

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

Maiara de Oliveira Noronha

**A RELAÇÃO ENTRE A CAPACIDADE DE GERAÇÃO ELÉTRICA POR
FONTES RENOVÁVEIS E NÃO-RENOVÁVEIS E O CRESCIMENTO
ECONÔMICO NO BRASIL**

Santa Maria, RS
2017

Maiara de Oliveira Noronha

**A RELAÇÃO ENTRE A CAPACIDADE DE GERAÇÃO ELÉTRICA POR FONTES
RENOVÁVEIS E NÃO-RENOVÁVEIS E O CRESCIMENTO ECONÔMICO NO
BRASIL**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção.**

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Roselaine Ruviano Zanini

Santa Maria, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Noronha, Maiara de Oliveira

A relação entre a capacidade de geração elétrica por fontes renováveis e não-renováveis e o crescimento econômico no Brasil / Maiara de Oliveira Noronha.- 2017.

81 p. ; 30 cm

Orientadora: Roselaine Ruviaro Zanini

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, RS, 2017

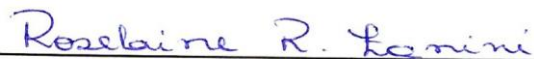
1. Energias Renováveis 2. Energias não-renováveis 3. Crescimento Econômico 4. Modelo Vetor Autorregressivo I. Zanini, Roselaine Ruviaro II. Título.

Maiara de Oliveira Noronha

**A RELAÇÃO ENTRE A CAPACIDADE DE GERAÇÃO ELÉTRICA POR FONTES
RENOVÁVEIS E NÃO-RENOVÁVEIS E O CRESCIMENTO ECONÔMICO NO
BRASIL**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção.**

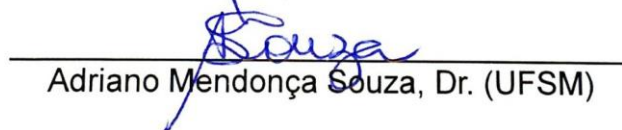
Aprovado em 11 de agosto de 2017.



Roselaine Ruviano Zanini, Dr.^a (UFSM)
(Presidente/Orientadora)



Rafael Cabral Cruz, Dr. (Unipampa)



Adriano Mendonça Souza, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2017

RESUMO

A RELAÇÃO ENTRE A CAPACIDADE DE GERAÇÃO ELÉTRICA POR FONTES RENOVÁVEIS E NÃO-RENOVÁVEIS E O CRESCIMENTO ECONÔMICO NO BRASIL

AUTORA: Maiara de Oliveira Noronha
ORIENTADORA: Roselaine Ruviaro Zanini

O debate sobre as causas das mudanças climáticas e ambientais é estruturado por estudos que apontam, como um dos principais fatores, o aumento da demanda de energia. As fontes renováveis são relevantes no planejamento energético de um país, porque estão atreladas à criação de oportunidades para o desenvolvimento tecnológico, econômico e produtivo norteado pelos princípios da sustentabilidade. Assim, o objetivo deste estudo foi investigar a relação entre a capacidade de geração elétrica por fontes renováveis e variáveis macroeconômicas brasileiras. Foi realizada a análise das inter-relações entre capacidade de geração elétrica e crescimento econômico no Brasil, no período de abril de 2009 a março de 2017, por meio da metodologia de Vetores Autorregressivos. Foi possível verificar que a variância do emprego é explicada pelas fontes renováveis: hidroelétrica em 7,71%, biomassa em 1,99%, pela energia eólica em 3,13% e pela energia solar em 10,58%, enquanto a variância do PIB é explicada em 3,15% pela energia hidroelétrica, em 0,06% pela biomassa, em 1,70% pela energia eólica e em 17,38% pela energia solar. A variância da exportação é explicada pelas fontes renováveis: hidroelétrica em 2,48%, pela biomassa em 0,39%, pela energia eólica em 2,34% e pela energia solar em 17,58%. Por fim, a variância do salário mínimo é explicada pela energia hidroelétrica em 1,48%, pela biomassa em 5,09%, pela energia eólica em 9,09% e pela energia solar em 10,67%. Desta forma, a análise da Função Impulso Resposta e da Decomposição da Variância permitiram verificar que a capacidade instalada para produção de energia elétrica exerce influência sobre as variáveis macroeconômicas brasileiras consideradas neste estudo.

