



## RELAÇÕES DE CAUSALIDADE ENTRE ENERGIA E CRESCIMENTO ECONÔMICO NO BRASIL

João Guilherme de Oliveira Carminati<sup>1</sup>

Paulo Roberto Scalco<sup>2</sup>

### RESUMO

Este trabalho pretendeu encontrar as relações causais entre consumo de energia e produto interno bruto (PIB); e entre a oferta de energia e o PIB no Brasil, no período de 1970-2007. Após a realização dos procedimentos econométricos, constatou-se que as séries eram não-estacionárias em nível, porém estacionárias em primeira diferença, e também que as séries eram co-integradas. Através do modelo de correção de erros vetorial (VEC) foi analisada a causalidade tanto de curto como de longo prazo. Os resultados encontrados sugerem a existência de bi-causalidade entre PIB e consumo de energia no longo prazo; e causalidade unidirecional proveniente do PIB em direção ao consumo de energia. E a existência de bi-causalidade entre oferta de energia e PIB no curto prazo; e causalidade unidirecional da oferta de energia em direção ao PIB. Esses resultados fornecem implicações políticas importantes, que podem orientar os *policy makers* na tomada de decisões com respeito a políticas energéticas futuras, objetivando o crescimento econômico sustentado da economia brasileira.

Palavras-chave: causalidade; crescimento econômico; energia; Brasil, modelo VEC

---

1 Universidade Federal de Viçosa (UFV). Endereço postal: Avenida Adelino Peters, 50; bairro: São Vicente; Penápolis – SP; CEP: 16300-000; telefone: (18) 3652-2041, celular: (18) 9621-7173. e-mail: jonescarminati@hotmail.com

2 Universidade Federal de Goiás (UFG). Endereço postal: Rua Vacaria, 735; bairro: Vera Cruz; Passo Fundo – RS; CEP: 99030-040; telefone: (54) 3311-6515, celular: (54) 9617-3822; e-mail: pauloscalco@yahoo.com.br



## ABSTRACT

The present work aimed to find the causality relations between energy consumption and Gross Domestic Product (GDP) and also between the energy offer and GDP in Brazil, during 1970-2007. Following the econometrics proceedings, we observed that the series were non-stationeries in level, however they were stationery in first difference, and also that the series were co-integrated. Using the vector error correction model (VEC) we analyzed the causality of the short and long term. The results suggest the existence of bi-causality between PIB and energy consumption in long term and the unidirectional causality coming from GDP directed to energy consumption. We also suggested the existence of bi-causality between energy offer and GDP in short term, and unidirectional causality of energy offer directed to PIB. These results give important politic implications that can orient the decisions of policy makers in respect of the future energy policy, aiming the Brazilian sustainable economic growth.

Key words: causality; economic growth; energy; Brazil; vector error correction model

## 1. INTRODUÇÃO

A importância da energia, assim como outras fontes de infra-estrutura como estradas, ferrovias, portos e aeroportos, no processo produtivo e em outras atividades fundamentais para o crescimento econômico, é fato estilizado dentro da teoria econômica.

Na conjuntura atual, as discussões com relação ao cenário energético mundial, apontam para uma possível escassez de energia, decorrente da natureza não-renovável de grande parte das fontes usuais empregadas pelo modelo de desenvolvimento energético de inúmeros países, entre os quais o Brasil. Consequentemente, as questões voltadas para a preservação e o aumento da oferta energética, que garantam a continuidade do processo de crescimento e desenvolvimento econômico, ocupam papel central nas discussões político-econômicas de inúmeras nações.

No Brasil, a questão energética ocupa papel de destaque dentre os interesses nacionais. Sabe-se que a escassez de energia, como um importante fator de produção, pode comprometer o crescimento econômico do país, limitando a capacidade de expansão do produto, da renda e do emprego, trazendo incertezas ao desenvolvimento sustentado da economia.



Portanto, estudar as relações energéticas e suas implicações sobre o crescimento e o desenvolvimento econômico é de grande relevância no que diz respeito à formulação de políticas econômicas voltadas para impulsionar o crescimento sustentado do produto.

Neste contexto, o assunto da causalidade entre energia e PIB tem sido um tópico que diz respeito aos economistas que estudam energia por um longo período, dado que os resultados têm importantes implicações para política (CHONTANAWAT et al, 2008). Ademais, caso exista relação unidirecional no sentido da energia para o PIB, reduções no consumo ou na oferta de energia poderiam provocar a redução do produto. No entanto, se a relação for unidirecional do PIB para energia, políticas voltadas para a conservação de energia podem ser implantadas sem causar a diminuição do produto.

Existem diversos trabalhos, para diversos países, que tratam da causalidade entre PIB e energia. No entanto, não existe uniformidade no que se refere aos resultados encontrados, ou seja, diferentes estudos apontam para diferentes respostas. Por exemplo, os estudos de Paul e Bhattacharya (2004), Yoo (2005), Akinlo (2008) encontraram uma relação bi-direcional entre energia e produto. Por outro lado, os trabalhos de Chontanawat et al (2008), Narayan e Smyth (2008) comprovaram a relação unidirecional, no sentido da energia para o PIB. Ao contrário, o trabalho de Kraft e Kraft (1978) evidenciou a relação unidirecional, no sentido do PIB para a energia.

Os trabalhos apresentados anteriormente utilizam-se, em grande parte, de dados sobre energia elétrica. O presente trabalho se diferencia dos supracitados ao realizar sua análise utilizando-se de dados agregados para energia, que são disponibilizados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) através do Balanço Energético Nacional (BEN). Isto significa que todo tipo de fonte energética, como por exemplo, a hidroelétrica, carvão mineral, gás natural, nuclear, biomassa, combustíveis etc, são aplicadas para o desenvolvimento deste estudo, pois evidencia-se que diversas fontes de energia, e não somente a elétrica, são empregadas como insumo para produção nos diversos setores da economia brasileira.

