

# UMA ANÁLISE DA DINÂMICA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO UTILIZANDO VAR EM PAINEL

## An analysis of the dynamics of the brazilian electricity sector using panel var

**Lucas Guimarães Lins Brandão**

Engenheiro Elétrico. Doutorando em Economia pela Universidade Católica de Brasília - UCB. Engenheiro de Manutenção das Centrais Elétricas do Norte do Brasil - Eletronorte. lucasglb@gmail.com

**José Angelo Divino**

Economista. Ph.D. em Economia pela Boston University (2004). Diretor do Programa de Mestrado e Doutorado em Economia - UCB. jangelo@pos.ucb.br

---

**Resumo:** O setor de energia elétrica brasileiro é caracterizado pela presença do Estado, que regula o preço da energia e promove outras formas de intervenção que podem afetar o equilíbrio de mercado. O objetivo desse artigo é avaliar os efeitos de choques discricionários em variáveis específicas do setor elétrico, representativas das políticas fiscal e monetária e na atividade econômica sobre a dinâmica do setor elétrico brasileiro durante o período recente. Combinamos dados em painel dos submercados nacionais de energia elétrica com séries temporais da economia brasileira na estimação de modelos VAR em painel (PVAR) e de funções impulso-respostas. Os resultados revelam que choques fiscais e monetários afetam a dinâmica do setor elétrico, ainda que de forma indireta. Há uma elevada rigidez na tarifa de energia elétrica, que é explicada pela regulação do Estado. Além disso, a dinâmica dos preços não orienta adequadamente o consumidor residencial, comercial e industrial de energia sobre os riscos inerentes ao mercado de energia elétrica no país.

**Palavras-chave:** Setor Elétrico; Mercado de energia; Dados em Painel; Brasil.

**Abstract:** The Brazilian electricity sector is characterized by the presence of the state, which regulates the price of energy and promotes other forms of intervention that might affect the market equilibrium. The objective of this paper is to analyze the dynamics of the Brazilian electric sector in the recent period, considering the effects of different discretionary shocks in the electric sector itself and in specific macroeconomic policies. We combine panel data from the electric energy submarkets and time series from the Brazilian economy in the estimation of a panel VAR (PVAR) models and impulse response functions. The results indicate that fiscal and monetary shocks indirectly affect the dynamics of the sector. There is a strong rigidity in the tariff of energy, which is explained by the state regulation. In addition, prices do not adequately inform residential, commercial and industrial consumers about the risks inherent to the electric energy market in the country.

**Keywords:** Electric power sector; Energy market; Panel VAR; Brazil.

## 1 INTRODUÇÃO

O setor de energia elétrica no Brasil é caracterizado pela presença do Estado, que exerce um amplo controle sobre o mercado. Pode, por exemplo, definir políticas setoriais, diretrizes e fomentos de fontes de energia, com diversos tipos de incentivos. No caso da tarifa de energia elétrica, seu preço é regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e reflete, além da carga tributária, o montante de investimentos realizado pelas distribuidoras. No entanto, o preço ao consumidor final deveria refletir, de forma direta, o custo de produção da energia, como ocorre em outros mercados de energia mundo afora.

O Brasil é um país onde predomina a geração hidrelétrica. Segundo dados do Ministério de Minas e Energia, em 2017, cerca de 65% da geração de energia provieram desta fonte. Isso significa que o setor de energia elétrica é muito dependente do regime de chuvas e, portanto, dos reservatórios das hidrelétricas. O aumento da geração térmica, a partir da crise energética de 2001, e de fontes alternativas, como a eólica, tornaram a matriz energética brasileira mais diversificada. No entanto, ela continua ainda muito dependente da fonte hidrelétrica. Há, dessa forma, uma relação direta entre a escassez de chuvas e os aumentos da tarifa média e do preço de energia elétrica.

Como um insumo essencial ao processo produtivo, a energia elétrica possui uma relação direta com a produção industrial e, por conseguinte, com o Produto Interno Bruto (PIB) da economia. Por outro lado, o consumo de energia elétrica, nos níveis residencial, comercial e industrial, é afetado também pelo ciclo econômico. Na fase ascendente do ciclo esse consumo aumenta, enquanto diminui no período descendente. Deve-se investigar, então, a relação entre as variáveis do setor elétrico, o nível de atividade econômica e as políticas econômicas editadas pelo governo para influenciar o ciclo econômico, as quais podem afetar o setor direta ou indiretamente.

O objetivo desse artigo é avaliar os impactos de choques discricionários em variáveis específicas do setor elétrico, representativas das políticas fiscal e monetária e na atividade econômica sobre a dinâmica do setor elétrico brasileiro durante o período recente. Para tanto, estimamos um VAR (vetores autorregressivos), usando dados em painel para os submercados que compõem o Sistema

Interligado Nacional no período de janeiro de 2003 a julho de 2016 e computamos funções impulso-respostas a distintos choques exógenos sobre as variáveis endógenas do modelo. Além disso, avaliamos os efeitos de choques inesperados nas políticas fiscal e monetária sobre a dinâmica do setor elétrico brasileiro.

A política fiscal, inicialmente caracterizada pelo regime de superávit primário, adotou medidas expansionistas para enfrentar a crise financeira internacional de 2008 e, posteriormente, passou a experimentar um ambiente de desequilíbrio orçamentário com déficit crescente, que culminou com a adoção do regime de teto de gastos no final do período analisado. Já a política monetária manteve-se fiel ao regime de metas de inflação ao longo de todo o período. Para fazer frente à crise financeira de 2008, também sucumbiu à influência política e trocou o rígido controle da inflação por tentativas frustradas de incentivar a atividade econômica. O VAR em painel é utilizado porque permite avaliar a propagação dos distintos choques não apenas ao longo do tempo, mas também entre os submercados que formam o sistema elétrico brasileiro, além de possibilitar a combinação de variáveis em painel dos submercados de energia com séries macroeconômicas agregadas.

Conhecer a dinâmica do setor é importante para a formulação de políticas públicas que busquem uma maior segurança para o sistema elétrico nacional. As respostas das variáveis do setor às perturbações exógenas nos permitirão identificar se o mercado, mesmo regulado, apresenta flexibilidade e comportamento adaptativo a mudanças estruturais. Respostas contrárias ao esperado, por exemplo, podem indicar que a regulação excessiva pode estar comprometendo o bom funcionamento do setor, eventualmente prejudicando o equilíbrio de mercado e gerando riscos aos agentes que nele atuam.

Dentre os primeiros trabalhos que avaliaram a demanda e o preço de energia elétrica no Brasil estão Modiano (1984) e Andrade e Lobão (1997), que consideraram a evolução do consumo de energia elétrica e estimaram elasticidades renda e preço. Ambos encontraram elasticidades-preço, em módulo, inferiores à elasticidade-renda, indicando que o consumidor responde mais a uma redução de renda do que ao aumento de preço da energia elétrica. Garcez e Ghirardi (2003) argumentaram que a energia elétrica é um bem essencial ao estima-

rem elasticidades próximas de zero. Mais recentemente, Irffi et al. (2009) estimaram a demanda de energia elétrica na região Nordeste e também encontraram baixa elasticidade-preço. Já Viana e Silva (2014) aplicaram o modelo de correção de erros vetorial (VECM) para realizar projeções futuras para o consumo de energia. Ainda não foi realizada, porém, uma análise da dinâmica do setor, a partir da estimação de funções impulso-respostas usando um VAR em Painel.

Alguns estudos internacionais, usando dados de diversos países, sugerem que há uma relação casual entre o consumo de energia elétrica e crescimento econômico. Lee e Chang (2007) avaliaram a relação entre consumo de energia e o PIB de 22 países desenvolvidos e 18 em desenvolvimento usando dados em painel. Para países desenvolvidos, encontraram uma relação causal bidirecional entre o consumo de energia e o PIB. Já para os países em desenvolvimento encontraram causalidade unidirecional, indicando que o consumo de energia é induzido pelo crescimento econômico. Mehrara (2007) também analisou a relação entre consumo de energia e PIB, mas para 11 países exportadores de petróleo, usando VAR em painel. Obteve, porém, causalidade entre o crescimento do PIB *per capita* e o crescimento do consumo de energia, indicando que é o crescimento econômico que induz a mudanças no consumo de energia naqueles países.

Usando dados em painel para 12 países da União Europeia, Ciarreta e Zarraga (2010) avaliaram a relação entre consumo e produção de energia elétrica e o crescimento econômico. Observaram um efeito negativo do consumo de energia elétrica para o PIB. Argumentaram que, mesmo diante de crescimento econômico, há uma busca pelo uso mais eficiente de energia elétrica, com mais investimentos em novas tecnologias de geração e de transmissão, o que reduz as perdas e favorece o desenvolvimento econômico.

Em geral, esses trabalhos indicam uma relação de causalidade entre o consumo de energia elétrica e o crescimento econômico, justificando a inclusão de *proxies* para representar a atividade econômica na avaliação da dinâmica do setor elétrico brasileiro. Além disso, consideramos variáveis específicas de cada submercado do setor como preço de liquidação das diferenças (PLD), tarifa média de distribuição, energia natural afluenta (ENA) e energia armazenada (EA). O quantitativo de energia

elétrica excedente<sup>1</sup> que foi gerado ou consumido e não tiver contrato será liquidado ao PLD. Segundo Castro et al. (2014), o PLD é o custo de oportunidade da energia elétrica no curto prazo. Cabe ressaltar, também, que o PLD é diferenciado por submercado e pelo horário de carga (leve, média, pesada). Consideramos, também, o preço do óleo diesel, que é usado para geração de eletricidade em termelétricas que atendem à demanda de mercado em períodos de insuficiente geração hidrelétrica por causa do regime das chuvas.

O presente estudo contribui com a literatura por analisar a dinâmica do setor elétrico brasileiro em seu ambiente multissetorial e explorar suas inter-relações com o ciclo econômico e as políticas fiscal e monetária.