Palavras-chave: Energias Renováveis; Energias não-renováveis; Crescimento econômico; Modelo Vetor Autorregressivo.

ABSTRACT

THE RELATIONSHIP BETWEEN GENERATION CAPACITY ELECTRIC FOR RENEWABLE AND NON-RENEWABLE ENERGY AND SOCIOECONOMIC DEVELOPMENT IN BRAZIL

AUTHOR: Maiara Oliveira Noronha
ADVISOR: Roselaine Ruviaro Zanini

The debate on the causes of climate and environmental changes is structured by studies that point out, as one of the main factors, the increase of energy demand. Renewable sources are relevant in a country's energy planning because they are linked to the creation of opportunities for technological, economic and productive development guided by the principles of sustainability. Thus, the objective of this study was to investigate the relation between the capacity of electric generation by renewable sources and Brazilian macroeconomic variables. The analysis of the interrelationships between electricity generation capacity and economic growth in Brazil, from April 2009 to March 2017, was carried out by means of the Autoregressive Vectors methodology. It was possible to verify that the variance of employment is explained by renewable sources: hydroelectric in 7.71%, biomass in 1.99%, wind energy in 3.13% and solar energy in 10.58%, while the GDP variance is explained by 3.15% for hydroelectric energy, 0.06% for biomass, 1.70% for wind energy and 17.38% for solar energy. The export variance is explained by renewable sources: hydroelectric 2.48%, biomass 0.39%, wind energy 2.34% and solar energy 17.58%. Finally, the variance of the minimum wage is explained by hydroelectric energy in 1.48%, biomass in 5.09%, wind energy in 9.09% and solar energy in 10.67%. Thus, the analysis of the Response Impulse Function and the Decomposition of Variance allowed us to verify that the installed capacity for the production of electric energy exerts influence on the Brazilian macroeconomic variables considered in this study.

Keywords: Renewable Energy; Non-renewable energies; Socioeconomic development; Autoregressive Vector Model.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ARDL	<i>Panel Autorregressive Distributed Lag</i>
BEN	Balanço Energético Nacional
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FIR	Função Impulso Resposta
FMOLS	<i>Fully Modified OLS</i>
GCBEW	<i>Granger Causality/Block Exogeneity Wald Test</i>
GW	Giga Watt
MEN	Matriz Energética Nacional
MME	Ministério de Minas e Energia
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
MW	Mega Watt
NARX	<i>Nonlinear Autoregressive Model</i>
OIE	Oferta Interna de Energia
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PDEE	Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Plano Nacional de Energia
PROINFRA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SEM	<i>Structural Equation Modeling</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional
TEP	Tonelada equivalente de petróleo
TW	Tera Watt
VAR	<i>Vector Autorregressive Model</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA	9
1.2	PROBLEMÁTICA	10
1.3	OBJETIVOS	11
1.3.1	Objetivo geral	11
1.3.2	Objetivos específicos.....	11
1.4	JUSTIFICATIVA.....	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA.....	14
2.2	CENÁRIO DA DEMANDA E OFERTA ENERGÉTICA NO BRASIL	18
2.3	DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO	21
2.4	MODELO VETORIAL AUTORREGRESSIVO	26
2.5	TESTES DE RAÍZES UNITÁRIAS	29
2.6	ANÁLISE DE CAUSALIDADE	32
2.7	FUNÇÃO IMPULSO RESPOSTA (FIR).....	33
2.8	DECOMPOSIÇÃO DA VARIÂNCIA	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	38
3.2	DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS	39
3.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	39
4	ARTIGO - RELAÇÃO ENTRE A CAPACIDADE DE GERAÇÃO ELÉTRICA POR FONTES RENOVÁVEIS E NÃO-RENOVÁVEIS E O CRESCIMENTO ECONÔMICO NO BRASIL	42
5	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

O debate sobre as causas das mudanças climáticas e ambientais é estruturado por estudos que apontam, como um dos principais fatores, o aumento da demanda de energia, pois o avanço tecnológico, produtivo e o desenvolvimento socioeconômico global exigem o consumo intermitente de energia em grande escala (GOLDEMBERG; VILLANUEVA, 2003).

Após a ocorrência de eventos internacionais importantes, como as Conferências das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, realizadas em 2009 e 2015, observa-se um aumento do estímulo para a incorporação de fontes de energias renováveis na matriz energética mundial. As fontes renováveis são estratégicas no planejamento energético de um país, porque estão atreladas à criação de oportunidades para o desenvolvimento tecnológico, econômico e produtivo norteado pelos princípios da sustentabilidade (GOLDEMBERG, 2015).