Ademais, este estudo também inova ao introduzir a análise da oferta energética para inferir resultados de causalidade entre oferta de energia e crescimento econômico.

Diante do apresentado, este trabalho pretende estudar as relações entre crescimento econômico e evolução do consumo e da oferta de energia no



Brasil. Para tanto, utilizou-se de três variáveis: o Produto Interno Bruto (PIB), expresso em dólares americanos (US\$) de 2007; a oferta interna de energia (OIE), expressa em toneladas equivalentes de petróleo (TEP), e o consumo final energético (CFE), também expresso em toneladas equivalentes de petróleo.

As hipóteses deste estudo são que tanto a oferta quanto a demanda de energia afetam o crescimento econômico. Essas proposições se baseiam na premissa que quanto maior a infra-estrutura de um país (no caso a oferta de energia), maior o estímulo ao investimento e, conseqüentemente, ao aumento da demanda agregada e ao crescimento do produto. E quanto maior o crescimento econômico, tanto maior é a demanda por energia, que também é um fator de produção como capital e trabalho, o que está de pleno acordo com a teoria Keynesiana, onde consumo e renda são significativamente correlacionados (TANG, 2008).

Os objetivos deste texto compreendem o estudo das características das séries empregadas; a análise da importância das variáveis para o crescimento e o desenvolvimento da economia; e a análise das relações de causalidade existentes entre as variáveis PIB e consumo de energia, e PIB e oferta de energia, tanto no curto quanto no longo prazo.

Na Seção 2 estão elencados trabalhos sobre o tema, além de toda a base teórica a qual está baseado o trabalho. Na Seção 3 foi introduzida a metodologia utilizada. Na Seção 4 foram apresentados e discutidos os resultados encontrados. Finalmente, na quinta e última seção estão descritas as conclusões do trabalho.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. A importância da energia para o crescimento e para o desenvolvimento econômico**

Segundo Paul e Bhattacharya (2004), toda produção e muitas atividades de consumo envolvem a energia como um insumo essencial. A energia é fonte chave do crescimento econômico, industrialização e urbanização. Por outro lado, o crescimento econômico, a industrialização e a urbanização podem induzir o maior uso de energia.

O uso de fontes de energia e de tecnologias modernas de uso final levou a mudanças qualitativas na vida humana, proporcionando tanto o



aumento da produtividade econômica quanto do bem-estar da população, isto é, melhorias nas condições de vida da sociedade. Também, o propósito para o qual os serviços energéticos<sup>3</sup> são alocados é que determina, em última análise, o nível de desenvolvimento econômico atingido (GOLDEMBERG e MOREIRA, 2005).

Na maioria dos países, nos quais o consumo de energia comercial *per capita* está abaixo de 1 TEP por ano, as taxas de analfabetismo, mortalidade infantil e fertilidade total são altas, enquanto a expectativa de vida é baixa. Dessa forma, ultrapassar a barreira de 1 TEP *per capita* parece ser, portanto, essencial para o desenvolvimento. Na medida em que o consumo de energia *per capita* aumenta para valores acima de 2 TEP (ou mais), como é o caso dos países desenvolvidos como os Estados Unidos, Japão e países da Europa, as condições sociais melhoram consideravelmente. O consumo médio *per capita* nos países industrializados da OECD<sup>4</sup> é de 4,7 TEP *per capita*; a média mundial é de 1,8 TEP *per capita*, enquanto no Brasil atinge a marca de 1,18 TEP *per capita* (GOLDEMBERG, 1998; e IEA, 2008).

O acesso limitado à energia torna-se, assim, uma séria restrição aos países em desenvolvimento, onde o uso de energia *per capita* é menos que um sexto do que é consumido pelos países industrializados (IAEA, 2005).

Entretanto, o fato de a energia ser necessária para sustentar as atividades econômicas, não implica que haja uma correlação fixa universal entre o uso de energia e a atividade econômica para todos os diversos países. Isto é, em determinados países a energia pode atribuir relativa importância para o crescimento, enquanto que em outros países essa relação pode não ocorrer tão fortemente (GOLDEMBERG e MOREIRA, 2005).

## **2.2. Infra-estrutura energética (oferta de energia) e crescimento econômico**

A infra-estrutura segundo Hirschman (1961) consiste em serviços básicos, que facilitam o desenvolvimento da atividade produtiva. A infra-estrutura é condição fundamental ao desenvolvimento econômico dos países, uma vez que proporciona atendimento a produção de toda a sociedade, além de criar um ambiente propício a novos investimentos.

---

3 Serviços energéticos: são o resultado da combinação de tecnologia, infra-estrutura (capital), trabalho (Know-how) e suprimento de energia (ROGNER e POPESCU 2000).

4 Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Integrada por trinta países membros: Canadá, Coréia do Sul, Estados Unidos, Japão, México, e mais vinte e cinco países da Europa (OECD, 2009).



Os investimentos em infra-estrutura são reconhecidamente um elemento-chave no processo de desenvolvimento econômico, como comprova uma série de estudos empíricos (ARAÚJO JÚNIOR e RAMOS, 2006). Dentre estes, como destaca Ferreira (1996), os gastos com infra-estrutura afetam positivamente a produtividade e o crescimento.

Solow (1957) demonstrou que o crescimento da economia dos Estados Unidos, ao longo do século XX, não podia ser explicado apenas pelo crescimento do capital e do trabalho disponível, mas que havia outra fonte de crescimento econômico. Essa fonte foi denominada Resíduo de Solow<sup>5</sup> e ficou conhecida, na literatura, como Produtividade Total dos Fatores (PTF). A elevação da PTF induz ao crescimento do PIB. Nesse sentido, os investimentos em infra-estrutura aumentam o retorno dos capitais públicos e privados, com incremento da PTF, levando ao crescimento econômico (MENDES e TEIXEIRA, 2006).