Embora o setor elétrico nacional enfrente uma forte influência do Estado em sua regulação, envolve também agentes privados com interesses em um mercado mais competitivo. Os resultados indicam que os consumidores respondem a variações no preço da energia, contudo, os preços médios das distribuidoras não estão correlacionados com os preços de curto prazo. Assim, os preços não orientam o consumidor sobre os riscos do mercado de energia elétrica e não há uma política pública bem definida sobre energia elétrica no Brasil.

O artigo está organizado conforme se segue. A segunda seção discute a abordagem econométrica utilizada na análise empírica. A terceira seção apresenta os dados, reporta e analisa os resultados obtidos e avalia os efeitos das políticas econômicas sobre a dinâmica do setor elétrico. Finalmente, a quarta seção é dedicada às observações conclusivas.

## 2 METODOLOGIA E DADOS

### 2.1 Abordagem empírica

O Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) é formado pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelos Sistemas Isolados. O SIN é subdividido em quatro submercados: Norte (N), Sul (S), Nordeste (NE) e Sudeste/Centro-Oeste (SE/CO). Como regulamentado pela Lei no 10.848/2004, a comercialização de energia elétrica acontece no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL). No ACR, os preços são

<sup>1</sup> Excluída a energia elétrica destinada ao Mecanismo de Realocação de Energia (MRE).

estabelecidos nos leilões públicos de compra e de venda de energia elétrica, que são promovidos pela Câmara de Comercialização de Energia (CCEE) sob delegação da Aneel. Participam desses leilões as usinas geradoras (existentes ou em construção), como vendedoras, e as distribuidoras, como compradoras. O ACL possui uma variedade maior de agentes participantes, pois envolve consumidores livres e especiais, importadores e exportadores de energia elétrica, geradores e comercializadores. Nesse ambiente, os agentes firmam um contrato bilateral com cláusulas confidenciais negociadas individualmente.

O quantitativo de energia elétrica excedente, que foi gerado ou consumido e não tiver contrato, é liquidado ao Preço de Liquidação das Diferenças - PLD. Segundo Castro et al. (2014), o PLD representa o custo de oportunidade da energia elétrica no curto prazo. Cabe ressaltar, também, que o PLD é diferenciado por submercado e pelo horário de carga (leve, média, pesada). Dessa forma, o preço da energia elétrica seria uma média dos preços do mercado regulado (leilões), do mercado livre (acordos bilaterais) e do PLD. No entanto, as informações do mercado livre não estão disponíveis, o que inviabiliza o cálculo do preço para todo o sistema.

Os consumidores de energia, por sua vez, podem ser divididos de acordo com o tipo de contrato de compra de energia. Os grandes consumidores, industriais e distribuidoras, compram sua energia no mercado regulado nos leilões de energia (ACR). Os consumidores livres e especiais, grandes consumidores e industriais, podem também fazer contratos bilaterais diretamente com geradores (ACL). Portanto, o preço da energia elétrica pode ser observado sob três aspectos: i) o preço pago pelo consumidor residencial (tarifa cobrada pela distribuidora de energia comprada no mercado regulado); ii) o preço negociado pelos grandes consumidores em contratos bilaterais (energia do ACL) e nos leilões (ACR); e iii) o preço de PLD da parcela de energia elétrica não contratada, que representa o custo de oportunidade da energia elétrica no curto prazo, sendo diferenciado por submercado e pelo horário de carga (leve, média, pesada).

No sistema de energia elétrica, a quantidade ofertada deve igualar à soma da energia consumida e das perdas, que definem a quantidade demandada. O mercado de energia elétrico brasileiro é altamente dependente da fonte hidrelétrica. O in-

sumo da usina hidrelétrica é a quantidade de água armazenada em reservatório, fazendo com que a geração hidrelétrica de energia seja fortemente influenciada pelo ciclo de chuvas e pelo nível dos reservatórios. Por outro lado, houve também uma forte expansão das usinas termelétricas, que utilizam o óleo diesel e o gás natural como insumos, em sua maioria.

A oferta de energia, ou geração total, depende da energia natural afluyente, preço do óleo combustível e preço de oferta da energia elétrica. Pelo lado da demanda, o consumo de energia elétrica, também chamado de carga, é dado pela soma dos consumos industrial, residencial, comercial e outros. Além de variáveis inerentes ao próprio setor elétrico, é preciso avaliar a influência da atividade econômica sobre a dinâmica do setor, o que pode ser feito incluindo o PIB ou da produção industrial regional na modelagem empírica. Como uma das inovações deste trabalho, avalia-se também os efeitos de mudanças inesperadas na condução das políticas econômicas fiscal e monetária que ocorreram ao longo do período analisado sobre a dinâmica do setor de energia elétrica.

A política fiscal possui uma relação direta e outra indireta com o consumo de energia elétrica. Como a tarifa de energia elétrica incorpora uma série de tributos (como ICMS e PIS/Cofins), que correspondem a aproximadamente 30% do valor desta tarifa, uma política fiscal de aumento de tributos impacta diretamente a tarifa de energia elétrica, o que pode reduzir o seu consumo. Considerando o valor médio da elasticidade-preço da demanda entre os consumos residencial, comercial e industrial, a queda de demanda por energia pode atingir 0,27% para cada aumento de 1% no preço médio da energia elétrica, conforme estimativas de Schmidt e Lima (2004). Por outro lado, de forma indireta, o aumento de tributos reduz o poder aquisitivo dos consumidores e também afeta negativamente o consumo de energia elétrica bem como de outros bens e serviços na economia.

Já a política monetária tem uma relação indireta com o consumo de energia elétrica, uma vez que utiliza variações na taxa básica de juros para afetar a demanda agregada da economia. Dessa forma, um aumento da taxa básica de juros leva a uma redução na demanda agregada, afetando negativamente tanto a atividade econômica quanto o consumo de energia elétrica. Nesse caso, ainda consi-

derando as estimativas de Schmidt e Lima (2004), o valor médio da elasticidade-renda da demanda por energia elétrica sugere uma queda no consumo de energia proporcional à redução de renda na economia provocada por um eventual aumento na taxa básica de juros.

Portanto, com base na literatura relevante, as seguintes variáveis são usadas para avaliar a dinâmica do setor de energia elétrica do Brasil: energia natural afluyente (ENA), preço de liquidação das diferenças (PLD), tarifa média de energia elétrica, consumo industrial, consumo residencial, geração de energia (hidrelétrica e termelétrica), índice de produção industrial e variáveis *proxies* para as políticas fiscal e monetária. Para esta última, utilizou-se a taxa de juros do over Selic, que é o instrumento de política usado pelo Banco Central do Brasil no regime de metas para a inflação. Para a política fiscal, foi escolhida a carga tributária definida pela razão entre receita tributária e o PIB.

## 2.2 Modelagem Econométrica

O VAR em painel (PVAR ou PanelVAR) foi utilizado para estimar as funções impulso-respostas porque permite avaliar a propagação dos choques exógenos ao longo do tempo e entre os submercados do sistema elétrico brasileiro, além de possibilitar a combinação de variáveis em painel com séries temporais agregadas. O PVAR é um método que combina a estimação de vetores autorregressivos (VAR) com dados em painel, admitindo heterogeneidade individual não observável, como destacam Love e Zicchino (2006). Segundo Canova e Ciccarelli (2013), o PVAR é capaz de: (a) capturar interdependências estáticas e dinâmicas; (b) tratar as relações entre unidades de forma irrestrita; (c) incorporar variações do tempo aos coeficientes e aos choques; e, (d) lidar com heterogeneidades dinâmicas em dados de corte transversal. Dessa forma, esse estimador beneficia-se dos dados em painel para evitar problemas usuais dos métodos econométricos convencionais baseados em séries temporais de curto prazo. Por meio de estimações por GMM (*Generalized Method of Moments*), pode-se obter as relações dinâmicas entre as variáveis de dados em painel.

Conforme a descrição de Love e Zicchino (2006), o modelo PVAR pode ser representado por:

$$z_{i,t} = \Gamma_0 + \Gamma_1 z_{i,t-1} + \dots + \Gamma_j z_{i,t-j} + f_i + e_{i,t} \quad (1)$$

Em que  $z_{i,t} = \{y_t x_{i,t}\}$  e  $z_{i,t-1} = \{y_{t-1} x_{i,t-1}\}$ .  $y$  é um vetor de séries temporais e  $x$  um vetor de dados em painel. As variáveis que compõem a matriz  $z_{i,t}$  serão descritas na próxima seção. Já  $f_i$  é o efeito fixo setorial e não observável e  $e_{i,t}$  é o termo de erro aleatório composto.

O tratamento teórico para estimação do PVAR pode ser encontrado em Holtz-Eakin et al. (1988) e Love e Zicchino (2006). De forma geral, o procedimento usa variáveis instrumentais para eliminar a correlação do efeito fixo com as variáveis dependentes defasadas.

O objetivo da modelagem é obter as funções de impulso-resposta (FIR) que descrevam a reação de uma dada variável endógena a inovações em alguma outra variável do sistema. Para se isolar os efeitos dos choques, é necessário decompor os resíduos de tal forma que se tornem ortogonais, uma vez que a matriz de variância e covariâncias dos erros não será uma matriz diagonal. Portanto, é convencional adotar um ordenamento que aloca qualquer correlação contemporânea entre os resíduos de quaisquer equações para a variável que vem posteriormente no ordenamento. Este procedimento supõe que as variáveis que vêm primeiro afetem as variáveis posteriores contemporaneamente, enquanto que as variáveis posteriores afetam as variáveis anteriores apenas com uma defasagem. De outra forma, as variáveis anteriores são consideradas mais exógenas, enquanto que as posteriores no ordenamento são mais endógenas, como explicam Love e Zicchino (2006). As estimativas foram realizadas de acordo com Abrigo e Love (2015). Os principais resultados da modelagem são as funções impulso-respostas (FIR), que aplicam choques estruturais em uma variável endógena e estimam as respostas dinâmicas nas demais variáveis de interesse.