Uma sociedade sustentável pode ser definida como aquela que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades. Dessa maneira, o suprimento de energia é considerado como um dos fatores que contribui para a criação de condições socioeconômicas consoantes ao desenvolvimento sustentável. Além disso, proporciona a utilização eficiente e a ampliação do acesso aos recursos energéticos disponíveis (YILDIRIM; SARAÇ; ASLAN, 2012).

Ainda, as fontes renováveis de energia são consideradas como estratégicas para o aumento da diversidade na oferta de energia, tanto para países desenvolvidos quanto para aqueles em desenvolvimento, pois corroboram para minimização dos impactos causados pelos combustíveis fósseis e são associadas à expansão social e econômica (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2013).

No Brasil, os processos de geração de energia por fontes renováveis ainda podem ser explorados em maior escala com fontes como solar, eólica, biomassa, oceânica e de hidrogênio (TOLMASQUIM, 2012). Dessa forma, por meio de políticas de incentivo, é possível criar condições para que essas fontes tenham uma maior participação na matriz energética e, conseqüentemente, promover o desenvolvimento sustentável do país (FADIGAS, 2011).

Apesar de não ser a única condição para garantir os avanços econômico e social, a existência de uma política energética de estímulo ao aumento das fontes de energias renováveis pode contribuir de forma a tornar a matriz elétrica mais eficiente (GOLDEMBERG; MOREIRA, 2005). A promoção de fontes de energia como a solar e a biomassa, ainda é incipiente no Brasil, pois não são consideradas nas estratégias e nos programas de expansão energética.

Sendo o Brasil um país privilegiado, porque possui uma vasta oferta de recursos energéticos, as fontes renováveis disponíveis podem ser a alternativa para ampliação dessa oferta. No entanto, a disponibilidade desses recursos deve ser gerenciada para proporcionar custos competitivos, assim atrair novos investidores que possam subsidiar a ampliação da infraestrutura, a criação de mão-de-obra e a alocação de recursos no setor energético (BRASIL, 2011).

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Uma das abordagens sobre o setor energético diz respeito à utilização de fontes renováveis para geração de energia elétrica, pois a busca por um modelo sustentável de desenvolvimento é um dos principais objetivos da sociedade moderna. Além disso, há um grande destaque para as discussões acerca da importância do planejamento energético como aspecto estratégico na garantia do desenvolvimento socioeconômico de um país (REIS, 2011).

As energias renováveis possuem um papel importante na redução de impactos ambientais negativos e na redução das mudanças climáticas. Mas ainda, é incipiente o conhecimento dos impactos sociais ocasionados pela geração de energia por fontes renováveis (SACHS, 2007). Assim sendo, a investigação das relações entre a geração de energias renováveis e o crescimento econômico pode contribuir para a discussão de soluções que visam o aproveitamento de fontes limpas no planejamento da matriz elétrica brasileira. Portanto, o tema de pesquisa abordado neste estudo é a relação entre a geração de energia por fontes renováveis e crescimento econômico.

1.2 PROBLEMÁTICA

Entre os séculos XVIII e XIX, a Revolução Industrial contribuiu para impulsionar a economia na Europa. No entanto, a base produtiva foi sustentada pela exploração de combustíveis fósseis, principalmente o carvão mineral e o petróleo, os quais geram emissões de poluentes e gases de efeito estufa na atmosfera. Por essa razão, a partir da década de 1970, esse modelo de crescimento começou a ser questionado em relação aos impactos causados no meio ambiente (COSTA; RODRIGUES, 2015).

Por essa razão, as sociedades desenvolvidas e industrializadas estão mais atentas para a necessidade da incorporação de fontes renováveis de energia em seu planejamento energético, pois existem grandes problemas associados ao uso de fontes convencionais provenientes de combustíveis fósseis, como danos ambientais e escassez de matéria-prima.

O grande desafio que se impõe aos gestores e à sociedade é a mudança dos padrões de produção e consumo que definem o atual modelo de desenvolvimento. Assim, os países industrializados, responsáveis pelo consumo mais intenso de energia, revelam em seus modelos econômicos grandes entraves para a sustentação de bases energéticas mais limpas.