O capital em infra-estrutura afeta o retorno dos insumos privados e desta forma estimula investimento e trabalho. Este mecanismo funciona da seguinte forma: para uma dada quantidade de fatores privados, melhores estradas, energia e comunicação abundante e barata elevam o produto final e conseqüentemente implicam maior produtividade dos fatores privados. A maior produtividade, por sua vez, se traduz em elevação da remuneração dos fatores, o que estimula o investimento e o emprego. A infra-estrutura pode também provocar um *crowding in*<sup>6</sup>, na medida em que dá condições para o investimento privado se instalar (FERREIRA, 1996).

Os gastos com infra-estrutura, como a energia, e alguns outros tipos de investimento público, por afetarem a produtividade da economia e, portanto, o retorno do investimento privado e do trabalho, teriam efeito positivo sobre a evolução futura do produto (FERREIRA, 1996).

A segurança da oferta energética é essencial para manter a atividade econômica e para fornecer serviços energéticos à sociedade. A energia torna-se, então, um fator chave para o progresso econômico e passa a fornecer serviços vitais que melhoram a qualidade de vida da população. Assim, o crescimento econômico dos países depende fortemente da oferta de energia com qualidade e segurança (PEREIRA Jr. et al, 2008; IAEA, 2005).

---

5 Resíduo de Solow: o resíduo de Solow está relacionado com a taxa de progresso tecnológico. Se o Resíduo de Solow for igual a zero, o progresso tecnológico também será zero.

6 Crowding in: situação em que os gastos governamentais estimulam os investimentos privados, em vez de deslocá-los ou inibi-los. Situação contrária ao crowding out (SANDRONI, 1999, p. 143).



### 2.3. Consumo de energia (demanda de energia) e crescimento econômico

Segundo Asafu-Adjaye (2000), nas duas últimas décadas numerosos estudos examinaram a relação causal entre consumo de energia e crescimento econômico, usando o conceito de causalidade de Granger. No entanto, a direção da causalidade varia de estudo para estudo. O trabalho de Kraft e Kraft (1978) encontrou evidências em favor da causalidade proveniente do PIB em direção ao consumo de energia, para a economia dos Estados Unidos, no período de 1947 a 1974.

Por outro lado, o estudo de Narayan e Smyth (2008) encontrou uma relação de causalidade, no sentido de Granger, proveniente do consumo de energia em direção ao PIB real. Essa relação, entre consumo de energia e crescimento do produto, apresentou uma relação positiva no longo prazo, o que condiz com a realidade econômica a que se referem estas duas variáveis (NARAYAN e SMYTH, 2008).

Os trabalhos de Akarca e Long (1980), Erol e Yu (1987) Yu e Choi (1985), e Yu e Hwang (1984), *apud* Asafu-Adjaye (2000), não encontraram nenhuma relação causal entre renda (variável *proxy* para PIB) e consumo de energia (ASAFU-ADJAYE, 2000).

O trabalho de Yoo (2005) encontrou resultados bi-direcionais para a causalidade entre o consumo de energia elétrica e crescimento econômico para a Coreia do Sul. Por resultado bi-direcional entende-se que tanto a variação no consumo de energia afeta o crescimento, quanto variações no crescimento afetam o consumo de energia (YOO, 2005). Já o trabalho de Oh e Lee (2004), também para a Coreia do Sul, no período de 1970 a 1999, sugere uma relação causal bi-direcional entre energia e PIB, no longo prazo; e uma causalidade no sentido da energia para o PIB no curto prazo (OH e LEE, 2004).

Os trabalhos de Paul e Bhattacharya (2004) para a Índia, no período de 1950 a 1996; e Akinlo (2008) para onze países<sup>7</sup> da África Sub-Sahariana, também encontraram resultados indicando a causalidade bi-direcional existente entre consumo de energia e crescimento econômico (PAUL e BHATTACHARYA, 2004; AKINLO, 2008).

---

<sup>7</sup> Os onze países são: Camarões, Costa do Marfim, Congo, Gâmbia, Gana, Nigéria, Quênia, Senegal, Suã, Togo e Zimbábue (AKINLO, 2008).



O trabalho de Chontanawat, Hunt e Pierse (2008), realizou um estudo para cem países no período de 1976 a 2000 analisando as relações de causalidade entre produto e energia, no qual identificou, para o Brasil, relação de co-integração entre energia e PIB, e evidência de causalidade da energia para o PIB (CHONTANAWAT et al, 2008).

Se o consumo de energia for um componente vital no crescimento econômico ou se prestar como um complemento para outros fatores de produção, políticas de conservação de energia que reduzem o consumo energético podem ter um impacto adverso nas perspectivas de crescimento dos países. Alternativamente, se o consumo de energia é largamente dependente do crescimento econômico, políticas de conservação de energia orientadas na direção da redução no consumo de energia podem não ter um impacto adverso nas perspectivas de crescimento das nações (APERGIS e PAYNE, 2009).

Dessa forma, conhecer a direção da causalidade entre consumo de energia e crescimento econômico possui significativas implicações. Se, por exemplo, existe causalidade unidirecional proveniente do crescimento econômico para o consumo de energia, isto pode implicar que políticas de conservação de energia podem ser implementadas com pequena adversidade ou nenhum efeito sobre o crescimento econômico. Por outro lado, se a causalidade for unidirecional, proveniente do consumo de energia em direção ao produto, a redução do consumo de energia poderia gerar uma queda no produto. Por fim, se não for encontrada nenhuma causalidade, também conhecida como "hipótese de neutralidade", isto implicaria que políticas de conservação de energia não afetariam o crescimento econômico (ASAFU-ADJAYE, 2000).

