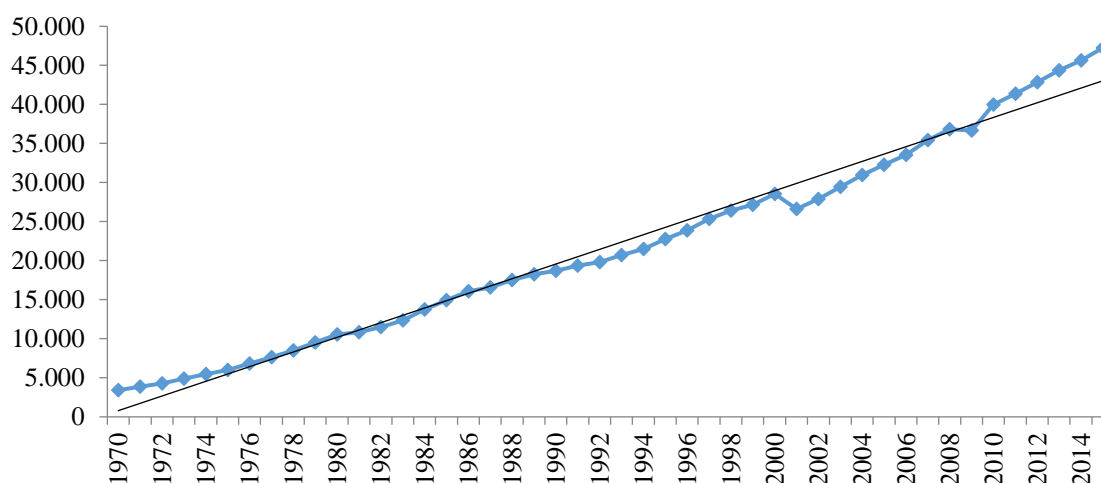
**GRÁFICO 1:** Oferta de Eletricidade no Brasil por fonte (em %).

**Fonte:** Elaboração dos autores baseado no Atlas de Energia Elétrica ANEEL (2015).

Como mostra o GRÁFICO 1, o setor elétrico brasileiro é bastante concentrado na fonte hidráulica, com cerca de 65%, e a termelétrica, com pouco mais de 30%, é composta por gás natural, biomassa, derivados de petróleo e carvão (ANEEL, 2015 p. 16 e 182). Outras fontes como a nuclear e eólica somam menos de 5% (ANEEL, 2015).

Apesar de ser uma fonte abundante e considerada renovável, a energia provinda de usinas hidrelétricas possui alguns riscos de geração de eletricidade em função de períodos prolongados de secas, como verificado em 2001-2002. Para Gadelha e Cerqueira (2013) a crise hídrica vivenciada pelo país naquele momento explicitou que períodos extensos de escassez de chuvas tornam a geração elétrica vulnerável às questões climáticas e ao estoque de água nos reservatórios, bem como expõe o sistema elétrico nacional e, conseqüentemente, compromete o bem-estar da sociedade e o desempenho econômico.

A importância da energia hidráulica é evidenciada no GRÁFICO 2, o qual mostra o consumo de eletricidade no Brasil entre 1970 e 2015. Observa-se a linha de tendência ascendente no período. Todavia, há um recuo relevante no ano de 2001, ocasião dos problemas ambientais com reflexo no consumo de eletricidade, e da política de desincentivos ao consumo em virtude da falta de chuvas e redução da produção de energia.

**GRÁFICO 2:** Consumo de eletricidade no Brasil em Tep (1970-2015).

**Fonte:** Elaboração dos autores baseado no Atlas de Energia Elétrica ANEEL (2015).

O problema hídrico afetou o fornecimento e distribuição de energia, pois a geração de energética foi insuficiente para atender a procura, e com isso o governo federal teve de introduzir um programa de racionamento. A consequência imediata dessa medida governamental foi a retardação da produção, do nível do emprego e, por conseguinte, a redução do consumo de energia elétrica.

As reduções dos volumes de chuva em 2001-2002 foram uma lição à política energética nacional. O racionamento daquele período ficou conhecido como “Apagão”, e culminou numa série de constrangimentos tanto à produção quanto ao estilo de vida nacional, em razão de o país não contar com alternativas para suprir a demanda energética. De modo similar, entre os anos de 2014-2015, novamente houve uma estiagem prolongada. Todavia, dessa vez o país estava preparado, com as usinas termelétricas. Vale a ressalva de que as termelétricas impediram o Brasil de passar por uma crise de oferta de energia, mas a nação teve de enfrentar a elevação das tarifas.

As tarifas são outro indicador econômico que contribui para o aumento da percepção de risco sobre o racionamento de energia por parte dos agentes econômicos. O preço da energia no mercado livre em 2008, fixado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), praticamente dobrou, tendo o valor reajustado, em termos nominais, de R\$ 247,01 por megawatt/hora (MW/h) para R\$ 475,53/MW/h, o maior valor desde o racionamento de energia de 2001 (R\$ 694/MWh).

Por conseguinte, o nível médio da maior parte dos reservatórios no início de 2008 encontrava-se abaixo do patamar de janeiro de 2001, dois meses antes da decretação do racionamento de energia iniciado naquele ano. A escassez de chuvas no último trimestre de 2007, provocada pelo fenômeno climático “La Niña”, esvaziou os reservatórios das hidrelétricas das regiões Nordeste, Norte e Sul em nível inferior ao do período pré-rationamento, exigindo um maior esforço das hidrelétricas das regiões Sudeste e Centro Oeste em enviar energia às

outras regiões afetadas<sup>4</sup> (Gadelha; Cerqueira, 2013). Mais recentemente, entre os anos de 2014-2015, novamente uma estiagem prolongada exigiu que fossem colocadas em atividades às usinas termelétricas, trazendo a tona mais uma vez o problema energético brasileiro.

Apesar de o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) ter destinado R\$ 65,9 bilhões para expansão da capacidade elétrica brasileira, os eventos citados acima aumentaram a apreensão dos agentes econômicos quanto uma possível crise energética brasileira<sup>5</sup>.

Segundo Pinto Jr *et al.* (2007) o objetivo essencial de qualquer política energética é garantir o suprimento de energia necessário ao desenvolvimento socioeconômico. O Estado é o principal agente na implantação e estruturação da política energética, tanto respondendo às conjunturas quanto às perspectivas futuras de suprimento e suas formas

A eletricidade constitui um dos insumos de infraestrutura vitais ao desenvolvimento socioeconômico de um país. Sabe-se que o tipo de relação de causalidade entre essas variáveis pode afetar a eficácia de políticas econômicas em uma nação. Por essa razão, o estudo da relação entre o consumo de energia elétrica e crescimento econômico tem sido um dos temas mais recorrentes para os pesquisadores da área econômica nas últimas décadas (ALTINAY; KARAGOL, 2005). Desde o trabalho seminal de Kraft e Kraft (1978), inúmeros estudos, com diferentes metodologias, investigaram a relação de causalidade entre o consumo de energia e o crescimento econômico para países de todo o mundo. Os resultados variam de país para país, bem como de estudo para estudo considerando o mesmo país (PAYNE, 2010; OZTURK, 2010).