No intuito de impulsionar o crescimento e atingir índices satisfatórios de desenvolvimento socioeconômico, é necessária a manutenção da qualidade e da disponibilidade dos recursos naturais, bem como a implantação de políticas públicas bem empreendidas, de desenvolver a capacidade da população em criar um conjunto de elementos políticos, institucionais e sociais que promovam práticas alternativas de geração de energia (TOLMASQUIM, 2012).

O rápido crescimento populacional tem como consequência o aumento do consumo de eletricidade e assim, para atender as demandas, é necessário ampliar a disponibilidade de energia. No Brasil, a principal fonte energética primária é a hidroelétrica, porém é importante diversificar as fontes primárias e garantir a segurança do abastecimento (GOLDEMBERG; MOREIRA, 2005).

Ainda, considerar a integração das políticas de desenvolvimento econômico e energético, exige a articulação de estratégias governamentais complexas, que atendam aos interesses tanto da sociedade, quanto de investidores privados do setor energético. Assim, neste estudo é abordada a seguinte questão de pesquisa: existe

relação entre a capacidade de geração elétrica por fontes de energia renováveis e não-renováveis e o crescimento econômico no Brasil?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Analisar a relação da capacidade instalada de geração de energia elétrica por fontes renováveis com as seguintes variáveis socioeconômicas: produto interno bruto, exportações, emprego e salário mínimo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar uma análise descritiva da capacidade de geração de energia elétrica por fontes renováveis e não-renováveis e variáveis econômicas brasileiras.
- Ajustar um modelo Vetorial Autorregressivo (VAR) para a capacidade de geração de energia elétrica por fontes renováveis e não-renováveis em função do produto interno bruto (PIB), do emprego (número de admissões), do salário mínimo e das exportações.
- Definir quais as fontes renováveis e não-renováveis de energia possuem maior grau de relação com as variáveis socioeconômicas.

1.4 JUSTIFICATIVA

O aumento no consumo, os impactos ambiental e social, advindos das fontes de energia tradicionais acarretam mudanças na postura dos governos e da sociedade, que passam a investir em fontes alternativas para geração de energia elétrica. Assim, fontes como hidráulica, eólica, solar e biomassa estão inclusas de forma positiva no planejamento energético de muitos países.

Também, em virtude dos constantes debates acerca dos impactos causados pela dependência de combustíveis fósseis, há intensa busca por soluções sustentáveis para geração de energia proveniente de fontes limpas e renováveis.

O Brasil é considerado um dos países com maior potencial para o investimento na geração de energia por fontes renováveis, pois apresenta grande disponibilidade de recursos naturais. No entanto, pelo fato de o país possuir uma extensa bacia hidrográfica, os maiores investimentos e pesquisas concentram-se na geração hidroelétrica (RONDINELLI; SILVA, 2015).

As fontes renováveis de energia são consideradas potencialmente inovadoras, pois favorecem políticas de redução das desigualdades socioeconômicas, e ainda fomentam uma visão de futuro sustentada na descentralização da geração e da distribuição de energia, com o intuito de contribuir na construção de uma economia sustentável (COSTA; RODRIGUES, 2015).

A constituição de uma política energética pode contribuir positivamente para o progresso econômico e social, bem como na garantia do acesso universal a serviços de qualidade, com preços equitativos e compromisso com a gestão sustentável e preservação dos recursos naturais (TOLMASQUIM, 2012). Dessa forma, deve-se considerar nos estudos empíricos e análises técnicas, todos os aspectos socioeconômicos e ambientais da geração de energia pelas diferentes fontes que compõem a matriz energética brasileira.

A complementaridade da matriz energética brasileira com fontes renováveis torna-se importante, pois é uma alternativa para evitar episódios de interrupção no abastecimento de energia. Além disso, é possível reduzir impactos socioeconômicos negativos como desemprego, perdas no setor industrial e comercial, além dos transtornos causados à população pela privação do abastecimento regular de energia elétrica (RONDINELLI; SILVA, 2015).

O modelo de desenvolvimento sustentável é caracterizado por promover o crescimento em conjunto às melhorias da qualidade de vida, ao exercício pleno dos direitos sociais e políticos e à integração das relações socioeconômicas e ambientais. E nessas circunstâncias, a ampliação da geração de energia por fontes renováveis, torna-se um pilar estratégico para as sociedades modernas ao oferecerem condições que favorecem a manutenção sustentável dos aspectos econômico, social e ambiental (LIMA, 2012).