### **3. PROCEDIMENTOS ECONÔMÉTRICOS E VARIÁVEIS UTILIZADAS**

Esta sessão tem como objetivo introduzir a base teórica a qual estão embasados os testes econométricos empregados na verificação da causalidade entre produto e energia. A análise da causalidade entre energia e PIB foi realizada através do modelo vetor de correção de erros (VEC), que parte de um modelo auto-regressivo (VAR). Este procedimento é indicado quando se lida com séries não-estacionárias e que sejam co-integradas.

Este trabalho utilizou-se de três variáveis para analisar a causalidade entre produto e energia. Foram elas: o Produto Interno Bruto (PIB), expresso em dólares americanos (US\$) de 2007; a oferta interna de energia



(OIE) expressa em toneladas equivalentes de petróleo (TEP), e o consumo final energético (CFE), também expresso em TEP. Para a operacionalização dos testes econométricos foram tomados os logaritmos das séries.

Foram utilizadas séries anuais no período de 1970 a 2007. Os dados sobre consumo e oferta de energia foram coletados junto ao Ministério de Minas e Energia (MME), através de seu Balanço Energético Nacional (BEN). Os dados sobre o Produto Interno Bruto foram levantados na base de dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

### 3.1. Teste de Estacionariedade (teste de raiz unitária)

Dada a natureza das séries utilizadas, segue-se o paradigma da modelagem de séries temporais não estacionárias. O primeiro passo a ser adotado na parte empírica, portanto, envolve o teste para se detectar a estacionariedade ou não destas séries.

Para este objetivo foram empregados dois testes estatísticos, o Dickey-Fuller – Mínimos Quadrados Generalizados (DF-GLS) e o teste de Kwiatkowski, Philips, Schmidt e Shin (KPSS). Estes testes são conhecidos como testes de “segunda geração”, desenvolvidos para o teste de raízes unitárias que, segundo Madalla e Kim (1998), tem maior poder (probabilidade de não se cometer um erro Tipo II) e tamanho. O teste de hipótese do teste DF-GLS segue o método tradicional em que a hipótese nula é que a série siga um passeio aleatório (ou seja, não estacionária). Entretanto o teste KPSS, a hipótese nula é que a série é estacionária  $I(0)$ , diferente dos demais testes. Portanto, o teste KPSS é uma alternativa para os testes de primeira geração e para o DF-GLS.

Tabela 1 – Resultados dos testes DF-GLS e KPSS para séries anuais dos logaritmos do PIB, oferta interna de energia (OIE) e consumo final energético (CFE).

	Teste DF-GLS	Componentes incluídos	Teste KPSS	Componentes incluídos
PIB	-1,841	Tendência e intercepto	0,176**	Tendência e intercepto
OIE	-2,531	Tendência e intercepto	0,749***	Intercepto
CFE	-2,558	Tendência e intercepto	0,754***	Intercepto
PIB	-3,966***	Tendência e intercepto	0,439	Tendência
OIE	-3,374***	Intercepto	0,253	Intercepto
CFE	-3,307***	Intercepto	0,181	Intercepto

Notas: \*\*\* significativo à 1%, \*\* significativo à 5%.



Verificam-se, a partir da Tabela 1, que os testes DF-GLS, mostraram-se não significativos para as variáveis em nível, porém, rejeitaram  $H_0$ , ao nível de 1% de significância, para as variáveis em primeira diferença. Os testes KPSS ( $H_0$  = série é estacionária), entretanto, rejeitaram  $H_0$  para as variáveis em nível, todos a 1% de significância e não foi rejeitado para as variáveis em primeira diferença.

Portanto, de acordo com os resultados da Tabela 1, é possível inferir que todas as séries analisadas são não-estacionárias em nível. Por outro lado, após efetuar a primeira diferença as séries tornam-se estacionárias, ou seja, integradas de ordem um  $I(1)$ .

### 3.2. Teste de co-integração

Os resultados dos testes de raiz unitária sugerem que um modelo VEC seria mais apropriado que um modelo VAR para caracterizar as relações entre os pares de séries utilizadas (HAMILTON, 1994). Um VEC é um VAR na forma de primeira-diferença, embutindo explicitamente uma co-integração que captura a informação de longo prazo contida na tendência estocástica de cada série utilizada. Segundo o método, do ponto de vista econômico, quando duas ou mais séries estão co-integradas as mesmas se movem conjuntamente no tempo e suas diferenças são estáveis (estacionárias), mesmo quando cada série em particular tenha uma tendência estocástica e seja, portanto, não estacionária. A co-integração reflete a presença de um equilíbrio de longo prazo para o qual o sistema econômico converge a este equilíbrio.

Nesse sentido, utilizou-se o modelo VEC para análise da causalidade entre energia e crescimento econômico. No caso de séries não-estacionárias, e também não co-integradas, a causalidade pode ser determinada através do teste de Granger padrão.

Segundo Hamilton (1994), se cada série é um processo  $I(1)$ , a possibilidade de equilíbrio é analisada utilizando o teste de cointegração de Johansen (1991).

Em síntese, o objetivo do teste é verificar se existem  $n - 1$  vetores de co-integração ( $n$  igual número de variáveis) entre os pares analisados. Este método utiliza o teste da Máxima Verossimilhança baseado na estatística do traço ( $\lambda_{\text{traço}}$ ) e o teste da raiz característica máxima ( $\lambda_{\text{max}}$ ) para determinar o número de vetores de co-integração. Os resultados estão reportados na Tabela 2.

Na estimativa dos vetores de co-integração é importante selecionar uma defasagem ótima para o VAR associado ao VEC que irá gerar resíduos do tipo ruído branco (White Noise). Esta etapa é muito importante na análise uma vez que as defasagens exercem uma significativa influência sobre os resultados. Desta forma, foram utilizados os critérios de Akaike (AIC), Schwarz (SC) e Hannan-Quinn (HQ) para determinar sete defasagens ( $k = 7$ ) para o par PIB-CFE e dez defasagens ( $K = 10$ ) para o par PIB-OIE.