A garantia de suprimento energético envolve ações em diferentes áreas, como a econômica, tecnológica, ambiental, política e social. Nesse sentido, a política energética possui um caráter abrangente, que transcende uma concepção meramente setorial, quer em termos de atividades, quer em termos de campo de conhecimento e especialização (PINTO JR et al, 2007. p. 292). Nesse sentido, é relevante estudar a organização do setor elétrico brasileiro, chamado de Sistema Interligado Nacional (SIN).

## 2.1 Organização do Sistema Elétrico Nacional

O sistema elétrico do Brasil é composto por um sistema interligado e por sistemas isolados. Esses últimos se referem ao atendimento de comunidades, sobretudo, no Norte do país, que, por razões técnicas, não foram acopladas no SIN, de modo que são abastecidos principalmente por usinas térmicas movidas a óleo diesel e óleo combustível, mas podem contar com Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). Segundo o Atlas da Aneel, em 2008, os sistemas isolados atendiam 1,3 milhão de pessoas em 380 localidades e respondiam por 3,4% da eletricidade produzida no país.

Por outro lado, o SIN compõe a maior parte da energia produzida e disponibilizada no Brasil, abrangendo empresas de todas as regiões do país. O SIN vem sendo organizado desde os anos 1970, com a intenção de gerar ganhos sinérgicos, através da interconexão dos agentes, procura de minimização dos custos operacionais e integração dos recursos de produção e

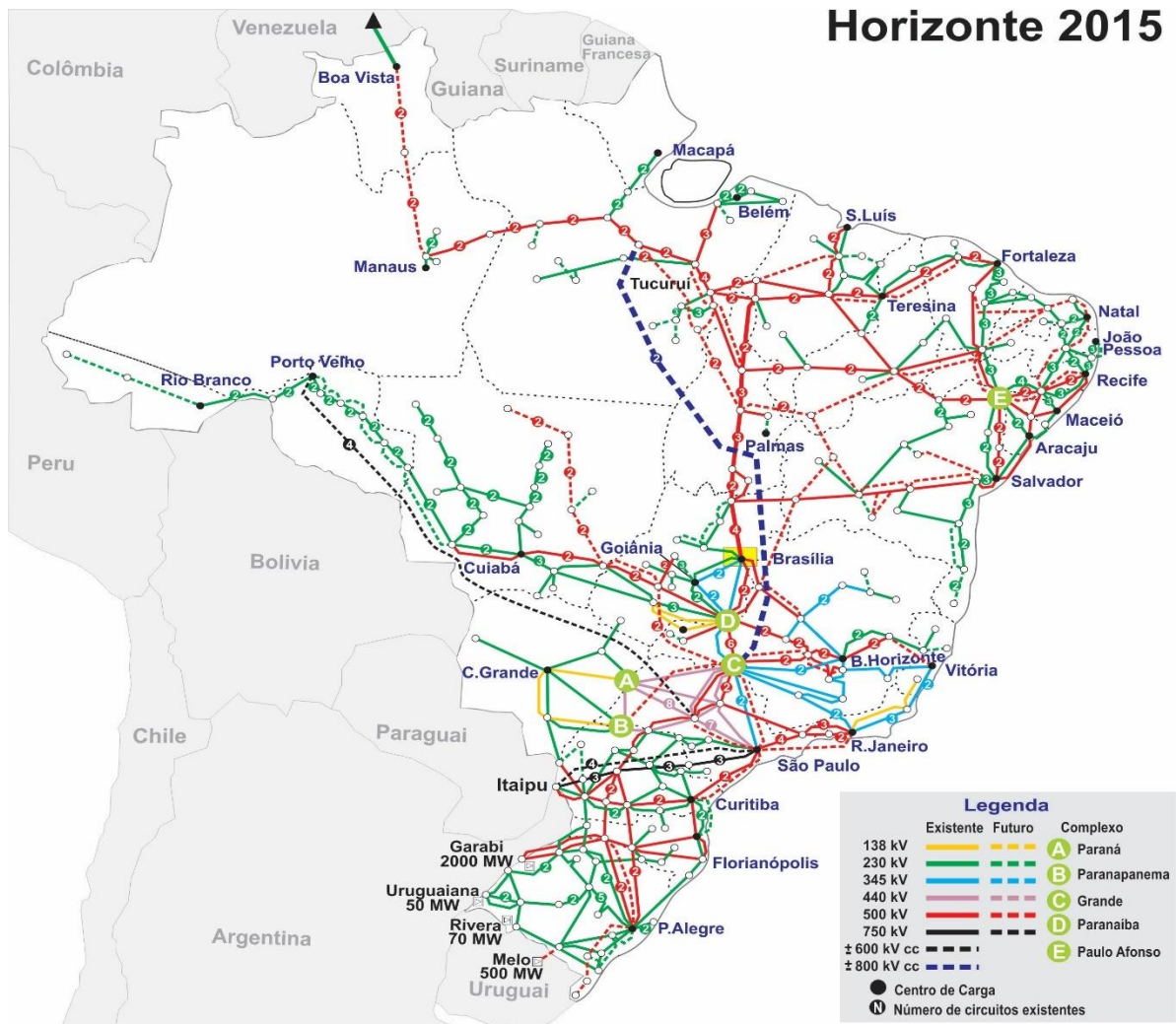
---

<sup>4</sup>O prolongamento da estiagem, a insegurança do abastecimento de gás da Bolívia e a baixa oferta interna desse insumo contribuem para a incerteza no cenário nacional, representando uma escalada de aumento do risco de desabastecimento.

<sup>5</sup>Informações detalhadas sobre os investimentos em infraestrutura previstos no PAC, especialmente no setor de energia elétrica, podem ser obtidas no seguinte sítio eletrônico: <<http://www.brasil.gov.br/pac/>>.

transmissão energética. A FIGURA 1 apresenta a configuração do SIN para o horizonte de 2015.

**FIGURA 1:** Sistema de distribuição de eletricidade no Brasil (2015).



Fonte: Brasil, 2014.

Como pode se observar, o SIN atua em todas as regiões do país, interligado às geradoras, distribuidoras e os consumidores de eletricidade, atendendo 96,6% dos consumidores do país.