O planejamento energético, como uma ferramenta de gestão, precisa estar fundamentado sob os aspectos que possibilitem o aumento da competitividade de um país, a expansão da oferta de trabalho, a valorização dos recursos energéticos nacionais, a ampliação do acesso à energia e a preservação dos recursos naturais

(GOLDEMBERG; MOREIRA, 2005).

O uso dos recursos energéticos exerce intensa influência para o aumento da competitividade econômica de um país e sob a qualidade de vida da sua população. Por esse motivo, é importante que os governos tenham um posicionamento adequado ao discutir e programar suas estratégias, bem como garantir as vantagens de possuir uma matriz energética independente.

No caso do Brasil, que possui uma situação favorável para expansão da sua matriz, a questão é vista sob a perspectiva da criação de oportunidades, no entanto, são previstos grandes desafios como o desenvolvimento socioeconômico acelerado que demanda uma quantidade de energia significativa (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

Portanto, esta pesquisa pretende contribuir para o entendimento da relação entre a geração de eletricidade por fontes renováveis e não renováveis e variáveis socioeconômicas brasileiras, assim como ser uma fonte de informações para a construção de estratégias no uso e fomento das fontes renováveis para geração de eletricidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos referentes às fontes de energia renováveis e não renováveis, será apresentada uma explanação acerca da geração de energia elétrica no cenário mundial e brasileiro, bem como serão apresentados alguns estudos sobre a relação entre energia e desenvolvimento econômico. Ainda, serão descritos os aspectos e conceitos básicos sobre o modelo de vetor autorregressivo.

2.1 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

Os sistemas de energia destacam-se na sociedade porque estão entre os principais componentes de infraestrutura, junto aos transportes, às telecomunicações e os sistemas de abastecimento de água (REIS, 2011).

Desde a descoberta do fogo, os seres humanos utilizam a energia para suprir suas necessidades básicas como alimentação, iluminação e aquecimento. Assim, ao longo da história, ocorreram descobertas que possibilitaram o aprimoramento das fontes e formas de uso da energia, essencialmente durante o período da Revolução Industrial em que iniciou o uso de um combustível fóssil em grande escala, o carvão mineral (FARIAS; SELLITTO, 2011).

A composição da matriz energética brasileira contribui para o desenvolvimento de um setor energético com potencial para geração de energia a partir de fontes menos poluentes, bem como fomenta a implantação de melhorias nas dimensões sociais e econômicas (FREITAS; DATHEIN, 2013).

Entre os anos de 1940 e 1960, foram criadas empresas estatais brasileiras, como a Petrobrás e a Eletrobrás, com o objetivo de realizar o planejamento energético do país. Então, estabeleceram-se estratégias que favoreceram a manutenção de custos baixos de energia e a aceleração do desenvolvimento socioeconômico.

No entanto, o gerenciamento ineficiente das estatais ocasionou problemas como tarifas incompatíveis com o mercado e a utilização das empresas para benefícios políticos. Ainda na década de 1990, ocorreu, parcialmente, a desestatização desse sistema na tentativa de solucionar tais problemas. Assim, foram implantadas mudanças como a adesão de agências reguladoras independentes, a

inserção da competição na produção e distribuição de energia, e a desverticalização do sistema como um todo (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