Cada equação de co-integração contém intercepto, porém não possui tendência determinística. O resultado dos testes estatísticos do traço ( $\lambda_{\text{Traço}}$ ) e o teste da raiz característica máxima ( $\lambda_{\text{Máx}}$ ), ao nível de 5% de significância, rejeitam a hipótese de  $r = 0$  para o teste do Traço e de raiz característica máxima. Entretanto, falha ao rejeitar as hipóteses de que o *rank* de co-integração do sistema é ao menos  $r \leq 1$  para os dois testes. Assim, pode-se concluir que existe uma combinação linear estacionária nos dois pares de séries analisados (PIB-CFE e PIB-OIE).

Tabela 2 – Teste de Johansen para vetor de Co-integração

Teste do Traço						
	Teste de hipótese		Raiz característica	Traço Calculado	Valor crítico (5%)	Prob.*
	$H_0$	$H_1$				
PIB CFE	$r = 0$	$r \geq 1$	0,464	22,612	15,494	0,003
	$r \leq 1$	$r \geq 2$	0,099	3,262	3,841	0,070
PIB OIE	$r = 0$	$r \geq 1$	0,810	47,370	15,494	0,000
	$r \leq 1$	$r \geq 2$	0,028	0,804	3,841	0,369

  

Teste da Raiz Característica Máxima						
	Teste de hipótese		Raiz característica	Est. raiz característica máxima	Valor crítico (5%)	Prob.*
	$H_0$	$H_1$				
PIB CFE	$r = 0$	$r = 1$	0,464	19,349	14,264	0,007
	$r \leq 1$	$r = 2$	0,099	3,262	3,841	0,070
PIB OIE	$r = 0$	$r = 1$	0,810	46,566	14,264	0,000
	$r \leq 1$	$r = 2$	0,028	0,804	3,841	0,369

Notas:  $r$  é o rank de cointegração;

\* Valores críticos de MacKinnon-Haug-Michelis (1999)



### 3.3. Modelo de Correção de Erro Vetorial (VEC)

Dado os resultados da análise feita até o momento, a abordagem mais adequada para quantificar as relações entre série I(1) é construir um modelo VEC. Neste modelo, a primeira diferença de cada variável é representada como uma função de seus próprios valores defasados, na ordem de seis defasagens ( $k-1 = 6$ ) para o par PIB-CFE, e nove defasagens ( $k-1 = 9$ ) para o par PIB-OIE ambos possuindo uma equação de co-integração. Os modelos utilizados para conduzir os testes de co-integração na Tabela 3 são dados pelas seguintes equações:

$$\Delta PIB = \sum_{j=1}^k (\alpha_{1j} \Delta PIB_{t-j} + \beta_{1j} \Delta CFE_{t-j}) + \lambda_{11} (\tilde{\varepsilon}_{1t-1}) + \varepsilon_{1t} \quad (1a)$$

$$\Delta CFE = \sum_{j=1}^k (\alpha_{2j} \Delta PIB_{t-j} + \beta_{2j} \Delta CFE_{t-j}) + \lambda_{21} (\tilde{\varepsilon}_{1t-1}) + \varepsilon_{2t} \quad (1b)$$

$$\Delta PIB = \sum_{j=1}^k (\alpha_{3j} \Delta PIB_{t-j} + \beta_{3j} \Delta OIE_{t-j}) + \lambda_{32} (\tilde{\varepsilon}_{2t-1}) + \varepsilon_{3t} \quad (2a)$$

$$\Delta OIE = \sum_{j=1}^k (\alpha_{4j} \Delta PIB_{t-j} + \beta_{4j} \Delta OIE_{t-j}) + \lambda_{42} (\tilde{\varepsilon}_{2t-1}) + \varepsilon_{4t} \quad (2b)$$

onde  $t$  representa os anos,  $\Delta PIB$  é a primeira diferença do logaritmo natural do Produto Interno Bruto (PIB),  $\Delta CFE$  é a primeira diferença do logaritmo natural do consumo final de energia e  $\Delta OIE$  é a primeira diferença do logaritmo natural da oferta interna de energia; e são os resíduos de desequilíbrio, defasados um ano, provenientes das respectivas equações de co-integração;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\phi$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\theta$ ,  $\delta$  e  $\pi$  são parâmetros desconhecidos a serem estimados e  $\varepsilon$  representa um vetor de erros estocásticos usual.

Em tal sistema os parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\phi$  e  $\gamma$  são difíceis de determinar os sinais esperados a priori, o mesmo se aplica a constante  $\pi$ . Entretanto, espera-se que  $\theta > 0$  e  $\delta > 0$ , o que implica que aumentos tanto no consumo como na oferta de energia tenham impactos positivos sobre o PIB. Além disso, os parâmetros  $\lambda$ 's conhecidos como termo de correção de erro (ECT – error correction term), descrevem as velocidades de ajustamento de desequilíbrios que ocorrem no curto prazo até restabelecer o equilíbrio de longo prazo.

De acordo com os testes do Multiplicador de Lagrange, para correlação serial nos resíduos, ao nível de 1% de significância, foram rejeitadas as hipóteses de correlação serial nos dois pares de equações estimadas.



O teste normalidade dos resíduos, através do método de Cholesky de ortogonalização dos resíduos, rejeitou a hipótese nula de que os resíduos sejam normalmente distribuídos. Os valores de R2 variam entre 0,70 à 0,97 indicando que o modelo relativamente explica um grande percentual da variação da mudança do logaritmo natural de cada série econômica.