A interdependência operativa é causada, sobretudo, pelo aproveitamento conjunto dos recursos hidrelétricos mediante a construção e operação de usinas e reservatórios localizados em sequência em várias bacias hidrográficas. Uma vantagem do SIN é que durante períodos nos quais as condições hidrológicas de uma região estão desfavoráveis, a eletricidade pode ser suprida pela geração de outra localidade. Além disso, as usinas térmicas contribuem para o atendimento do mercado como um todo, e não apenas aos consumidores de sua empresa proprietária, como foi o caso de 2014-2015, que, a exemplo de 2001, registrou declínio dos níveis de produção elétrica em razão da estiagem prolongada. Contudo, o risco de racionamento foi drasticamente reduzido em função do melhor aparelhamento do setor.

A eletricidade está entre os fatores que determinam o crescimento da economia e a melhoria do padrão de vida da população. Desse modo, o estabelecimento de um sistema

elétrico que assegure o fornecimento de energia é fundamental para o planejamento e manutenção do crescimento econômico de longo prazo.

### 3 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

O debate sobre a causalidade entre energia e desempenho econômico tem sido um tema recorrente entre os economistas que estudam energia ao longo do tempo, dado que o tipo da relação de causalidade entre as variáveis pode afetar a eficácia de políticas econômicas de uma nação, e há grande importância da energia dentro do processo produtivo e na atividade econômica. Existem diversos estudos, para diversos países, que tratam da causalidade entre crescimento econômico e energia. No entanto, não existe uniformidade no que se refere à direção da causalidade entre essas duas variáveis, ou seja, diferentes estudos apontam para diferentes respostas. Essa seção tem como finalidade reportar as evidências empíricas da relação entre essas duas variáveis.

Usando dados do período 1947-1974, Kraft e Kraft (1978) encontraram evidências de causalidade de Granger unidirecional do PIB para o consumo de energia nos Estados Unidos (EUA). Mozumder e Marathe (2007) examinaram a relação de causalidade entre consumo de eletricidade *per capita* e PIB *per capita* para Bangladesh a partir de cointegração e modelo vetorial de correção de erros (VEC). Os resultados empíricos indicaram causalidade de Granger unidirecional do PIB *per capita* para o consumo de eletricidade *per capita*.

Zachariadis e Pashourtidou (2007) examinaram as relações de equilíbrio de longo prazo e de causalidade entre consumo de eletricidade e PIB real para a China no período 1978-2004. Os resultados das estimações indicaram que as variáveis em análise são cointegradas, bem como a existência de causalidade de Granger unidirecional do consumo de eletricidade para o PIB real.

Além disso, Yuan et al. (2007) utilizaram o filtro Hodrick-Prescott (HP) para decompor os componentes cíclicos e de tendência das séries do PIB e do consumo de eletricidade. Os resultados encontrados indicaram a existência de cointegração nesses componentes, significando que o consumo de eletricidade está relacionado ao ciclo de negócios.

Utilizando dados anuais de Fiji para o período 1971 a 2002, Narayan e Singh (2007) estimaram um modelo autorregressivo e de defasagens distribuídas (ADL) e os resultados obtidos indicaram uma relação de causalidade de Granger no longo prazo unidirecional do consumo de eletricidade para o PIB, evidenciando que Fiji é um país dependente de energia elétrica e, portanto, políticas de conservação de energia tem impacto adverso no crescimento econômico daquele país.

Abosedra, Dah e Ghosh (2008) investigam a relação causal entre consumo de eletricidade e crescimento econômico no Líbano, cobrindo o período de janeiro de 1995 a dezembro de 2005. Os resultados empíricos do estudo confirmam a ausência de relação de equilíbrio de longo prazo entre essas duas variáveis, bem como a existência de causalidade de Granger unidirecional do consumo de eletricidade para o crescimento econômico, em um modelo VAR bivariado. Assim, os tomadores de decisão deveriam dar prioridade aos estágios iniciais da reconstrução e ao desenvolvimento da infraestrutura do setor elétrico, visando impulsionar o crescimento econômico do país.

Ghosh (2009) analisa o nexos causal entre oferta de eletricidade, emprego e PIB real para Índia estimando um modelo VEC. Utilizando dados anuais do período 1970 a 2006, os resultados obtidos indicaram causalidade de Granger unidirecional do crescimento econômico



para a oferta de eletricidade, de modo que uma maior renda impulsionava o aumento na demanda de eletricidade, através de um amplo uso de aparelhos elétricos nos setores industrial, comercial e doméstico, exigindo um aumento do fornecimento de energia elétrica para atender a essa demanda.

Payne (2009) aplicou o teste de causalidade de Granger para investigar a natureza da relação entre consumo de energia renovável e de energia não renovável, assim como para o produto real nos Estados Unidos. Utilizando dados anuais para o período de 1949 a 2006, os resultados indicaram ausência de causalidade de Granger, apoiando a hipótese da neutralidade. Pao (2009) investigou a relação entre consumo de eletricidade e crescimento econômico para Taiwan utilizando dados trimestrais para o período 1980 a 2007. Os resultados econométricos obtidos a partir da estimação de um modelo de espaço-estado com correção de erros indicaram que essas variáveis não apenas são cointegradas, como também a existência de uma relação de causalidade unidirecional do crescimento econômico para o consumo de eletricidade.

Odhiambo (2009) examinou a relação de causalidade entre consumo de eletricidade e crescimento econômico na África do Sul. Utilizando dados de séries temporais abrangendo o período 1971 a 2006, os resultados empíricos mostraram que existe uma relação de bicausalidade de Granger entre essas duas variáveis. Logo, políticas voltadas para a expansão da infraestrutura em eletricidade devem ser intensificadas na África do Sul a fim de lidar com a crescente demanda exercida pelo forte crescimento econômico do país e rápido programa de industrialização.

Yoo e Kwak (2010) investigaram a relação entre consumo de eletricidade e crescimento econômico para sete países da América do Sul no período 1975 a 2006. Os resultados obtidos indicaram evidências de causalidade de Granger unidirecional do consumo de eletricidade para o crescimento econômico na Argentina, Brasil, Chile, Colômbia e Equador. Além disso, os autores encontraram evidências de bicausalidade de Granger na Venezuela, mas ausência de causalidade no Peru.

Ouédraogo (2010) investigou a relação de causalidade de Granger entre consumo de eletricidade e crescimento econômico em Burkina Faso utilizando dados anuais para o período 1968 a 2003. Os resultados obtidos a partir da estimação de um modelo ADL, com mecanismo de correção de erros, indicaram uma relação de bicausalidade de Granger no longo prazo entre essas duas variáveis. Assim, Burkina Faso não é só um país dependente de energia elétrica, como também um país em que o consumo de eletricidade é crescente com o nível de renda.