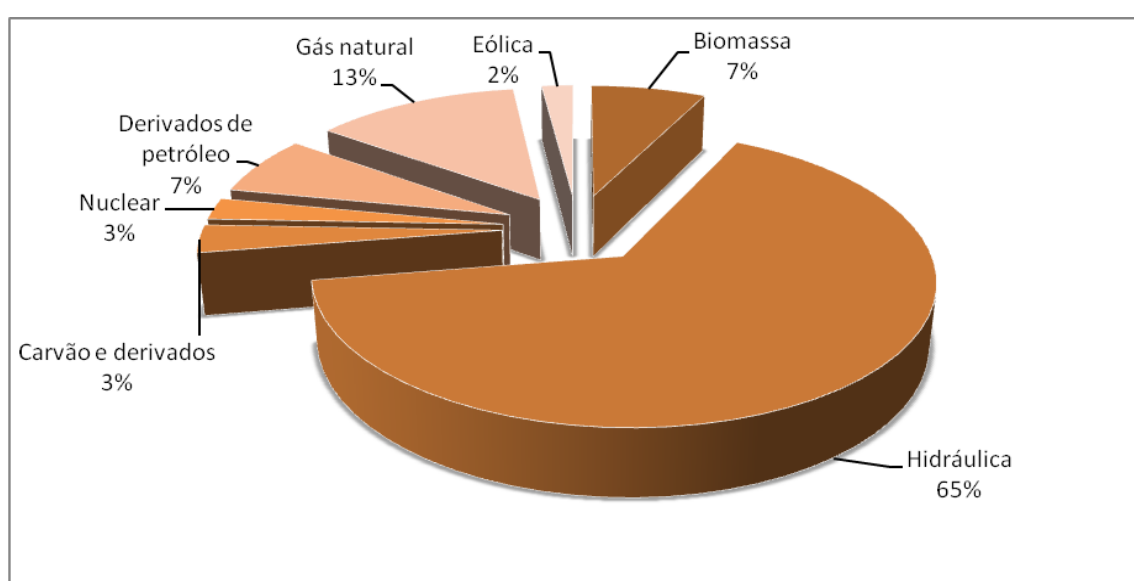
Pode-se definir a matriz energética como o conjunto de fontes diversas disponíveis para oferta interna de energia de um país, de modo que há a sua diferenciação entre os tipos de fontes e os setores de consumo.

A informação disponível na matriz energética é um recurso técnico que proporciona a um país acompanhar a evolução da oferta interna de energia, resultados de políticas e estratégias setoriais (REIS; SANTOS, 2014).

Ainda, permite contribuir para visualização de cenários do mercado de energia, auxiliar o processo de planejamento energético ao estabelecer os parâmetros de oferta e demanda de energia, além de ser fundamental no subsídio para tomada de decisão porque apresenta a evolução da participação das diferentes fontes na matriz elétrica (SILVA et al., 2015).

Conforme apresentado no Balanço Energético Nacional (BEN), a matriz energética brasileira (Figura 1) é predominantemente composta por fontes renováveis, as quais representam 74,6% da oferta interna de eletricidade, com destaque para a geração hidráulica que responde por 65,2% da oferta interna (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015).

Figura 1 - Gráfico da oferta interna de energia elétrica por fonte (ano base de 2014).



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2015.

Em 26 de abril de 2002, pela Lei nº 10.438, foi criado no Brasil o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), com o objetivo de incentivar a utilização de fontes alternativas de energia (BRASIL, 2002). Ainda, em 11 de novembro de 2003, pela Lei nº 10.762, ocorreu a revisão do programa com o propósito de incluir a participação de mais estados, estimular mais efetivamente a contribuição da indústria nacional e excluir consumidores de baixa renda da divisão da compra de energia (BRASIL, 2003).

Conforme o estudo do Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 (BRASIL, 2011), desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), está previsto o aumento de 46,3%, em 2020, da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira.

O financiamento de projetos de geração de energia por fontes alternativas é o principal objetivo do programa, que é considerado como um instrumento essencial para a diversificação da matriz energética brasileira, a garantia, a segurança e a confiabilidade do abastecimento.

Destaca-se que, a maioria das fontes renováveis de energia presentes na matriz energética brasileira são contempladas em projetos do Proinfa, como a geração de energia a partir dos ventos (energia eólica), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), uso do bagaço de cana, da casca de arroz, de cavaco de madeira e biogás de aterro sanitário (biomassa) (BERMANN, 2008).

Ainda, é importante distinguir as principais fontes renováveis de energia que compõem a Matriz Energética Nacional, as quais serão consideradas para a realização deste estudo que são a hidroeletricidade, biomassa, eólica e solar.

A conversão da energia cinética da água em energia potencial mecânica, para geração de energia, é denominada de hidroeletricidade. A hidroeletricidade é considerada a principal e mais eficiente fonte para o setor elétrico, pois fornece energia em grande escala. No entanto, a implantação de uma usina hidrelétrica exige elevados investimentos iniciais, bem como depende do uso de rios locais, podendo acarretar em grandes impactos negativos econômicos, sociais e ambientais (PINTO, 2013).

No Brasil começaram a ser construídas, no final do século XIX, as denominadas Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), que são caracterizadas como aqueles empreendimentos com potencial hidráulico superior a 1.000 kW e igual ou inferior a

30.000 kW, e a área do reservatório igual ou inferior a 3,0 km² (BRASIL, 2015).