A Tabela 3 reporta as estimativas empíricas de  $\theta$ ,  $\delta$  e  $\pi$  para os dois vetores de co-integração normalizados. Esses resultados, como discutido anteriormente, representam as relações de longo prazo entre PIB e CFE e entre PIB e OIE, respectivamente. Os parâmetros  $\theta$  e  $\delta$  correspondem com o esperado a priori para os dois vetores de co-integração, ou seja, são positivos (como os vetores estão normalizados, em sua interpretação torna-se necessário inverter os sinais) e foram estatisticamente significativos a 1%. Uma vez estabelecida a existência de um equilíbrio de longo prazo entre PIB e as duas variáveis, isto significa que um aumento de 1% em CFE e OIE, implicam um aumento de 0,893% e 0,849% respectivamente no PIB.

Tabela 3 – Parâmetros estimados para os vetores de co-integração normalizados.

Eq. de co-integração	PIB <sub>t-1</sub>	CFE <sub>t-1</sub>	C
$\tilde{\varepsilon}_{1t}$	1	-0,893***	-10,801
		(0,027)	
Eq. de co-integração	PIB <sub>t-1</sub>	OIE <sub>t-1</sub>	C
$\tilde{\varepsilon}_{2t}$	1	-0,849***	-11,487
		(0,004)	

Notas: \*\*\* significativo à 1%, \*\* significativo à 5%, \* significativo a 10%;

As estimativas empíricas das velocidades de ajustamento, ou os parâmetros  $\lambda$  e dos parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\phi$ ,  $\gamma$  estão resumidos na Tabela 4. A priori, interessa analisar a relação de causalidade entre as variáveis CFE, OIE e PIB. Segundo Yoo (2005), a causalidade de curto e de longo prazo, entre as séries analisadas, podem ser identificadas a partir da significância dos coeficientes estimados nas equações (1a) e (1b); (2a) e (2b).

Para a hipótese de causalidade de curto prazo, a hipótese a ser testada é  $H_0: \beta_{ij} = \dots = \beta_{ij} = 0$ , para  $j = 1, 2, \dots, J$ ;  $J = k - 1$  e  $i = 1, 2$  e  $i = 3, 4$  (análise em pares). Assim, a hipótese nula é que CFE não causa PIB, na equação (1a) e que o PIB não causa CFE na equação (1b). Os resultados possíveis do Teste



de Causalidade de Granger, para o primeiro par de relações, por exemplo, são os seguintes:

- a) Causalidade unidirecional de CFE para PIB ( $CFE \rightarrow PIB$ ): ocorre quando se rejeita  $H_0$  para  $CFE \rightarrow PIB$  e não se rejeita  $H_0$  para  $PIB \rightarrow CFE$ .
- b) Causalidade unidirecional de PIB para CFE ( $PIB \rightarrow CFE$ ): ocorre quando se rejeita  $H_0$  para  $PIB \rightarrow CFE$  e não se rejeita  $H_0$  para  $CFE \rightarrow PIB$ ;
- c) Causalidade bidirecional ( $CFE \leftrightarrow PIB$ ): ocorre quando as duas hipóteses nulas são rejeitadas;
- d) Ausência de causalidade (independência): ocorre quando as duas hipóteses nulas não são rejeitadas.

Para calcular a causalidade de curto prazo foi utilizado o teste de bloco de exogeneidade (*Block Exogeneity Wald Tests*). A causalidade de longo prazo, entretanto, é encontrada baseada na significância dos coeficientes de ajustamento  $\lambda$ 's, das equações estimadas. Este teste de significância é realizado através do teste t. (YOO, 2005)

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, o coeficiente  $\lambda_1$  é estatisticamente significativo ao nível de significância de 1%, o que evidencia que CFE causa, no sentido de Granger, o PIB no longo prazo. O coeficiente  $\lambda_2$  também é estatisticamente significativo, resultando que PIB causa, no sentido de Granger, CFE no longo prazo. Estes resultados implicam em uma bi-causalidade entre as variáveis PIB e CFE no longo prazo.

Além disso, verifica-se que o coeficiente  $\lambda_3$  é estatisticamente significativo ao nível de significância de 1%, implicando que OIE causa, no sentido de Granger, o PIB no longo prazo. No entanto, o coeficiente  $\lambda_4$  não é estatisticamente significativo ao nível de significância de 1%, o que implica que PIB não causa, no sentido de Granger, OIE no longo prazo. Dessa forma existe uma causalidade unidirecional, no sentido da OIE em direção ao PIB no longo prazo.

Tabela 4 – Parâmetros estimados do modelo de vetor de correção de erros (VEC)