Kouakou (2011) analisou a relação de causalidade entre a indústria de eletricidade e o crescimento econômico na Costa do Marfim. Usando dados de 1971 a 2008, os resultados obtidos a partir da estimação de um modelo ADL, com correção de erros, revelaram bicausalidade de Granger entre consumo de eletricidade *per capita* e PIB *per capita*. Logo, a Costa do Marfim é dependente de energia elétrica no longo prazo, havendo a necessidade de assegurar a produção de energia elétrica e evitar “apagões”, a fim de assegurar a trajetória de crescimento sustentável. Além disso, o governo precisa adotar políticas visando aumentar os investimentos no setor elétrico para intensificar a produção de eletricidade a partir de novas fontes de energia existentes.

Menegaki (2011) investigou a relação entre consumo de energia renovável e crescimento econômico no período de 1997 a 2007 para diversos países europeus. O estudo aplicou um modelo de efeitos aleatórios para essa finalidade, e os resultados obtidos indicaram ausência de causalidade de Granger entre essas duas variáveis.

Shahbaz, Tang e Shabbir (2011) reexaminaram a relação entre consumo de eletricidade, crescimento e emprego em Portugal. Utilizando dados anuais do período 1971 a 2009 em um modelo VEC, os resultados obtidos indicaram causalidade de Granger unidirecional do crescimento econômico para o consumo de eletricidade. Portanto, políticas ambientais voltadas para a conservação da eletricidade, incluindo medidas de melhoria na eficiência e políticas de gerenciamento da demanda, que visam reduzir o desperdício de eletricidade, não provocariam efeitos adversos na atividade econômica no curto prazo.

Utilizando dados trimestrais do período 2000 a 2009 para a Polônia, os resultados obtidos por Gurgul e Lach (2012) a partir da estimação de um modelo VEC indicaram relação de bicausalidade de Granger entre consumo de eletricidade e PIB.

A partir da estimação de um modelo VEC utilizando dados anuais do período 1972 a 2009, Shahbaz e Lean (2012) encontraram evidências de relação de bicausalidade de Granger entre consumo de eletricidade e crescimento econômico no Paquistão, evidenciando que a adoção de políticas de conservação de energia pode impactar, de maneira negativa, o crescimento econômico, ao passo que baixo crescimento econômico resultará em redução na demanda por eletricidade. Assim, governos que adotam tais políticas conservacionistas devem explorar e desenvolver fontes alternativas de energia como uma estratégia de política, ao invés apenas de aumentar a produção de energia elétrica para atender a demanda crescente por eletricidade em sua busca para sustentar o crescimento econômico.

Gadelha e Cerqueira (2013) examinaram a relação entre consumo de eletricidade e crescimento econômico no Brasil durante o período de 1952-2010 em estrutura multivariada de cointegração e causalidade. O teste de causalidade de Granger (1969) em um modelo vetorial com correção de erro (VEC) indica uma forte evidência de causalidade unidirecional do consumo de eletricidade *per capita* para o PIB real *per capita*, indicando que o Brasil é uma nação dependente de energia elétrica e que políticas conservadoras de energia terão um efeito adverso no crescimento econômico.

Carminati e Scalco (2013) pretenderam encontrar as relações causais entre consumo de energia e produto interno bruto e entre a oferta de energia e o produto interno bruto no Brasil, no período de 1970-2007, por meio de um modelo de correção de erros vetorial (VEC), analisando a causalidade tanto no curto prazo, quanto no longo prazo. Os resultados encontrados sugerem a existência de bicausalidade entre o PIB e o consumo de energia no longo prazo, e causalidade unidirecional proveniente do PIB em direção ao consumo de energia. Encontrou-se também a existência de bicausalidade entre a oferta de energia e o PIB no curto prazo, assim como a causalidade unidirecional da oferta de energia em direção ao PIB.

#### 4 METODOLOGIA

A metodologia<sup>6</sup> utilizada é a análise de cointegração, cuja finalidade é verificar se há relação de equilíbrio ao longo do tempo entre as variáveis. Na prática a ideia é que, embora as variáveis possam exibir desvios em suas trajetórias de curto prazo, em função de choques que

---

<sup>6</sup>Os testes foram realizados com 95% de significância, ou seja, 5% de margem de erro.

porventura acometam a economia, uma vez esvanecido os efeitos desses choques, estas variáveis convergem para um comportamento padrão sincronizado de longo prazo.

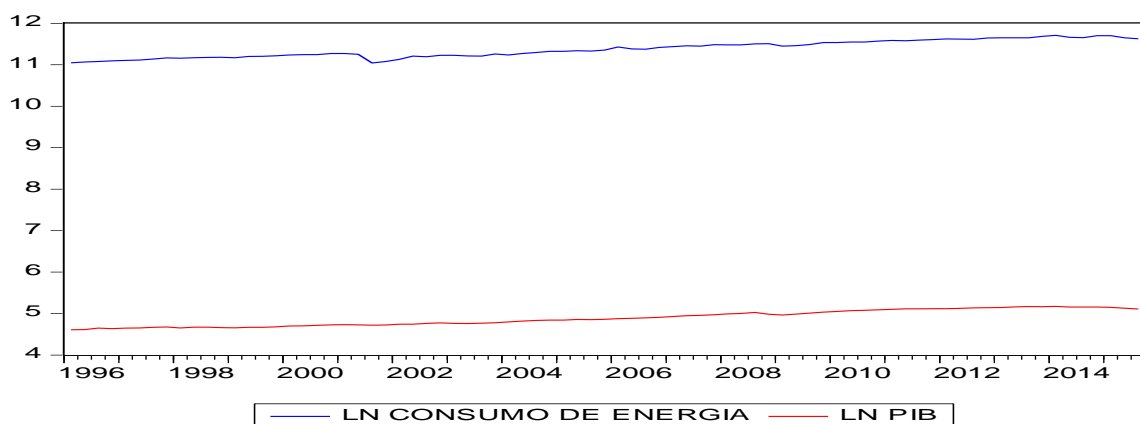
A avaliação da dinâmica do consumo de energia será feita por meio da abordagem de Cointegração de Johansen (1988). Através dessa metodologia, obtêm-se indícios da relação de longo prazo entre as variáveis utilizadas. Entretanto, existe a possibilidade de ocorrer desvios de curto prazo dessa relação de longo prazo. Esses desvios são captados pelo Modelo de Correção de Erros, conforme Johansen e Juselius (1990). Este modelo não capta apenas a velocidade de ajuste dos desvios de curto prazo rumo ao equilíbrio de longo prazo (elasticidades), mas através de sua significância estatística também indica a relação de causalidade das variáveis (ENDERS, 1995).

#### 4.1 Dados Utilizados

Para essa análise foram utilizados dados trimestrais entre o 1º trimestre de 1996 e o 3º trimestre de 2015. Utilizou-se de dados do consumo final de energia elétrica (Consumo de Energia) – quantidade (GWH), contraída junto Eletrobrás S.A e do Produto Interno Bruto (PIB) a preços de mercado, Sistema de Contas Nacionais, obtidos a partir do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), dessazonalizado e deflacionado pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGPD-DI) da Fundação Getúlio Vargas (FGV), disponibilizados pelo IPEADATA. Todas as variáveis foram convertidas em logaritmos naturais (LN)<sup>7</sup>.