## 2.3 Modelos Estimados

Os modelos estimados estão descritos na Tabela 1. Partindo-se de um modelo básico, definido a partir da literatura revisada e discutida na primeira seção, outras variáveis foram incluídas com o intuito de se captar efeitos específicos sobre a dinâmica do setor elétrico brasileiro. Essa estratégia de modelagem foi adotada porque o PVAR consome muitos graus de liberdade a partir da inclusão de novas variáveis o que, em muitos casos, pode inviabilizar a estimação.

Tabela 1 – Modelos PVAR Estimados

Modelo	Variáveis
Modelo base do setor elétrico	ENA, preço do diesel, produção industrial, PLD, tarifa média, consumo total e geração total
Modelo base com política fiscal	ENA, preço do diesel, receita/PIB, produção industrial, PLD, tarifa média, consumo total e geração total
Modelo base com política monetária	ENA, preço do diesel, produção industrial, Selic, PLD, tarifa média, consumo total e geração total

Para estimação das funções impulso-respostas (FIR), é necessário adotar uma estratégia de identificação dos resíduos estruturais, conforme discutido na seção 2.2. Optamos pelo procedimento de Choleski, em que as variáveis são ordenadas da mais exógena para a mais endógena. O ordenamento assumido está descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Identificação dos choques estruturais

Modelo	Ordenamento
Modelo base do setor elétrico	ENA → Preço do diesel → Produção industrial → PLD → Tarifa média → Consumo total de energia elétrica → Geração total de energia elétrica
Modelo base com política fiscal	ENA → Preço do diesel → Receita/PIB → Produção industrial → PLD → Tarifa média → Consumo total de energia elétrica → Geração total de energia elétrica
Modelo base com política monetária	ENA → Preço do diesel → Produção industrial → Selic → PLD → Tarifa média → Consumo total de energia elétrica → Geração total de energia elétrica

A variável ENA foi considerada a mais exógena, pois depende do regime de chuvas. O diesel, por ser um produto com preço controlado, aparece logo a seguir. Na sequência, vieram a *proxy* da política fiscal, Receita/PIB, e a atividade econômica representada pela produção industrial. Consideramos que a taxa de juros do over Selic, *proxy* da política monetária, é uma variável exógena ao setor elétrico, mas que é afetada pela atividade econômica. Os preços de energia, PLD e tarifa média, são definidos antes do consumo e da geração de energia. Alegamos que a tarifa é estabelecida antes do preço do PLD. No entanto, entendemos que o PLD influencia uma parte da tarifa e não o inverso. Em seguida no ordenamento, foram alocados o consumo e a geração de energia elétrica. Foram testados ordenamentos alternativos, que levaram a um maior número de respostas não significativas e por isso foram abandonados.

O modelo PVAR necessita de uma definição da quantidade ótima de defasagens previamente à estimação. Os critérios de informação Bayesiano modificado (MBIC), Akaike modificado (MAIC) e Hannan-Quin modificado (MQIC) foram utilizados e apontaram, em todos os modelos, para a estimação com uma defasagem.

## 2.4 Dados

As informações sobre a economia brasileira e o setor de energia elétrica são mensais para o período de janeiro de 2003 a julho de 2016, sendo compostas tanto por séries temporais quanto por dados em painel. Para o consumo de energia, foram selecionadas as séries de consumo residencial e industrial, ambas dessazonalizadas. Ao avaliar essas séries, observa-se que houve redução do consumo industrial em 2008 e 2014. Isso foi causado pela queda da atividade econômica, dado que em 2008 o Brasil sofreu os efeitos da crise financeira mundial e, a partir de 2014, eclodiu a crise econômica que o país ainda busca superar. Comportamento similar, embora em menor intensidade, foi observado para o consumo residencial de energia elétrica.

A tarifa média de energia elétrica sofreu duas quedas mais expressivas, sendo uma em 2007 e outra em 2013. Esta última, foi causada pela renovação das concessões das geradoras e das transmissoras de energia elétrica, conforme a Lei nº 12.783/2013.<sup>2</sup> Em seguida, em 2015, houve um aumento do preço da tarifa causado pela crise hídrica, repassada aos consumidores por meio das bandeiras tarifárias. A crise hídrica iniciou-se em 2014, tendo como consequências a redução dos reservatórios e da geração hidrelétrica.

O banco de dados é composto por dados em painel e séries temporais. Os dados em painel são representados por séries que possuem informações sobre cada submercado de energia, a saber, Sudeste e Centro-Oeste (SE/CO), Sul (S), Nordeste (NE) e Norte (N). As séries temporais são variáveis macroeconômicas da economia brasileira, comuns a todos os submercados de energia. A Tabela 3 resume as estatísticas descritivas de todas as variáveis.

2 A inserção de uma variável *dummy* no PVAR para captar essas mudanças tarifárias não é indicada porque ela entraria como uma variável exógena e com o mesmo período de quebra em todas as equações do sistema, e não somente na equação do preço da energia, única em que a mudança efetivamente ocorreu.

Tabela 3 – Estatísticas descritivas

Variáveis temporais	Unid.	Obs.	Média	Desv.Padrão	Mínimo	Máximo
Selic	%	163	0,0103	0,0032	0,0049	0,0208
Receita/PIB	%	163	0,2212	0,0209	0,1879	0,4386
Variáveis em painel		Obs.	Média	Desv.Padrão	Mínimo	Máximo
ENA	MWmed	652	13.841,92	15.095,97	841,63	91.574,52
Preço diesel	R\$/l	652	1,38	0,10	1,19	1,65
Produção industrial	Índice	652	95,33	8,13	65,39	112,61
PLD	R\$/MWh	652	81,49	97,15	3,88	448,45
Tarifa média	R\$/MWh	652	178,02	21,36	127,09	222,84
Consumo residencial	MWh	652	2.165,10	1.882,73	305,00	7.452,00
Consumo industrial	MWh	652	3.515,60	2.877,14	737,00	9.492,00
Consumo total	MWh	652	5.680,70	4.725,39	1.058,00	15.957,00
Geração hidrelétrica	MWmed	652	8.970,76	6.388,42	1.605,33	25.911,47
Geração termelétrica	MWmed	652	1.367,74	1.622,05	0,00	7.423,21
Geração total	MWmed	652	10.338,49	7.218,38	1.793,02	28.884,81

Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

A ENA possui uma alta variabilidade devido às diferenças de chuvas entre os períodos seco e úmido. O mesmo pode ser observado com o PLD, ainda que seu preço tenha um piso e um teto, seu desvio padrão também é bem maior do que sua média. Por outro lado, a série do preço do diesel possui uma baixa volatilidade, uma vez que a sua flutuação foi controlada pela política de preços praticada pela Petrobrás durante o período analisado. Apresentamos, a seguir, uma descrição detalhada de cada variável utilizada no estudo.

**Over Selic:** variação percentual mensal da taxa básica de juros do over Selic. Essa variável foi tomada como uma *proxy* para a política monetária, uma vez que define o instrumento da autoridade monetária no regime de metas para a inflação (Fonte: Bacen).

**Receita/PIB:** razão entre a série mensal da receita líquida do setor público e o PIB mensal, ambas em milhões de reais. A série resultante foi dessazonalizada pelo método Census-Arima X-13 e usada como uma *proxy* para a política fiscal (Fonte: Bacen).

**ENA:** série mensal da energia natural afluenta, em megawatts (MW) médios, por submercado. Essa série foi dessazonalizada pelo método Census-Arima X-13 (Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS).

**Diesel:** série mensal de preços médios de venda do óleo diesel, por região, em reais. A série foi deflacionada pelo índice de preços ao consumidor amplo (IPCA), a preços de janeiro de 2003 (Fonte: Agência Nacional do Petróleo - ANP).

**Produção industrial:** índice dessazonalizado mensal da produção industrial com ajuste regional, em percentual, com base 100 em janeiro de 2012 (Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE).

**PLD:** série mensal do preço de liquidação das diferenças, em reais por megawatt hora (MWh), por submercado. A série foi deflacionada pelo IPCA, a preços de janeiro de 2003 (Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE).

**Tarifa média:** série mensal do preço médio de energia elétrica das distribuidoras, por região, em reais por megawatt hora (MWh). A série foi deflacionada pelo IPCA, a preços de janeiro de 2003 (Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel).

**Consumo residencial:** série mensal de consumo de energia elétrica por consumidores residenciais, por região, em gigawatt hora (GWh). Para se obter o valor do submercado SE/CO, somou-se os consumos das regiões SE e CO (Fonte: Eletrobras e Ministério de Minas e Energia - MME).

**Consumo industrial:** série mensal de consumo de energia elétrica por indústrias, por região, em gigawatt hora (GWh) (Fonte: Eletrobras e Ministério de Minas e Energia - MME).

**Consumo total:** soma das séries mensais de consumo de energia elétrica por consumidores residenciais e industriais, por região, em gigawatt hora (GWh) (Fonte: Eletrobras e Ministério de Minas e Energia - MME).

**Geração hidráulica:** série mensal de geração por fontes hidrelétricas do Sistema Interligado Nacional (SIN), em MW médios, por submercado. A série foi dessazonalizada pelo método Census-Arima X-13 (Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS).

**Geração termelétrica:** série mensal de geração por fontes termelétricas (excluída a geração nuclear) do SIN, em MW médios, por submercado. A série foi dessazonalizada pelo método Census-Arima X-13 (Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS).