Variáveis	$\Delta$ PIB	$\Delta$ CFE	Variáveis	$\Delta$ PIB	$\Delta$ OIE
$\tilde{\xi}_{1t-1}$	-1,073***	-0,551***	$\tilde{\xi}_{2t-1}$	-3,724***	-0,554
$\Delta$ PIB <sub>-1</sub>	0,012	-0,346***	$\Delta$ PIB <sub>-1</sub>	2,581***	-0,105
$\Delta$ PIB <sub>-2</sub>	0,248	0,447***	$\Delta$ PIB <sub>-2</sub>	2,445***	0,738
$\Delta$ PIB <sub>-3</sub>	-0,146	-0,006	$\Delta$ PIB <sub>-3</sub>	0,521	-0,301
$\Delta$ PIB <sub>-4</sub>	-0,089	-0,153	$\Delta$ PIB <sub>-4</sub>	1,174***	0,464
$\Delta$ PIB <sub>-5</sub>	-0,202	-0,115	$\Delta$ PIB <sub>-5</sub>	0,157	-0,239
$\Delta$ PIB <sub>-6</sub>	-0,146	0,065	$\Delta$ PIB <sub>-6</sub>	0,144	0,224
			$\Delta$ PIB <sub>-7</sub>	0,394***	0,176
$\Delta$ CFE <sub>-1</sub>	-0,207	0,416	$\Delta$ PIB <sub>-8</sub>	-0,581***	-0,171
$\Delta$ CFE <sub>-2</sub>	-0,152	-0,474	$\Delta$ PIB <sub>-9</sub>	-0,495***	-0,038
$\Delta$ CFE <sub>-3</sub>	0,105	-0,098			
$\Delta$ CFE <sub>-4</sub>	-0,388	-0,393	$\Delta$ OIE <sub>-1</sub>	-2,362***	0,425
$\Delta$ CFE <sub>-5</sub>	-0,324	0,131	$\Delta$ OIE <sub>-2</sub>	-2,779***	-1,031
$\Delta$ CFE <sub>-6</sub>	-0,127	-0,556***	$\Delta$ OIE <sub>-3</sub>	-0,709	0,356
			$\Delta$ OIE <sub>-4</sub>	-2,273***	-1,197***
			$\Delta$ OIE <sub>-5</sub>	-0,582	0,392
			$\Delta$ OIE <sub>-6</sub>	-0,313	-0,642
			$\Delta$ OIE <sub>-7</sub>	-0,982***	-0,004
			$\Delta$ OIE <sub>-8</sub>	-0,957***	-0,524
			$\Delta$ OIE <sub>-9</sub>	0,818***	0,400
C	0,073***	0,060***		0,156***	0,060
R <sup>2</sup>	0,7020	0,7273		0,9721	0,8823
R <sup>2</sup> Ajustado	0,4741	0,5189		0,9059	0,6030
F-statistic	3,0812	3,4891		14,6926	3,1586
Log likelihood	81,4835	92,5664		106,4423	94,2318
Determinant resid covariance		2,75E-08			1,44E-09
Log likelihood		181,8833			205,5576

Notas: \*\*\* significativo à 1%, \*\* significativo à 5%, \* significativo a 10%;



A causalidade de curto prazo, entretanto, pode ser encontrada a partir dos resultados da Tabela 5. Esses resultados mostram que os coeficientes estimados dos valores defasados do consumo de energia ( $\beta_1j$ 's) não são estatisticamente significantes, nem ao nível de significância de 10%, o que implica que CFE não causa, no sentido de Granger, o PIB no curto prazo. Já os coeficientes estimados dos valores defasados do PIB ( $\alpha_2j$ 's) são estatisticamente significantes ao nível de significância de 5%, implicando que PIB causa o consumo de energia, no sentido de Granger, no curto prazo.

Os resultados revelam ainda que os coeficientes estimados dos valores defasados da oferta de energia ( $\beta_3j$ 's) são estatisticamente significantes ao nível de significância de 1%. Ou seja, que OIE causa, no sentido de Granger, o PIB no curto prazo, enquanto os coeficientes estimados dos valores defasados do PIB ( $\alpha_4j$ 's) são estatisticamente significantes ao nível de significância de 10%. Isto implica que PIB causa, no sentido de Granger, OIE no curto prazo.

Tabela 5 – Teste de causalidade de curto prazo entre PIB e CFE e entre PIB e OIE

Variável dependente	$\Delta$ PIB		$\Delta$ PIB
CFE não causa PIB	2,664	OIE não causa PIB	83,535***
Variável dependente	$\Delta$ CFE		$\Delta$ OIE
PIB não causa CFE	16,322**	PIB não causa OIE	16,823*

Notas: \*\*\* significativo à 1%, \*\* significativo à 5%, \* significativo a 10%;

Esses resultados sugerem que o crescimento do produto é influenciado pelo aumento da oferta de energia, tanto no curto como no longo prazo. Isto é, quanto maior a infra-estrutura energética, maior o potencial para crescimento econômico. Este resultado está de acordo com a teoria, discutida na Seção 2, de que o aumento da infra-estrutura, neste caso a oferta de energia, tem implicações positivas no crescimento do produto. Entretanto, a inexistência de causalidade na direção PIB para OIE revela uma característica “exógena” na determinação de tal variável, ou seja, poderíamos tomar OIE como um instrumento de promoção do crescimento econômico.

Do outro lado, os resultados encontrados para as variáveis PIB e demanda de energia, sugerem que exista uma forte relação entre crescimento econômico e o consumo de energia no longo prazo. Intuitivamente, o aumento do produto requer um consumo maior de energia. Estes resultados



são consistentes com a estrutura econômica Keynesiana, onde consumo e renda são significativamente correlacionados.

Neste contexto, pode-se concluir que os resultados encontrados são conexos com as hipóteses levantadas da dependência entre energia e produto, sugerindo que tanto a oferta de energia quanto a demanda de energia são fatores importantes que influenciam o crescimento econômico do país. Portanto, na busca da continuidade do crescimento econômico, o país necessitará aumentar seus esforços para ampliar sua infra-estrutura energética, como uma estratégia de desenvolvimento no longo-prazo, pois, de acordo com os resultados obtidos, uma política que estimule aumentos nos investimentos em infra-estrutura energética, a fim de aumentar a oferta de energia, teria provável impacto na expansão do crescimento econômico para o Brasil.

## 5. CONCLUSÕES

Este estudo examinou a relação de causalidade entre consumo de energia e PIB; e entre oferta de energia e PIB para o Brasil, no período de 1970 a 2007.

Os resultados dos testes de causalidade entre as variáveis consumo de energia e produto sugerem a existência de bi-causalidade entre estas duas variáveis, no longo prazo. E causalidade unidirecional, no sentido do PIB para CFE, no curto prazo. De posse dessa informação, políticas que buscam economizar ou racionalizar energia podem comprometer o crescimento do produto. Neste contexto, por exemplo, políticas públicas que ensejam combater o aquecimento global mediante redução do consumo de energia poderiam ter impacto negativo no crescimento do produto de longo prazo no Brasil.