Segundo Gujarati (2011) é sempre bom traçar o gráfico das séries temporais estudadas, pois eles oferecem uma ideia inicial da provável natureza da série temporal. A percepção intuitiva, através da análise gráfica, é o ponto de partida dos testes de estacionariedade formais. A FIGURA 2 mostra o comportamento das séries de dados.

**FIGURA 2:** Comportamento das variáveis Consumo de Energia e PIB, 1º Trimestre de 1996 a 3º Trimestre de 2015.



Fonte: Elaboração dos autores com base em ELETROBRÁS S.A e IBGE (2016).

<sup>7</sup>Para evitar os problemas de *overdifferencing* resultante da sobreposição dos operadores de diferença, conforme Charemza e Deadman (1997, p.103).

Algumas ressalvas são necessárias. As conclusões a respeito da relação de causalidade entre consumo de eletricidade e crescimento econômico da maior parte dos estudos desenvolvidos são baseadas em quatro hipóteses, destacadas a seguir (OZTURK, 2010).

- i) Há uma relação de causalidade unidirecional do consumo de eletricidade para o crescimento econômico. Isso implica o fato de que na existência de restrições na disponibilidade de eletricidade o crescimento econômico fica comprometido, ao passo que os aumentos no uso da eletricidade podem contribuir para o crescimento econômico. Trata-se da hipótese do crescimento, a qual demonstra que políticas conservadoras relacionadas ao consumo de eletricidade devem ser desencorajadas por serem contraproducentes. Por exemplo, uma redução no consumo de eletricidade pode levar a uma queda na renda, evidenciando não apenas que o país em questão é dependente de energia elétrica, bem como os choques negativos de energia, tais como políticas de aumento dos preços da energia elétrica ou políticas conservadoras de energia elétrica irão impactar negativamente no crescimento;
- ii) Há relação de causalidade unidirecional do crescimento econômico para o consumo de eletricidade, enquanto uma forte justificativa para a adoção de políticas conservadoras de energia, tais como racionamento de eletricidade. Trata-se da hipótese conservadora, a qual indica que um aumento no crescimento econômico causa um aumento no consumo de eletricidade, sugerindo que políticas restritivas em relação ao consumo de eletricidade não tem efeito adverso no crescimento econômico. Logo, essas políticas conservadoras podem ser adotadas com certa segurança, tendo a sua adoção justificada com pouca ou nenhuma repercussão negativa sobre o crescimento econômico. Por outro lado, um aumento contínuo no crescimento pode implicar um aumento permanente do consumo de eletricidade;
- iii) Há uma relação de bicausalidade entre o consumo de eletricidade e o crescimento econômico significa que essas duas variáveis são mutuamente afetadas e conjuntamente determinadas ao mesmo tempo. Se essa relação for constatada, o uso da energia elétrica aumenta como um resultado da renda elevada, pois o crescimento econômico pode demandar mais eletricidade. Contudo, o consumo de eletricidade pode induzir o crescimento econômico de um país através da produção industrial, por exemplo. A hipótese *feedback* implica que uma redução no consumo de eletricidade pode afetar, de maneira adversa, o crescimento econômico e vice-versa, de modo que uma abordagem diferente de política pública seria necessária ao considerar essas duas variáveis;
- iv) Um quarto cenário associado à falta de relação de causalidade entre consumo de eletricidade e crescimento econômico indica que nem as políticas expansivas nem políticas conservadoras em relação ao consumo de energia elétrica tem qualquer efeito sobre o crescimento econômico, pois a energia elétrica é um pequeno componente do produto agregado. A conclusão revelaria um papel menor do consumo de eletricidade e seus efeitos no crescimento econômico de um país.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos testes de raiz unitária para as variáveis estão relatados na TABELA 1<sup>8</sup> e mostram que, para ambos os testes, não foi possível rejeitar a hipótese nula de raiz unitária das séries ao nível de significância de 5%, ou seja, as mesmas são não estacionárias em nível.

**TABELA 1:** Testes de raiz unitária em nível.

Dickey-Fuller Aumentado (ADF)						
Série	Estatística do teste	Lag	Valores críticos		Rejeita H <sub>0</sub> : Raiz Unitária	
			1%	5%	1%	5%
LN CONSUMO DE ENERGIA	-3,03	0	-4,08	-3,47	Não	Não
LN PIB	-1,19	1	-4,08	-3,47	Não	Não
Phillips-Perron (PP)						
Série	Estatística do teste	Lag	Valores críticos		Rejeita H <sub>0</sub> : Raiz Unitária	
			1%	5%	1%	5%
LN CONSUMO DE ENERGIA	-2,98	6	-4,08	-3,47	Não	Não
LN PIB	-1,08	2	-4,08	-3,47	Não	Não

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Notas: Estimação com constante e tendência.

As defasagens para o teste foram determinadas pelo critério de informação de Schwarz.

Dado que todas as variáveis do modelo exibiram raízes unitárias em nível passa-se, então, à definição da ordem de integração de cada variável. Para isso, aplicaram-se os respectivos testes na série em primeira diferença. Neste caso, se a hipótese nula for rejeitada, então a variável é integrada de ordem um,  $x_t \sim I(1)$ . Caso contrário, diferencia-se novamente a série e aplica-se o teste até que a hipótese nula seja rejeitada. Os resultados de ambos os testes, apresentado na TABELA 2, mostram que todas as variáveis são integradas de mesma ordem, ou seja,  $I(1)$ . Isso é um indicativo que o modelo de correção de erros constitui uma boa solução econométrica.

**TABELA 2:** Testes de raiz unitária em primeira diferença.

Dickey-Fuller Aumentado (ADF)						
Série	Estatística do teste	Lag	Valores críticos		Rejeita H <sub>0</sub> : Raiz Unitária	
			1%	5%	1%	5%
LN CONSUMO DE ENERGIA	-8,75	0	-4,08	-3,47	Sim	Sim
LN PIB	-6,84	0	-4,08	-3,47	Sim	Sim
Phillips-Perron (PP)						
Série	Estatística do teste	Lag	Valores críticos		Rejeita H <sub>0</sub> : Raiz Unitária	
			1%	5%	1%	5%
LN CONSUMO DE ENERGIA	-10,57	27	-4,08	-3,47	Sim	Sim
LN PIB	-6,87	1	-4,08	-3,47	Sim	Sim

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Notas: Estimação com constante.

As defasagens para o teste foram determinadas pelo critério de informação de Schwarz.

<sup>8</sup>Os resultados foram obtidos através do pacote econométrico Eviews 8.0.