**Geração:** soma da série mensal de geração de fontes hidrelétricas e termelétricas do SIN, em MW médios, por submercado. A série foi dessazonalizada pelo método Census-Arima X-13 (Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Testes de Raiz Unitária

Para avaliar a estacionariedade do painel e das séries temporais, foram aplicados testes de raiz unitária. Para as séries temporais, foram empregados os testes de Dickey-Fuller modificado

( $MAFDF^{GLS}$ ) e de Phillips-Perron modificado ( $MPP^{GLS}$ ). Estes testes da nova geração, propostos por Elliott et al. (1992) e Ng e Perron (2001), respectivamente, superam algumas fragilidades dos testes tradicionais ADF e PP associadas a baixa potência e distorções de tamanho estatístico. A Tabela 4 reporta os resultados.

Tabela 4 – Teste de raiz unitária

	DF-GLS (Modified AIC)				Ng-Perron			
	Tendência e intercepto		Intercepto		Tendência e intercepto		Intercepto	
	t-Stat.	Lag	t-Stat.	Lag	MZt	Lag	MZt	Lag
Selic	-1,26	12	-0,43	12	-1,06	12	-0,2	12
Receita/ PIB	-2,52	9	-2,32**	9	-1,19	9	-1,1	9

Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa. Notas: \*\*\*, \*\* e \* indicam significância estatística a 1, 5, 10%, respectivamente.

Inicialmente, somente a série Receita/PIB se mostrou estacionária ao nível de 5% de significância. Esse resultado pode ter sido provocado pela presença de quebras estruturais na série do over Selic. Ao se avaliar graficamente as séries da Selic e da Receita/PIB, foi possível verificar que ambas possuíam uma quebra estrutural. Dessa forma, foi aplicado o teste de Perron (1997), que permite avaliar a estacionariedade na presença de quebra estrutural com seleção endógena do período da quebra. A seleção endógena é importante para evitar que o resultado do teste seja condicionado à escolha exógena desse período. Depreende-se da Tabela 5 que ambas as séries são estacionárias com uma quebra estrutural ao nível de 5% de significância.

Tabela 5 – Teste de raiz unitária com quebra estrutural

	Especificação da tendência	Especificação da quebra	Tipo de quebra	t-Stat.	Lags	Quebra
Selic	I	I	IO	-3,95**	3	2003M07
Receita/PIB	I	I	IO	-11,89***	0	2010M11

Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Notas: \*\*\*, \*\* e \* indicam significância estatística a 1, 5 e 10%, respectivamente. 'I' denota especificação de tendência e de quebra no intercepto. 'IO' indica que o modelo estimado foi de *innovation outlier*.

Em seguida, os dados do painel foram testados para a presença de raiz unitária. Foram aplicados os testes de primeira geração devido a Choi (2001)

(Fisher-ADF), Levin *et al.* (2002) (LLC) e Im *et al.* (2003) (IPS). No entanto, como esses testes não levam em conta as correlações transversais,

que são prováveis de ocorrer no caso dos dados de submercados de energia, também foram aplicados os testes de segunda geração devidos a Pesaran (2003) e Pesaran (2007), respectivamente. Esses

testes são robustos a painéis heterogêneos com dependência transversal. Todos os testes aplicados têm como hipótese nula a presença de raiz unitária. Os resultados estão reportados na Tabela 6.

Tabela 6 – Teste de raiz unitária para dados em painel

Variável	Pesaran (2003)		Pesaran (2007)		LCC		IPS		Fisher-ADF	
	Z[t-bar]		CIPS		Adj t*		CIPS		CIPS	
ENA	-11,01	***	-6,23	***	-11,06	***	-10,48	***	35,11	***
Preço Diesel	-0,10		-2,40		-0,13		-1,24		1,44	*
Prod. Industrial	-7,67	***	-4,90	***	-8,82	***	-9,97	***	24,37	***
PLD	9,51	***	-6,05	***	-10,16	***	-9,93	***	28,05	***
Tarifa média	-1,81	**	-3,11	***	-1,97	**	-1,75	**	1,52	*
Cons. Residencial	-8,26	***	-5,27	***	-4,90	***	-4,61	***	23,96	***
Cons. Industrial	-8,19	***	-5,71	***	-3,39	***	-1,92	**	7,38	***
Consumo total	-8,90	***	-6,05	***	-4,22	***	-3,29	***	12,90	***
Ger. Hidrelétrica	-4,36	***	-4,16	***	-7,06	***	-7,21	***	14,43	***
Ger. Termelétrica	-6,99	***	-		-		-		29,92	***
Geração total	-6,20	***	-4,62	***	-7,33	***	-5,95	***	14,81	***

Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Notas: \*\*\*, \*\* e \* indicam significância estatística a 1, 5 e 10%, respectivamente. Para alguns dos testes a série de geração térmica não foi testada por não ser balanceada.

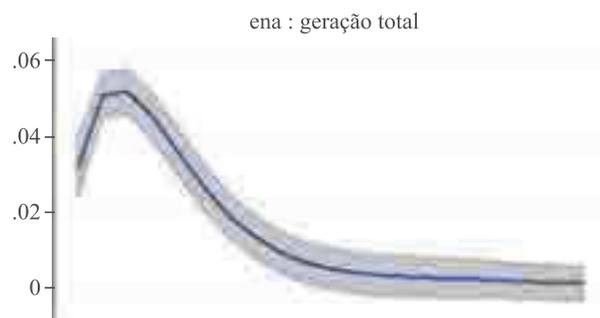
Para variáveis em nível, com exceção do preço do diesel, o painel é estacionário no nível de significância padrão de 5%. O preço do diesel se mostrou estacionário, ao nível de 90% de confiança, somente para o teste Fisher-ADF. Essa série, contudo, não foi diferenciada para a estimação, uma vez que os modelos PVAR estimados passarão por uma avaliação de estabilidade e as funções impulso-respostas por uma análise de convergência. Tomados em conjunto, esses critérios apontam para a estacionariedade do PVAR. Ademais, a diferenciação dessa série causaria dificuldade na compreensão dos resultados, uma vez que, algumas séries estariam em nível, incorporando informações de longo prazo, enquanto o preço do diesel consideraria somente informações de curto prazo.

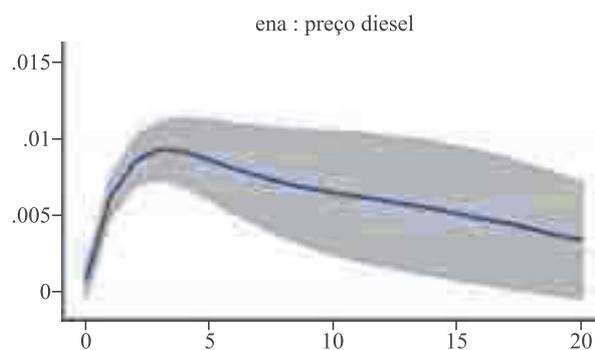
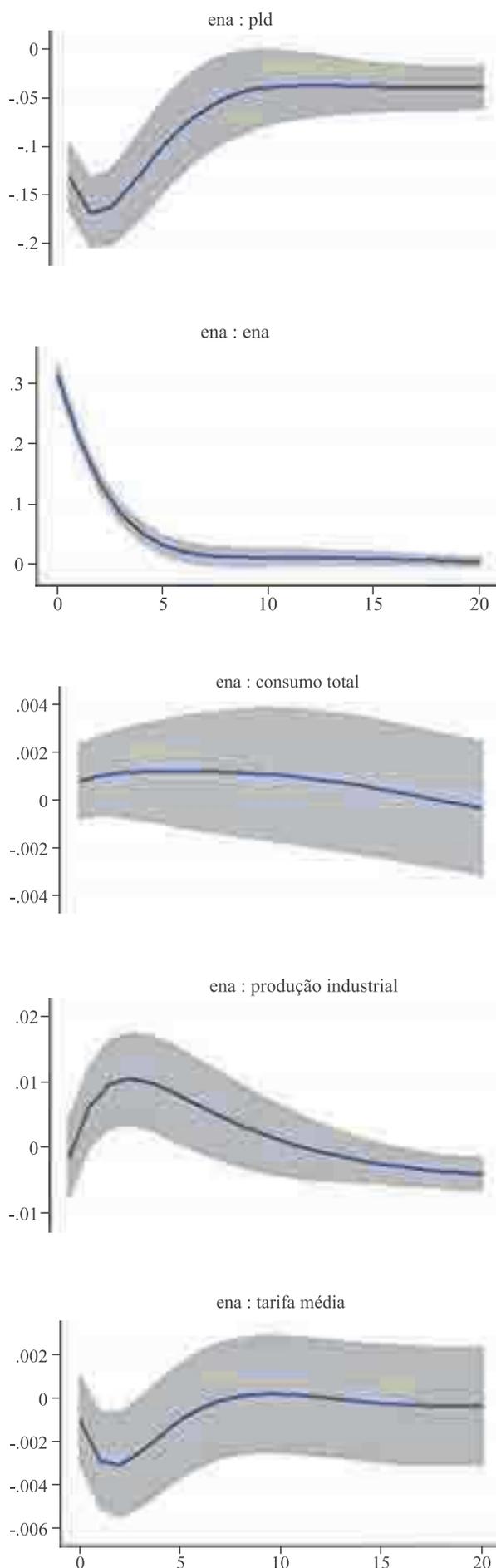
### 3.1.1 Modelo Base para o Setor Elétrico

O modelo base, conforme descrito na Tabela 5, tem a produção industrial como *proxy* para a atividade econômica, preço do óleo diesel e as

principais variáveis do setor elétrico: ENA, PLD, tarifa média, consumo total de energia e geração total de energia. Inicialmente, foi aplicado um choque positivo de um desvio padrão na variável ENA e observadas as respostas das demais variáveis. A Figura 1 apresenta as FIR estimadas. A região sombreada delimita um intervalo de confiança ao nível de 5% de significância, calculado por meio de simulações de Monte Carlo.