A biomassa é a matéria vegetal gerada por meio da fotossíntese, é composta por produtos e subprodutos provenientes das florestas, das culturas e resíduos agrícolas, de dejetos animais e da matéria orgânica presente nos rejeitos industriais e urbanos, e pode ser utilizada na produção de energia hidráulica e outras fontes renováveis, além disso é uma das fontes mais utilizadas para geração de energia elétrica em sistemas de co-geração (produção simultânea de calor e eletricidade) e no suprimento de eletricidade de comunidades isoladas de rede elétrica (BERMANN, 2008). A energia química da biomassa pode ser utilizada diretamente pela combustão ou ser convertida em outros produtos energéticos, e por meio de diversos processos é possível a obtenção de carvão vegetal, etanol, gases combustíveis e óleos vegetais combustíveis.

A eletricidade obtida a partir da força dos ventos é denominada como energia eólica, sendo considerada uma das fontes de energia renovável mais interessante e promissora (FADIGAS, 2011). O aproveitamento dessa fonte acontece pela conversão de energia cinética de translação em energia cinética de rotação, e o processo é realizado por grandes turbinas denominadas de aerogeradores (BERMANN, 2008).

Conforme informações divulgadas no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (PEREIRA, 2006), o potencial eólico brasileiro indicativo é de 143.000 MW (272,2 TWh/ano), e as áreas com maior potencial elétrico encontram-se, nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste.

A energia proveniente da radiação solar pode ser explorada por dois processos, o térmico e o fotovoltaico. A conversão da energia solar para energia térmica é utilizada, principalmente, em sistemas de aquecimento de água em edificações e residências. A energia solar fotovoltaica é obtida pela conversão da radiação solar em eletricidade, por meio de sistemas semicondutores fabricados, normalmente, de silício (Si), sendo que a luz solar atinge as células fotovoltaicas e produz uma corrente elétrica (KEMERICH et al., 2016).

O Brasil possui grandes diferenças nas características climáticas de cada região, no entanto observa-se que, a média anual de irradiação solar global, é uniforme em todo o país. Os valores são divulgados no Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2006), sendo que a região norte do estado da Bahia apresenta o valor máximo de irradiação global (6,5 kWh/m²) e, o menor valor, é observado no litoral norte de Santa Catarina (4,25kWh/m²).

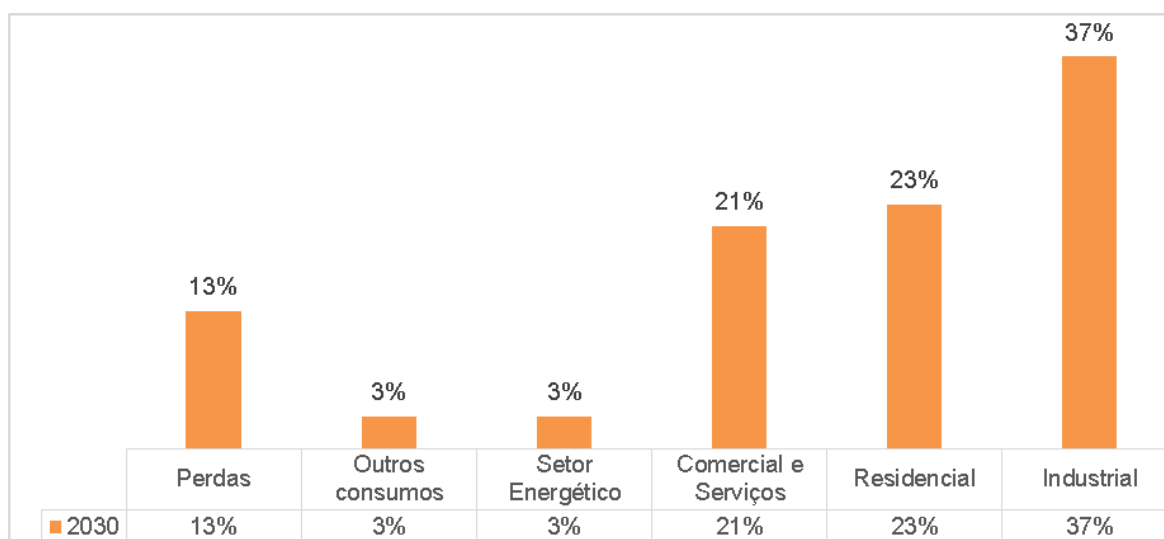
2.2 CENÁRIO DA DEMANDA E OFERTA ENERGÉTICA NO BRASIL

As projeções apresentadas no relatório da matriz energética nacional preveem que o consumo de energia elétrica, em 2030, estará entre 950 e 1.250 TWh/ano. Neste sentido, aumentam as exigências para expansão da oferta pela instalação de novas hidrelétricas, o que aponta para um cenário de esgotamento do potencial hidrelétrico nacional (BRASIL, 2007).