Outra evidência que se pode inferir é que alterações no produto afetariam o consumo de energia. Dessa forma, o crescimento do produto pode orientar as decisões dos *policy makers* no provimento de infra-estrutura energética. Ademais, se o PIB aumenta a demanda de energia, políticas que visem o uso de fontes renováveis de energia, cujos impactos ambientais são comprovadamente menores, podem determinar importante contribuição para mitigar os efeitos que o maior consumo de energia representa para o meio-ambiente.



Por outro lado, os resultados para as variáveis oferta de energia e PIB, sugerem que exista causalidade unidirecional no sentido da oferta de energia para o produto, no longo prazo. E bi-causalidade entre estas duas variáveis no curto prazo. Nesse sentido, políticas públicas que têm em vista aumentar ou estimular o investimento em infra-estrutura, dentre a qual a infra-estrutura energética, podem servir como instrumentos para promoção do crescimento econômico, no longo prazo. De forma inversa, interrupções na oferta de energia podem causar sérias perdas econômicas e financeiras ao país.

Finalmente, pode-se argumentar que o Brasil depende de mais energia para ambicionar maior crescimento econômico. Nesse sentido, o aumento da infra-estrutura, em particular, a energética, pode galgar maiores expectativas e desempenhar melhores condições para o crescimento sustentado da economia brasileira.

## REFERÊNCIAS

Akinlo, A. E. Energy consumption and economic growth: evidence from 11 Sub-Sahara African Countries. *Energy Economics*. v. 30, p. 2391-2400, 2008.

Apergis, N.; Payne, J. E. Energy consumption and economic growth in Central America: evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy Economics*. v. 31, p. 211-216, 2009.

Araújo Júnior, I. T.; Ramos, F. S. Os impactos dos investimentos em infra-estrutura sobre o crescimento econômico e a pobreza no Brasil: uma abordagem de equilíbrio geral computável. *Investimento e Crescimento Econômico no Brasil*, UFV, Departamento de Economia Rural, 2006.

Asafu-Adjaye, J. The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries. *Energy Economics*. v. 22, p. 615-625, 2000.

Chontanawat, J.; Hunt, L. C.; Pierse. Does energy consumption cause economic growth?: Evidence from a systematic study of over 100 countries. *Journal of Policy Modeling*. v. 30, p. 209-220, 2008.

Ferreira, P. C. Investimento em Infraestrutura no Brasil: fatos estilizados e relações de longo prazo. *Pesquisa e Planejamento Econômico*. v. 26, nº2, p. 231-252, 1996



Goldemberg, J. Energia e desenvolvimento. *Estudos Avançados*. v. 12, nº 33, mai-ago, 1998.

Goldemberg, J.; Moreira, J. R. Política energética no Brasil. *Estudos Avançados*. v. 19, nº 55, p. 215-228, 2005.

Hamilton, James D. *Time Series Analysis*. Princeton: Princeton University Press, 1994.

Hirschman, A. O. *Estratégia do Desenvolvimento Econômico*. 1ªed. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 322 p. 1961.

International Atomic Energy Agency – IAEA. *Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. IAEA: Vienna, 2005.

International Energy Agency – IEA. *Key world energy statistics*. Paris, OECD, 2008.

Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Ipeadata – série histórica. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2009.

Johansen, S. The role of the constant term in cointegration analysis of non stationary variables. University of Copenhagen, Institute of Mathematical Statistics, 1991.

Jumbe, C. B. L. Cointegration and causality between electricity consumption and GDP: empirical evidence from Malawi. *Energy Economics*, v. 26, p. 61-68, 2004.

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

Maddala, G. S.; Kim, I. M. *Unit roots, co integration, and structural change*. New York: Cambridge University, 1998. 505 p.

Mendes; S. M.; Teixeira, E. C. Efeito dos investimentos em infra-estrutura na produtividade total dos fatores (PTF) na Agricultura brasileira. In: Erly Cardoso Teixeira; Marcelo José Braga. *Investimento e Crescimento Econômico no Brasil*. Viçosa: Editora da UFV, p. 283-300, Departamento de Economia Rural, 2006.

Ministério De Minas E Energia – MME. *Balanço energético nacional 2008*. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2009.



Narayan, K. P.; Smyth, R. Energy consumption and real GDP in G7 countries: New evidence from panel cointegration with structural breaks. *Energy Economics*. v. 30, p. 2331-2341, 2008.

Organisation For Economic Co-Operation And Development – OECD. Disponível em: <http://www.oecd.org>. Acesso em: 02 dez. 2009.

Oh, W.; Lee, K. Causal relationship between energy consumption and GDP revisited: the case of Korea 1970-1999. *Energy Economics*. v. 26, p. 51-59, 2004.

Paul, S.; Bhattacharya, R. N. Causality between energy consumption and economic growth in India: a note on conflicting results. *Energy Economics*. v. 26, p. 977-983, 2004.

Pereira Jr., A. O.; Soares, J. B.; Oliveira, R. G.; Queiroz, R. P. Energy in Brazil: Toward sustainable development? *Energy Policy*. v. 36, p. 73-83, 2008.

Rogner, H. H.; Popescu, A. An introduction to energy. *World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability*. New York: United Nations Development Programme, United Nations Department of Economic and Social Affairs, World Energy Council, 2000.

Sandroni, P. *Novíssimo Dicionário de Economia*. Editora Best Seller. São Paulo, 1999.

Tang, C. F. A re-examination of the relationship between electricity consumption and economic growth in Malaysia. *Energy Policy*. v. 36, p. 3077-3085, 2008.

Yoo, S. H. Electricity consumption and economic growth: evidence from Korea. *Energy Policy*. v. 33, p. 1627-1632, 2005.