Figura 1 – Choque na ENA: modelo base do setor elétrico





Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

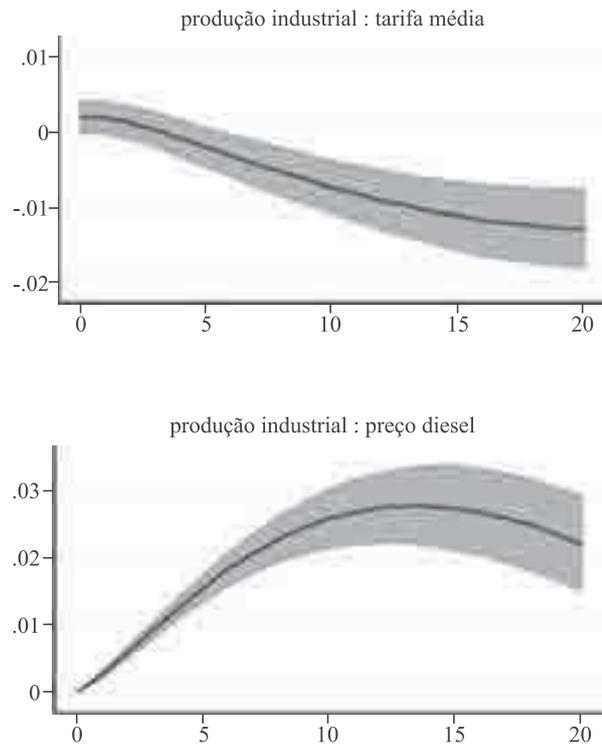
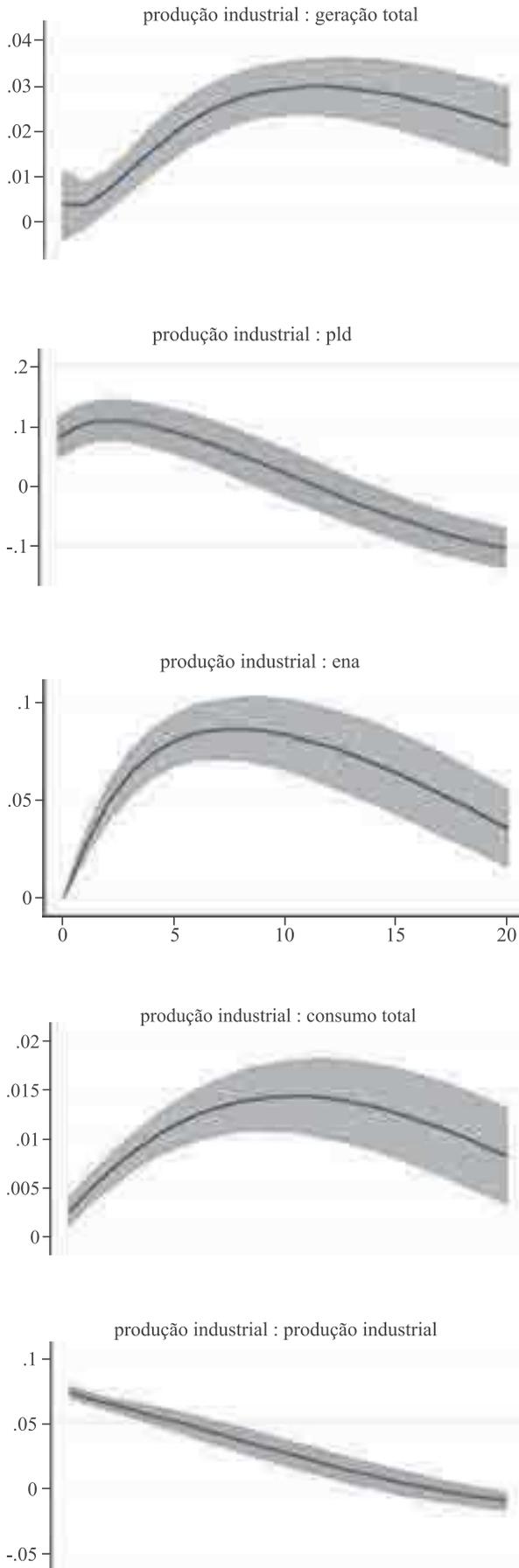
Um choque positivo na ENA está associado a um aumento inesperado no volume de chuvas, provocando uma elevação dos reservatórios. Isso leva a um aumento marginal da geração hidrelétrica e, por conseguinte, a uma redução no preço de curto prazo da energia elétrica.

Há um aumento na geração total por causa do aumento na geração hidrelétrica. Pelo lado dos preços, há uma redução transitória do PLD, conforme o esperado. Quanto à tarifa média, há uma pequena redução de forma defasada. O preço do diesel apresenta variação positiva, não explicada diretamente, uma vez que um choque na ENA ocasiona uma redução no consumo de combustível e redução do preço do PLD. Contudo, como mencionado anteriormente, o preço do diesel é controlado no Brasil e, dessa forma, não responde à demanda conforme o esperado. Esperava-se que a redução dos preços levasse a um aumento do consumo de energia. No entanto, a resposta dessa variável não foi estatisticamente significativa de acordo com o intervalo de confiança reportado para a sua resposta ao choque.

A produção industrial respondeu positivamente, confirmando a existência de uma relação direta entre a geração de energia e o nível de atividade econômica. O choque na ENA ilustrou o aumento da geração total oriundo da geração hidrelétrica. Com a geração de energia elétrica mais barata, houve uma redução nos preços da energia elétrica, representados por PLD e tarifa média. Ao mesmo tempo, o setor produtivo também experimentou uma expansão, para a qual contribuiu a redução do preço da energia elétrica.

A Figura 2 reporta as FIR para um choque positivo na produção industrial, que representa o nível de atividade econômica e pode ser associado a um choque de demanda.

Figura 2 – Choque na produção industrial: modelo base do setor elétrico



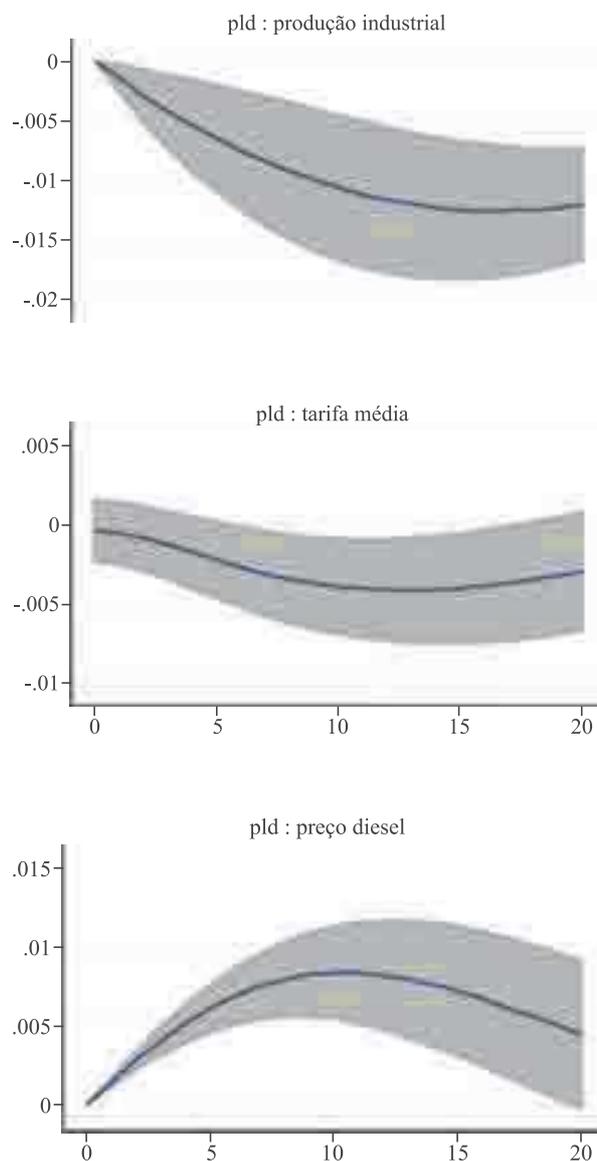
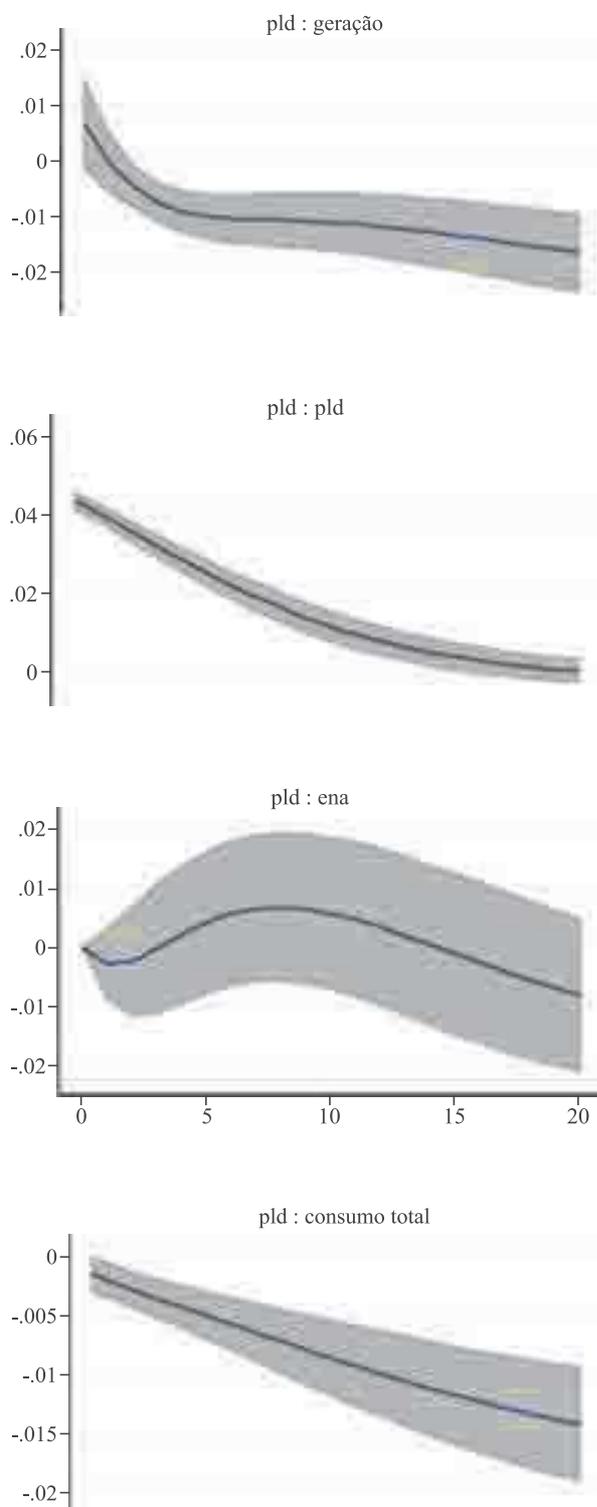
Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Um choque positivo na atividade econômica deve levar a um maior consumo e geração de energia elétrica, assim como a um aumento dos preços da energia elétrica. A geração e o consumo total apresentaram uma relação positiva com a atividade econômica, indicando uma dependência da produção industrial para com a energia elétrica na economia brasileira. Da mesma forma, os preços do PLD e óleo diesel mostraram-se aderentes ao aumento da produção industrial. Ambos experimentaram aumentos resultantes da expansão da demanda, uma vez que a indústria demandou mais energia elétrica e óleo diesel, que também é utilizado no abastecimento de meios de transporte de carga. No entanto, a tarifa média apresentou uma redução defasada, o que pode ser explicado pela redução desta tarifa promovida pelo governo em períodos de alta do PLD.