Nos testes anteriores de raiz unitária não houve a preocupação formal em considerar a possibilidade de quebras estruturais. Uma maneira de tornar mais rigoroso os testes para verificar a estacionariedade das séries é considerar a partir da análise gráfica, a existência de quebras estruturais<sup>9</sup>. Neste contexto, o teste de Zivot e Andrews (1992), pressupõe que a quebra estrutural é determinada de forma endógena. No referido teste são consideradas três tipos possíveis de quebras estruturais<sup>10</sup>. Os resultados presentes na TABELA 3 indicaram que não se rejeita a hipótese nula de raiz unitária sem quebra estrutural para as variáveis em nível.

**TABELA 3:** Testes de raiz unitária com componentes de quebras estruturais em nível.

Zivot e Andrews							
Componente da Quebra: Com Intercepto Individual							
Série	Estatística do teste	Lag	Valores críticos		Data da Quebra	Rejeita H <sub>0</sub>	
			1%	5%		1%	5%
LN CONSUMO DE ENERGIA	3,52	1	5,57	5,08	x	Não	Não
LN PIB	-3,75	1	5,57	5,08	x	Não	Não
Componente da Quebra: Com Tendência							
Série	Estatística do teste	Lag	Valores críticos		Data da Quebra	Rejeita H <sub>0</sub>	
			1%	5%		1%	5%
LN CONSUMO DE ENERGIA	-2,64	1	-4,93	-4,42	x	Não	Não
LN PIB	-3,78	1	-4,93	-4,42	x	Não	Não
Componente da Quebra: Com Intercepto e Tendência Individuais							
Série	Estatística do teste	Lag	Valores críticos		Data da Quebra	Rejeita H <sub>0</sub>	
			1%	5%		1%	5%
LN CONSUMO DE ENERGIA	2,52	1	5,57	5,08	x	Não	Não
LN PIB	-3,75	1	5,57	5,08	x	Não	Não

**Fonte:** Elaboração dos autores.

As defasagens para o teste foram determinadas pelo critério de informação de Schwarz.

H<sub>0</sub>: Raiz unitária sem quebra estrutural em nível.

Realizou-se análise de correlações entre as variáveis consumo de energia e produto interno bruto. Assim, os resultados apresentados na TABELA 4 validam o esperado pela literatura econômica evidenciada nesse estudo: existe uma forte correlação positiva ao longo do tempo entre os gastos de consumo de energia elétrica e o crescimento econômico. Neste contexto, reconhece-se que o coeficiente de correlação fornece uma primeira aproximação se as variáveis caminham numa mesma direção. Em termos econômicos, isso significa que o aumento do crescimento econômico reflete positivamente no aumento dos gastos de consumo de energia elétrica.

<sup>9</sup>A presença de quebra estrutural em uma série pode levar os testes padrão a concluir erroneamente pela presença de uma raiz. As séries das variáveis utilizadas no trabalho são vulneráveis a choques econômicos.

<sup>10</sup>O que implica a utilização de três modelos em que a hipótese nula é que a série contém uma raiz unitária sem quebra estrutural e as hipóteses alternativas são possíveis versões de uma série com tendência determinística estacionária com uma mudança no intercepto, ou uma mudança na inclinação ou em ambos.

**TABELA 4:** Matriz de correlação.

Correlação	LN CONSUMO DE ENERGIA	LN PIB
LN CONSUMO DE ENERGIA	1,00	
LN PIB	0,98	1,00

Fonte: Elaboração dos autores.

Uma vez que as variáveis são integradas de mesma ordem, ou seja,  $I(1)$ , conforme os testes de raiz unitária realizados nas tabelas 1 a 2, procedeu-se à estimação do VEC.

Tradicionalmente, antes de estimar o VEC, é necessário adotar algum critério para selecionar o número de defasagens (*lags*) que será considerado no modelo. Nesse sentido, a ordem de defasagem foi definida de acordo com os critérios de Akaike (AIC), Schwartz (SC) e Hannan-Quinn (HQ). A TABELA 5 mostra que os Critérios de Informação sugerem um VAR irrestrito com uma defasagem<sup>11</sup>, ou seja, um VEC sem defasagens.

**TABELA 5:** Critério de seleção do melhor modelo.

Defasagens	AIC	SC	HQ
0	-4,20	-4,13	-4,17
1	-10,06*	-9,87*	-9,98*
2	-10,05	-9,75	-9,94
3	-9,97	-9,53	-9,79
4	9,90	-9,34	-9,68

Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: AIC: Critério de Informação de Akaike; SC: Critério de Informação de Schwarz; HQ: Critério de Informação de Hannan-Quinn; (\*) indica a ordem selecionada por cada critério.

Antes de tomar a primeira diferença das séries e estimar o VEC, segue-se com o teste de cointegração com intuito de testar a existência de uma relação de longo prazo comum entre as variáveis. Além disso, deseja-se avaliar a dinâmica de curto prazo por meio do coeficiente de ajuste do VEC. Na determinação do modelo de cointegração foi considerado um modelo com constante no vetor de cointegração e tendência linear nos dados.

As estatísticas do traço e do máximo autovalor apontam para a existência de um vetor de cointegração ao nível de significância de 5%. Isso significa que as variáveis possuem uma tendência estocástica comum, isto é, há uma relação de longo prazo entre as séries. A ideia é que, embora as variáveis possam apresentar desvios em suas trajetórias de curto prazo, em virtude de choques que eventualmente acometem a economia, uma vez dissipados os efeitos de tais choques, estas variáveis convergem para um comportamento padrão sincronizado de longo prazo. Os resultados são expostos na TABELA 6.

<sup>11</sup>Testes de diagnóstico adicionais foram realizados a fim de inferir se a especificação proposta pelos critérios de informação realmente estavam produzindo resíduos do tipo ruído branco.

**TABELA 6:** Teste de Cointegração de Johansen.

Há r vetores de cointegração	Autovalor	Traço	Valor Crítico (5%)	Prob.**	Máximo	Valor Crítico (5%)	Prob.**
r=0*	0,17	15,50	15,49	0,0499	14,42	14,26	0,0472
r=1	0,01	1,08	3,84	0,2992	1,08	3,84	0,2992

Fonte: Elaboração dos autores.

\*Denota rejeição de  $H_0$  com um nível de significância de 5%.

\*\*P-valores baseados em Mackinnon-Haug-Michelis (1999).