Os resultados de um choque positivo no preço de curto prazo, PLD, estão reportados na Figura 3. O PLD representa o risco de déficit de energia, com o aumento do risco de racionamento ocorrendo quando seu valor se eleva. Espera-se que um aumento no PLD conduza a um aumento da tarifa média, uma redução do consumo, aumento do preço do óleo diesel e redução da atividade econômica. Isso porque uma elevação no preço de energia de curto prazo leva a uma redução do consumo de energia e da produção industrial. Concomitante-

mente com o aumento do despacho de termelétricas haveria maior demanda por óleo diesel.

Figura 3 – Choque no PLD: modelo base do setor elétrico



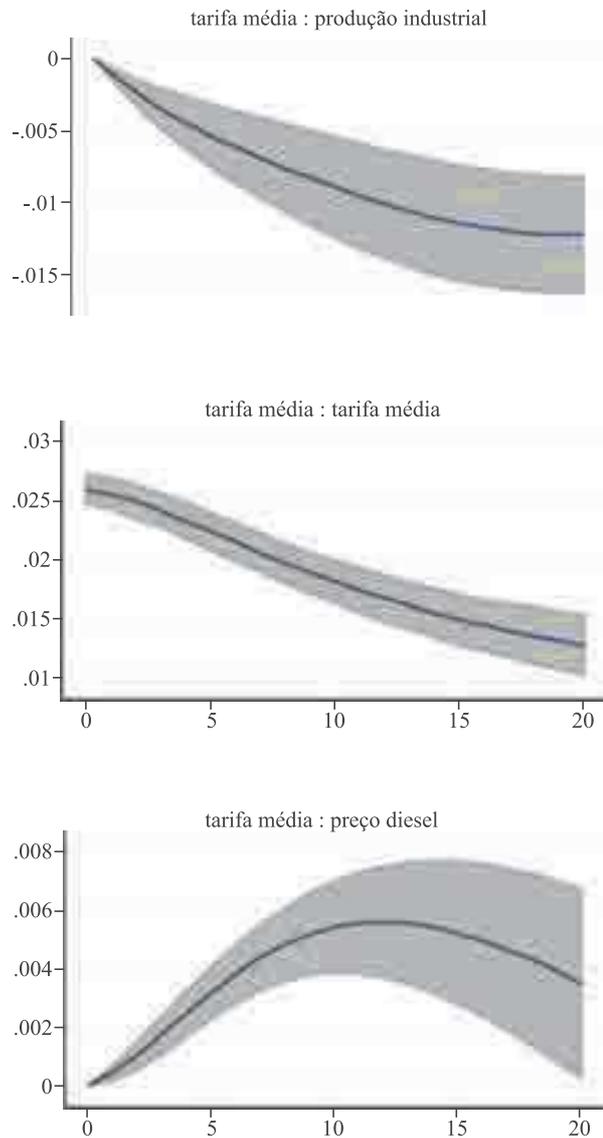
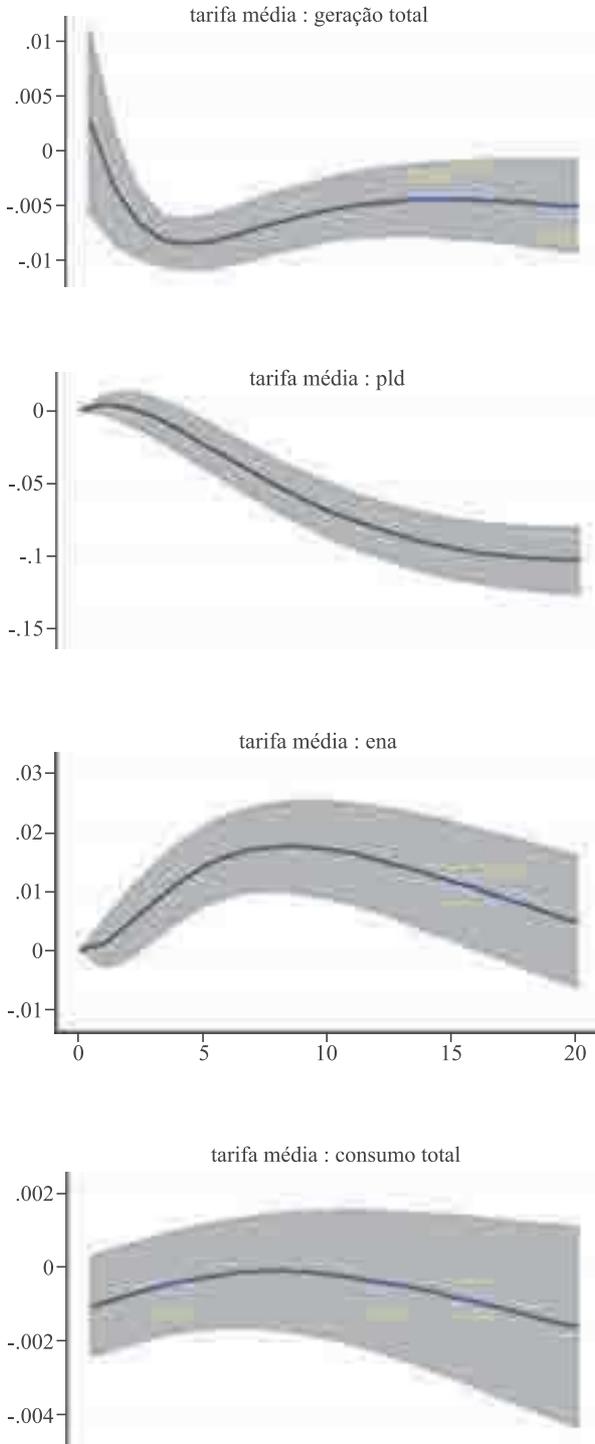
Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

A Figura 3 revela que o choque positivo do PLD provocou uma redução defasada da tarifa média. Houve uma redução do consumo total e da produção industrial, além de um aumento do preço do óleo diesel. Novamente, ocorreu uma relação inversa entre o PLD e a tarifa média. O aumento do PLD gerou uma redução do consumo total de energia, pois atingiu de forma mais direta os consumidores industriais. Isso causou, também, uma queda na produção industrial.

Finalmente, foi aplicado um choque positivo na tarifa média da distribuição, conforme ilustrado na Figura 4. Um aumento dessa tarifa deveria provocar uma redução do consumo total e, por conseguinte, da geração total. De fato, esse choque levou a uma redução na geração total. Contudo, não houve redução do consumo total, que apresentou uma resposta não significativa. O PLD também

apresentou redução, assim como a produção industrial. O preço do óleo diesel aumentou, ocasionando menor demanda por este combustível, dado que o PLD diminuiu.

Figura 4 – Choque na tarifa média: modelo base do setor elétrico



Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

De maneira geral, as respostas dinâmicas estimadas a partir do modelo base foram condizentes com o esperado. As respostas das variáveis ao choque estrutural na ENA foram bastante expressivas. Chama a atenção, também, as respostas cruzadas inversas de tarifa média e PLD aos choques nessas mesmas variáveis, revelando que os valores das tarifas foram reduzidos em períodos de alto risco de déficit energético. Essa política contra intuitiva contribuiu para alimentar a crise hídrica que o país enfrentou em 2014.

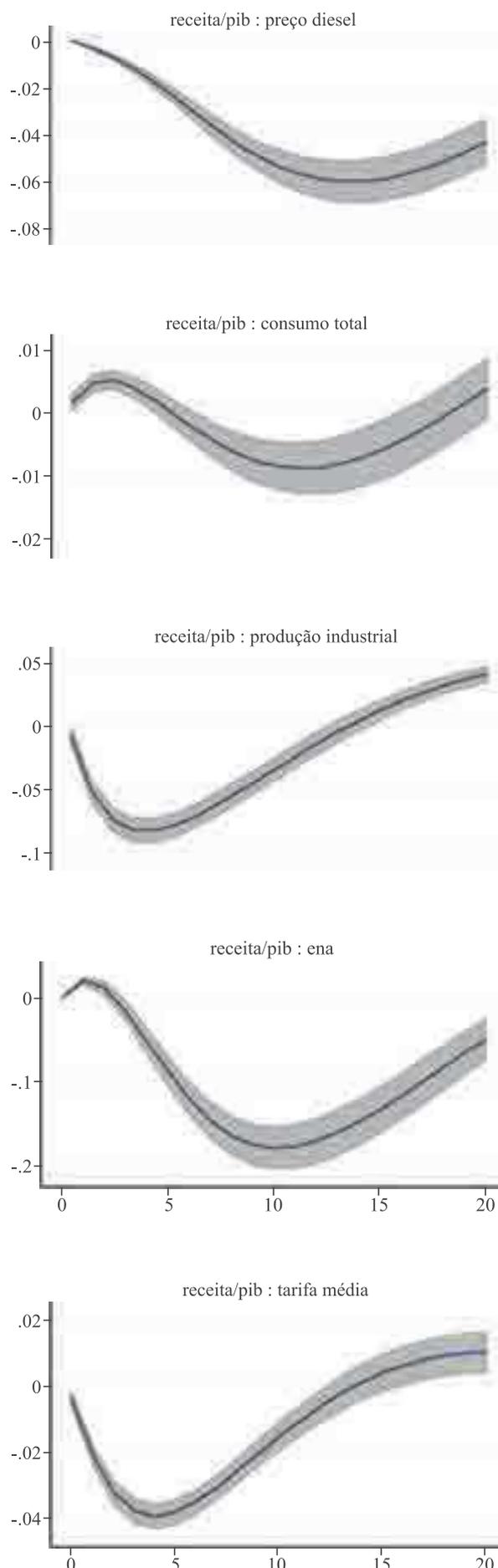
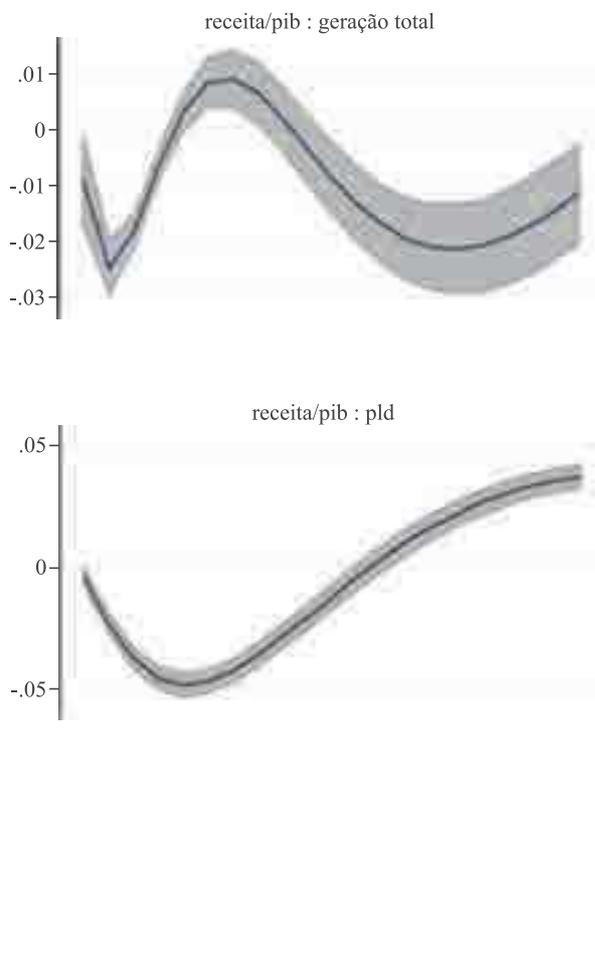
### 3.1.2 Política Fiscal e o Setor Elétrico

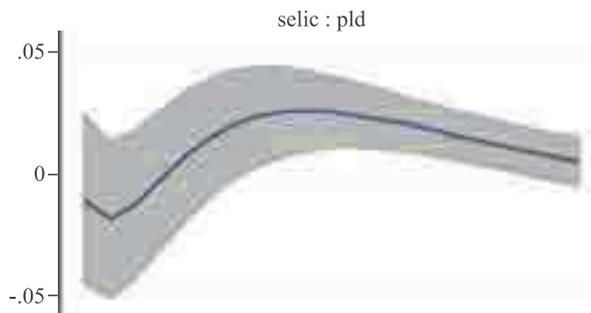
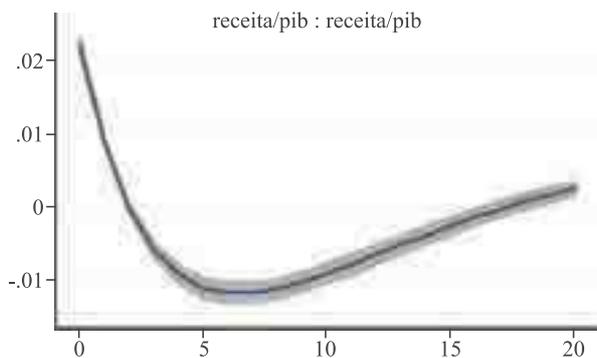
Com a finalidade de avaliar os efeitos de políticas macroeconômicas sobre o setor elétrico, foi incluída no modelo base a variável razão receita tributária sobre o PIB para representar a políti-

ca fiscal praticada no período. Vale ressaltar que essa *proxy* é uma série temporal que foi inserida no modelo VAR em painel. Aplicou-se um choque positivo de 1 desvio padrão na Receita/PIB e os resultados estão reportados na Figura 6. Esse choque pode ser associado a um aumento de arrecadação do governo em relação à atividade econômica e, portanto, indicar a ocorrência de uma política fiscal restritiva que conduza a uma redução da renda disponível. Dessa forma, poderia impactar negativamente no consumo de energia elétrica bem como no seu preço.

A Figura 5 ilustra que houve uma redução da produção industrial. No entanto, o consumo total de energia elétrica teve uma resposta positiva. Era esperado que o consumo de energia sofresse uma retração, acompanhando a queda da produção industrial devido ao choque restritivo de política fiscal. Por outro lado, o consumo de energia aumentou, uma vez que os preços de energia caíram após o choque.

Figura 5 – Choque na carga tributária: modelo do setor com política fiscal





Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

A tarifa média e o PLD responderam negativamente ao choque, revelando que choque fiscal restritivo provocou redução dos preços no setor de energia elétrica. O choque fiscal tem um efeito direto sobre os preços devido à carga tributária contida nos preços da energia elétrica e do óleo diesel. No entanto, ambos sofreram redução, sugerindo que o comportamento daqueles preços foi determinado pela queda da atividade industrial provocada pelo choque fiscal restritivo.

**3.1.3 Política Monetária e o Setor Elétrico**

De forma análoga ao modelo com política fiscal, foram avaliados os efeitos de um choque na política monetária sobre a dinâmica do setor elétrico. Para tanto, acrescentou-se ao modelo base a taxa de juros over Selic, que representa o instrumento da política monetária no regime de metas para a inflação adotado pelo Banco Central do Brasil. Para avaliar a resposta das variáveis do setor elétrico, aplicou-se um choque positivo de 1 desvio padrão na taxa de juros do over Selic. Os resultados estão reportados na Figura 6.

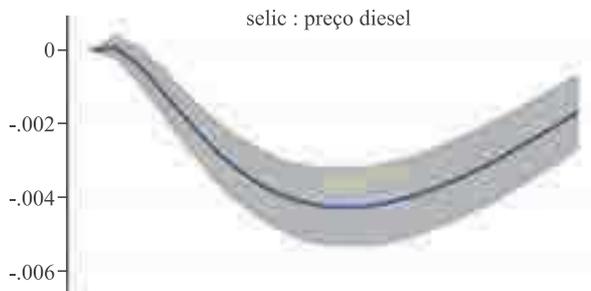
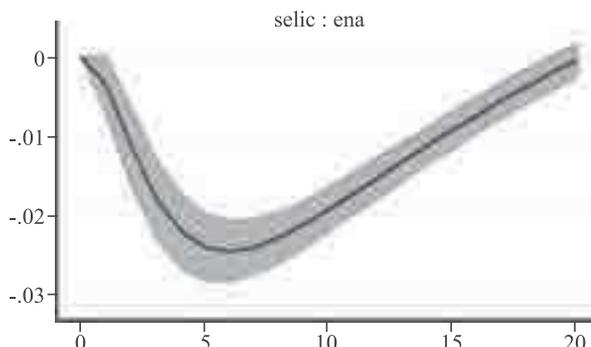
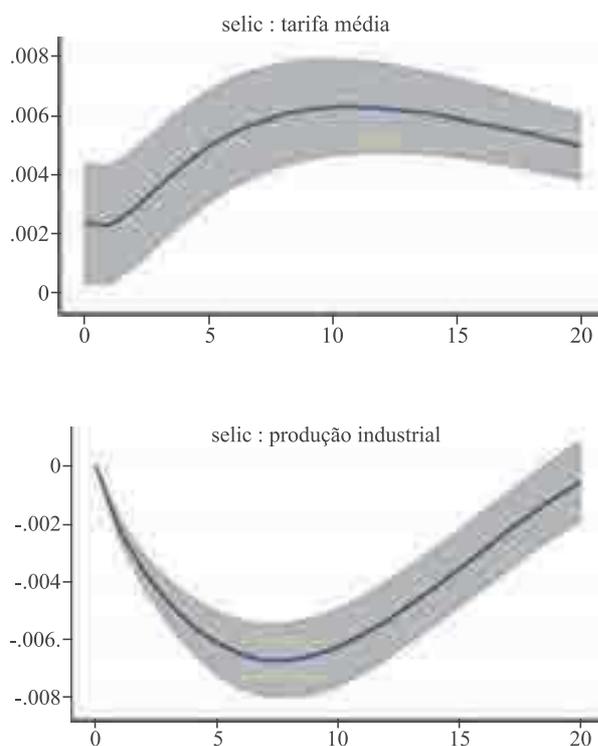


Figura 6 – Choque na taxa básica de juros: modelo do setor com política monetária





Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Espera-se que o aumento na taxa básica de juros da economia resulte em uma redução da demanda agregada e, por conseguinte, dos preços. O aumento da taxa Selic é utilizado como instrumento de política monetária para reduzir os preços livres no mercado. Assim, deve haver uma queda contemporânea dos preços de energia elétrica no curto prazo, o PLD, e defasada na tarifa média de energia, que é administrada pelo governo e sofre reajustes anuais. Adicionalmente, o aumento da taxa Selic também ocasiona uma retração dos investimentos e da atividade econômica diante da menor demanda agregada.