A TABELA 7 reporta as estimativas do vetor de cointegração<sup>12</sup> detectado e o modelo de correção de erros. Dessa forma, pela análise de cointegração, a relação de longo prazo entre as variáveis do modelo fica assim estimada:

$$LN\ CONSUMO\ DE\ ENERGIA = 6,360 + 1,026 LN\ PIB \quad (1)$$

As estimativas obtidas para todos os coeficientes<sup>13</sup> são estatisticamente significantes. Além disso, a elasticidade-desempenho econômico<sup>14</sup> de longo prazo do consumo de energia é 1,026, o que significa dizer que, uma elevação de 10% no crescimento econômico gerará um aumento de 10,26% no consumo de energia elétrica, *ceteris paribus*. O fato de a elasticidade de longo prazo do consumo de energia elétrica ser diferente de 1 significa que os ajustes rumo ao equilíbrio não ocorrem integralmente no curto prazo, necessitando de um determinado período de para alcançar esse equilíbrio.

A análise de exogeneidade (causalidade no sentido de Granger) dentro do contexto do modelo de correção de erros também é alvo da pesquisa. O objetivo é examinar como se corrigem eventuais erros de equilíbrio de longo prazo. Em outras palavras, dada a relação de longo prazo existente entre as variáveis, o intuito é verificar qual variável se ajusta (dado um choque no sistema) para garantir o equilíbrio de longo prazo já detectado. Os resultados estão na parte inferior da TABELA 7.

Nota-se que o coeficiente do consumo de energia elétrica (teste  $t = -4,45$ ) foi estatisticamente significativo a 5%, ao passo que o coeficiente do produto interno bruto não possui significância estatística (teste  $t = -1,52$ )<sup>15</sup>. Isso significa que consumo de energia é a variável responsável pelos ajustes que devem ocorrer no curto prazo, dado a incidência de algum choque, para que siga a seu equilíbrio de longo prazo.

Em termos econométricos, o produto interno bruto não responde às discrepâncias em relação ao equilíbrio no longo prazo. Portanto, essa variável é caracterizada como exogenamente fraca. Em termos de causalidade, enquanto o consumo de energia não Granger-cause o produto interno bruto, o contrário pode ser observado, isto é, produto interno bruto Granger-cause o

<sup>12</sup>No longo prazo  $LN\ CONSUMO\ DE\ ENERGIA(-1) = LN\ CONSUMO\ DE\ ENERGIA$ ;  $LN\ PIB(-1) = LN\ PIB$ .

<sup>13</sup>TABELA 7.

<sup>14</sup>O sinal está de acordo com o esperado pela teoria econômica, uma relação direta entre o aumento do crescimento econômico e os gastos de consumo de energia. Para mais detalhes ver Pyndyck e Rubinfeld (1994); Varian (1997); Vasconcelos e Oliveira (2000); Blanchard (2002).

<sup>15</sup>Sob a condição que há uma relação de cointegração, o teste de razão de verossimilhança aceita a hipótese nula que a variável PIB seja fracamente exógena no longo prazo.



consumo de energia ao nível de significância de 5%, mostrando que o aumento no crescimento econômico influencia positivamente o aumento do consumo de energia.

**TABELA 7:** Teste de cointegração e modelo de correção de erros.

Vetor de Cointegração	CointEq1	
LN CONSUMO DE ENERGIA(-1)	1,000	
LN PIB(-1)	-1,026	
	(0,047)	
	[-21,695]	
C	-6,306	

Modelo de Correção de Erros	D(LN CONSUMO DE ENERGIA)	D(LN PIB)
CointEq1	-0,407	-0,055
	(0,091)	(0,036)
	[-4,453]	[-1,519]
C	0,007	0,006
	(0,003)	(0,001)
	[ 2,085]	[ 4,529]

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Obs: Desvio Padrão entre parênteses e estatística *t* entre colchetes.

Segundo Hendry e Juselius (2000) quando há relações de cointegração nas séries das variáveis consideradas, há impactos dos termos de perturbações estocásticas (os desvios de curto prazo) sobre as relações das variáveis cointegradas no longo prazo nos modelos VEC.

Nesse contexto, foi realizado um teste de estabilidade – teste das raízes inversas do polinômio característico do sistema VAR<sup>16</sup>. O resultado do teste de estabilidade assegura a presença das raízes entre zero e um, como revela a TABELA 8, o que indica que o sistema é estável.

**TABELA 8:** Teste de estabilidade do modelo.

Raízes	Módulos
1,000000	1,000000
0,650084	0,650084

**Fonte:** Elaboração dos autores.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi analisar a relação entre consumo de energia elétrica e desempenho econômico para o caso brasileiro, isto é, mais especificamente: verificar se há relação de longo prazo entre as variáveis estudadas; verificar a elasticidade-desempenho econômico do consumo energético; verificar se o aumento no crescimento econômico é responsável por promover aumento no consumo de energia elétrica, ou a causalidade é reversa. A análise enfatizou o período compreendido entre o 1º trimestre de 1996 e o 3º de 2015. A metodologia econométrica utilizada envolve técnicas de cointegração, tal como descrito por

<sup>16</sup>Se todas as raízes do polinômio caírem dentro do círculo unitário o sistema deverá ser estável, o que significa que todas as raízes devem ter módulo igual ou menor que um; se algumas raízes ficarem fora do círculo, então o sistema é instável com comportamento explosivo; e se uma raiz ficar sobre o círculo unitário, então o sistema é não-estacionário podendo ter trajetória de tendência estocástica ou passeio aleatório (LUTKEPOHL, 2005).

Johansen (1988) e Modelo de Vetores Auto Regressivos e Correção de Erros (Johansen; Juselius, 1990).

Este estudo vislumbrou um esforço para demonstrar a relação entre consumo de energia elétrica e desempenho econômico para o caso brasileiro. Identificou-se através dos testes de Dickey-Fuller (1979) e Phillips-Perron (1989) que todas as variáveis são estacionárias em primeira diferença, portanto, integradas de mesma ordem, ou seja,  $I(1)$ . Posteriormente, através da matriz de correlação, comprovou-se a hipótese central de que existe uma forte correlação positiva ao longo do tempo entre as evoluções do consumo de energia elétrica e do produto interno bruto. Em termos econômicos, isso significa que o aumento do crescimento econômico reflete positivamente no aumento consumo de energia.

Através do teste de cointegração de Johansen (1988) comprovou-se a existência de um vetor de cointegração, indicando que as variáveis consumo de energia elétrica e produto interno bruto possuem uma relação de equilíbrio de longo prazo. A ideia é que, embora as variáveis possam apresentar desvios em suas trajetórias de curto prazo, em virtude de choques que eventualmente acometem a economia, uma vez dissipados os efeitos de tais choques, estas variáveis convergem para um comportamento padrão sincronizado de longo prazo. Além disso, a elasticidade-crescimento econômico de longo prazo do consumo de energia é 1,026, o que significa dizer que uma elevação de 10% no crescimento econômico gerará um aumento de 10,26% no consumo de energia elétrica, *ceteris paribus*.