A Figura 6 revela que o choque monetário provocou um aumento no PLD e, também, na tarifa média. No entanto, houve uma redução do preço do óleo diesel. Esse choque, todavia, deveria levar a uma queda de todos os preços, o que só aconteceu com o preço do diesel e que pode ser entendido como preço mais rígido devido à política de preços praticada pela Petrobras no período. O PLD, que seria um preço mais flexível, subiu com certa defasagem.

Foi observado um efeito negativo na produção industrial, no consumo de energia elétrica e defasado na geração de energia. Essas respostas indicam que o choque na política monetária reduziu a produção industrial e, conseqüentemente, do consumo de energia elétrica.

De forma geral, pode-se verificar que a ENA possui uma forte relação com a geração hidrelétrica e com o total de energia gerada. Verifica-se, também, que há uma ligação entre os preços e o consumo de energia elétrica. Contudo, o efeito dos preços de energia elétrica sobre a demanda é muito baixo, tendo em vista que o setor elétrico experimenta uma forte influência regulatória.

## 4 CONCLUSÃO

O sistema elétrico brasileiro possui extensão continental e é altamente dependente de fontes hidrelétricas. Portanto, possui uma imprevisibilidade devido à dependência do regime de chuvas. Ao mesmo tempo, esse mercado impõe uma série de critérios para que os agentes econômicos atuantes no setor negociem a compra e a venda de energia elétrica. Isso produz distorções nos valores de comercialização da energia elétrica em relação ao equilíbrio competitivo de mercado.

O objetivo desse artigo foi analisar a dinâmica do setor elétrico brasileiro a partir dos efeitos de distintos choques discricionários, oriundos em variáveis específicas do setor elétrico, representativas das políticas fiscal e monetária e na atividade econômica agregada. Isso foi feito por meio da estimação de um VAR em painel para o setor elétrico e do cômputo e análise de funções impulso-respostas para variáveis endógenas do modelo. Foram avaliados, também, os efeitos de choques inesperados nas políticas fiscal e monetária sobre a dinâmica do setor elétrico brasileiro. O VAR em painel foi utilizado porque permite avaliar a propagação dos distintos choques exógenos não apenas ao longo do tempo, mas também entre os submercados que compõem o setor elétrico brasileiro.

A tarifa média de distribuição é regulada pelo governo e suas variações não foram causadas apenas por variações no consumo de energia, mas por políticas públicas voltadas ao setor. Nas estimações realizadas, houve uma resposta do consumo de energia, industrial e residencial, a variações dos preços de energia. A tarifa média de energia elétrica deveria sofrer alterações condizentes com variações do preço da energia de curto prazo. Contudo, essa tarifa é fixada pela Aneel e sofre pequenas variações ao longo do tempo. Somente com a recente implantação das bandeiras tarifárias é que, talvez, seja possível avaliar mudanças de curto

prazo na tarifa média. Os resultados encontrados confirmaram essa particularidade do setor ao revelarem uma baixa resposta do consumo a variações no preço da energia elétrica.

Adicionalmente, observou-se uma dependência da produção industrial e do consumo para com a geração de energia elétrica. Esse resultado é importante para a definição de políticas públicas voltadas ao setor de energia elétrica. Caso o governo edite uma política pública para o uso eficiente de energia elétrica, por exemplo, a restrição ao consumo de energia poderá afetar negativamente o crescimento econômico. A dinâmica da atividade econômica, via produção industrial ou políticas macroeconômicas fiscal e monetária, também afetam o consumo de energia elétrica.

Por outro lado, é necessário avaliar melhor a política de preços para o setor. Mesmo com a queda da energia natural afluyente, houve uma redução da tarifa média de energia elétrica para os consumidores residenciais. Além disso, mesmo após o preço de curto prazo do PLD subir durante dois anos consecutivos, a tarifa média de energia foi majorada somente dois anos após o início da crise hídrica. Dessa forma, os órgãos reguladores sinalizaram aos consumidores durante o período de crise, quando era necessário reduzir o consumo, que eles deveriam consumir mais, uma vez que houve uma redução da tarifa média de energia em 2012. O aumento dessa tarifa veio a ocorrer somente dois anos mais tarde, quando a crise hídrica já havia se instalado.

O choque na energia natural afluyente mostrou a relação positiva com a geração hidrelétrica e total de energia. A redução da energia natural afluyente que ocorreu nos últimos anos levou a uma redução da geração hidrelétrica e a uma crise energética. Observou-se, também, uma forte relação do consumo de energia elétrica com a produção industrial, algo comum em países com indústrias eletrointensivas e sistema energético dependente de fontes hidroelétricas.

As políticas fiscal e monetária também produziram alguns efeitos relevantes ao setor elétrico. Um choque fiscal restritivo ocasionou uma redução dos preços de energia (PLD), óleo diesel e tarifa média, ao mesmo tempo em que provocou uma queda da produção industrial. Isso ilustra como uma política econômica externa ao setor elétrico pode afetar os seus preços. Por outro lado, uma

política monetária restritiva, representada por um choque positivo na taxa de juros do over Selic, resultou em aumento no preço do diesel e redução da tarifa média e do PLD. Este último, dentre os preços avaliados nas estimações, revelou-se o mais sensível às oscilações econômicas de curto prazo.

## REFERÊNCIAS

- ABRIGO, M. R.; LOVE, I. E. O. **Estimation of panel vector autoregression in STATA: A package of programs**. manuscript, Febr 2015. Disponível em: <http://paneldataconference2015.ceu.hu/Program/Michael-Abrigo.pdf>. Acesso: ago. 2019.
- ANDRADE, T. A.; LOBÃO, W. J. **Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil**. Brasília: Ipea, 1997.
- CANOVA, F.; CICCARELLI, M. Panel vector autoregressive models: a survey. In: **VAR models in macroeconomics—new developments and applications: essays in honor of Christopher A. Sims**, Emerald Group Publishing Limited, p. 205-246, 2013.
- CASTRO, N.; BRANDÃO, R.; HUBNER, N.; DANTAS, G.; ROSENAL, R. **A formação do preço da energia elétrica: experiências internacionais e o modelo brasileiro**. GESEL-UFRJ. TDSE-Texto de Discussão do Setor Elétrico, nº 62, 2014.
- CHOI, I. Unit root tests for panel data. **Journal of International Money and Finance**, v. 20, n. 2, p. 249-272, 2001.
- CIARRETA, A.; ZARRAGA, A. Economic growth-electricity consumption causality in 12 european countries: A dynamic panel data approach. **Energy Policy**, v. 38, n. 7, p. 3.790-3.796, 2010.
- ELLIOTT, G.; ROTHENBERG, T. J.; STOCK, J. H. **Efficient tests for an autoregressive unit root**. Paper presented at the NBER-NSF Time Series Seminar, Chicago, 1992.
- GARCEZ, E. W.; GHIRARDI, A. G. Elasticidades da demanda residencial de energia elétrica. XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 2003, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro, 2003.

HOLTZ-EAKIN, D.; NEWEY, W.; ROSEN, H. S. Estimating vector autoregressions with panel data. **Econometrica; Journal of the Econometric Society**, v. 56, p. 1.371-1.395, 1988.

IM, K. S.; PESARAN, M. H.; SHIN, Y. Testing for unit roots in heterogeneous panels. **Journal of Econometrics**, v. 115, n. 1, p. 53-74, 2003.

IRFFI, G.; CASTELAR, I.; SIQUEIRA, M. L.; LINHARES, F. C. Previsão da demanda por energia elétrica para classes de consumo na região nordeste, usando OLS dinâmico e mudança de regime. **Economia Aplicada**, v. 13, n. 1, p. 69-98, 2009.

LEE, C.-C.; CHANG, C.-P. Energy consumption and GDP revisited: a panel analysis of developed and developing countries. **Energy Economics**, v. 29, n. 6, p. 1.206-1.223, 2007.

LEVIN, A.; LIN, C.-F.; CHU, C.-S. J. Unit root tests in panel data: asymptotic and finite sample properties. **Journal of Econometrics**, v. 108, n. 1, p. 1-24, 2002.

LOVE, I.; ZICCHINO, L. Financial development and dynamic investment behavior: Evidence from panel var. **The Quarterly Review of Economics and Finance**, v. 46, n. 2, p. 190-210, 2006.

MEHRARA, M. Energy consumption and economic growth: the case of oil exporting countries. **Energy policy**, v. 35, n. 5, p. 2.939-2.945, 2007.

MODIANO, E. **Elasticidade-renda e preços da demanda de energia elétrica no Brasil**. Textos para discussão, n° 68. Department of Economics PUC-Rio (Brazil), 1984.

NG, S.; PERRON, P. Lag length selection and the construction of unit root tests with good size and power. **Econometrica**, v. 69, n. 6, p. 1.519-1.554, 2001.

PERRON, P. The great crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, v. 57, p. 1.361-1.401, 1989.

PESARAN, M. H. A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. **Journal of Applied Econometrics**, v. 22, n. 2, p. 265-312, 2007.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. M. A Demanda por energia elétrica no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 58, n. 1, p. 67-98, 2004.

VIANA, G.; SILVA, A. L. M. Um modelo para projeções para demanda por energia elétrica, 2009-2017 para o setor residencial no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 20, p. 107-126, 2014.