Um dos objetivos específicos do artigo consistiu em verificar o sentido da causalidade, no sentido de Granger, entre o consumo de energia elétrica e o produto interno bruto. Os resultados do teste comprovaram a hipótese subjacente de que há relação de causalidade unidirecional do crescimento econômico para o consumo de eletricidade, enquanto há forte justificativa para a adoção de políticas conservadoras de energia, tais como racionamento de eletricidade, tendo em vista que o país opera na sua quase totalidade capacidade de produção, e, como se observa no GRÁFICO 2, o consumo de energia apresenta uma trajetória ascendente. Esse resultado é corroborado pelas evidências encontradas em Kraft e Kraft (1978), Narayan e Smyth (2005), Mozumder e Marathe (2007), Ghosh (2009), Shahbaz e Tang e Shabbir (2011).

## REFERÊNCIAS

ABOSEDRA, S.; DAH, A.; GHOSH, S. Electricity consumption and economic growth, the case of Lebanon. *Applied Energy*, v. 86, n. 4, p. 429-432, 2008.

ALTINAY, G.; KARAGOL, E. Electricity consumption and economic growth: evidence from Turkey. *Energy Economics*, v. 27, p. 849-856, 2005.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005.

ANDRADE, T.; LOBÃO, W. **Elasticidade-renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil**. Textos para Discussão nº 489. IPEA. 1997.

BLANCHARD, O. **Macroeconomia**. . 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

BEN. **Balço Energético Nacional**. 2008.

BRASIL. **Operador do sistema elétrico nacional: sistema de transmissão 2013-2015**, 2014. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/download/biblioteca\\_virtual/publicacoes/dados\\_relevantes\\_2013/html/02-06-Sistema-de-Transmissao-2011-2016.html?expanddiv=02](http://www.ons.org.br/download/biblioteca_virtual/publicacoes/dados_relevantes_2013/html/02-06-Sistema-de-Transmissao-2011-2016.html?expanddiv=02)>. Acesso em: 09 abr. 2015.

CARMINATI, J. G. O.; SCALCO, P. R. Relações de causalidade entre energia e crescimento econômico no Brasil, **Revista Brasileira de Energia**, v. 19, n° 2, p. 355-374, 2013.  
CHAREMZA, W. W.; DEADMAN, D. **New directions in econometric practice general to specific modelling, cointegration and vector autoregression**. 2. ed. Cheltenham: Edward Elgar Publisher Limited, 1997.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. New York: John Wiley & Sons, 1995.

GADELHA, S. R. B.; CERQUEIRA, R. M. G. **Consumo de eletricidade e crescimento econômico no Brasil, 1952-2010: uma análise de causalidade**. Tesouro Nacional, **Texto de Discursão nº 16**, Brasília, 2013.

GHOSH, S. Electricity supply, employment and real GDP in India: evidence from cointegration and Granger-causality tests. **Energy Policy**, v. 37, p. 2926-2929, 2009.

GUJARATI, N. D. **Econometria básica**. 5. ed. São Paulo: Makron Books, 2011.

GURGUL, H.; LACH, L. The electricity consumption versus economic growth of the Polish economy. **Energy Economics**, v. 34, p. 500-510, 2012.

IPEADATA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Consumo Final de Energia Elétrica**. Disponível em <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Data de acesso: 29 ab. 2016.

\_\_\_\_\_. **Produto interno bruto a preços de mercado**. Disponível em <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Data de acesso: 29 ab. 2016.

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

JOHANSEN, S.; JUSELIUS, K. Maximum likelihood estimation and inference on cointegration: with applications to the demand for money. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, v. 52, p. 169-219, 1990,.

KRAFT, J.; KRAFT, A. On the relationship between energy and GNP. **Journal of Energy and Development**, v. 3, p. 401-403, 1978.

KOUAKOU, A. K. Economic growth and electricity consumption in Cote d'Ivoire: evidence from time series analysis. **Energy Policy**, v. 39, p. 3638-3644, 2011.

LEITE, ANTONIO DIAS. **A energia do Brasil**. 2. ed. Elsevier: Rio de Janeiro. 2007.

- LUTKEPOHL, H. New introduction to multiple time series analysis. New York: Springer, 2005.
- MENEGAKI, A. N. Growth and renewable energy in Europe: a random effect model with evidence for neutrality hypothesis. **Energy Consumption**, v. 33, p. 257-263, 2011.
- MOZUMDER, P.; MARATHE, A. Causality relationship between electricity consumption and GDP in Bangladesh. **Energy Policy**, v. 35, p. 395-402, 2007.
- NARAYAN, P. K.; SMYTH, R. Electricity consumption, employment and real income in Australia: evidence from multivariate Granger causality tests. **Energy Policy**, v. 33, p. 1109-1116, 2005.
- NARAYAN, P. K.; SINGH, B. The electricity consumption and GDP nexus for the Fiji Islands. **Energy Economics**, v. 29, p. 1141-1150, 2007.
- ODHIAMBO, N. M. Electricity consumption and economic growth in South Africa: a trivariate causality test. **Energy Economics**, v. 31, p. 635-640, 2009.
- OUÉDRAOGO, I. M. Electricity consumption and economic growth in Burkina Faso: a cointegration analysis. **Energy Economics**, v. 32, p. 524-531, 2010.
- OZTURK, I. A literature survey on energy-growth nexus. **Energy Policy**, v. 38, n. 1, p. 340-349, 2010.
- PAO, H. T. Forecast of electricity consumption and economic growth in Taiwan state space modeling. **Energy**, v. 34, p. 1179-1191, 2009.
- PAYNE, J. E. On the dynamics of energy consumption and output in the US. *Applied Energy*, v. 86, p. 575-577, 2009.
- PINTO JR, H. Q. (Org.). **Economia da energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. Elsevier: Rio de Janeiro. 2007.
- PYNDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. São Paulo: Makron Books, 1994.
- SHAHBAZ, M.; TANG, C. F.; SHABBIR, M. S. Electricity consumption and economic growth nexus in Portugal using cointegration and causality approaches. **Energy Policy**, v. 39, p. 3529-3536, 2011.
- SHAHBAZ, M.; LEAN, H. H. The dynamics of electricity consumption and economic growth: a revisited study of their causality in Pakistan. **Energy**, v. 39, p. 146-153, 2012.
- TOLMASQUIM, MAURICIO T.; GUERREIRO, AMILCAR; GORINI, RICARDO. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos**, v. 79, pp. 46-69, 2007.
- VARIAN, R. **Microeconomia: princípios básicos** 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- VASCONCELOS, M. A. S. ; OLIVEIRA, R. G. **Manual de microeconomia**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

YOO, S. H.; KWAK, S. Y. Electricity consumption and economic growth in seven South American countries. *Energy Policy*, v. 38, p. 181-188, 2010.

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.

ZIVOT, E. AND ANDREWS, K. Further evidence on the great crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis. ***Journal of Business and Economic Statistics***, v. 10, 1992, p. 251-70.