Também, compõem esse cenário as questões de cunho socioambiental, tecnológicas e regulatórias, as quais impõem restrições para o desenvolvimento do potencial hidrelétrico. Por isso, é fundamental que outras fontes sejam consideradas na composição e expansão da matriz energética brasileira.

As projeções da demanda de energia elétrica para 2030 mostram que o setor industrial ainda é o principal segmento de consumo. Também são projetados incrementos no consumo nos setores terciário e residencial, que são resultados previstos pela confirmação das hipóteses de crescimento do nível de renda e sua distribuição, o baixo nível de consumo *per capita*, e melhorias na área de eficiência energética (BRASIL, 2007).

Figura 2 - Gráfico das projeções do consumo de eletricidade, no Brasil, por setor para 2030.



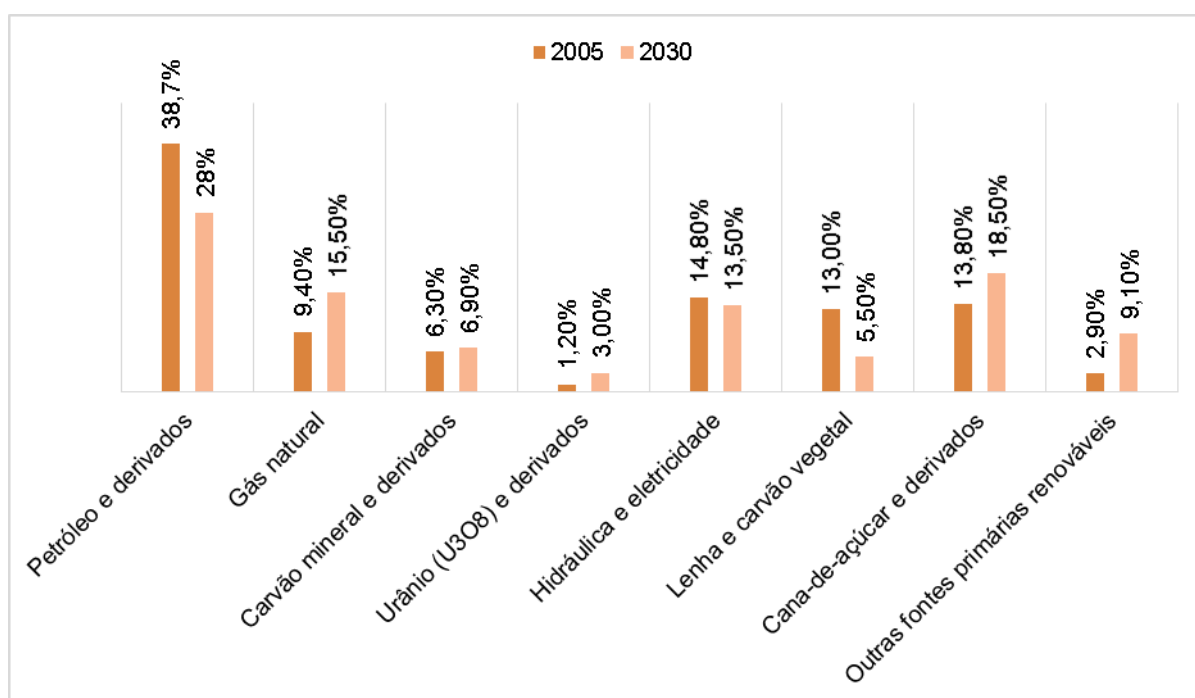
Fonte: Brasil, 2007.

Entretanto, os valores projetados para a oferta interna de energia (OIE), em

2030, somam um montante de 557,1 milhões de tep (tonelada equivalente de petróleo), sendo que, está previsto um aumento de 3,5% ao ano entre 2020 e 2030.

Na Figura 3 observa-se a evolução da participação das diferentes fontes de energia na OIE, assim é percebido um aumento na diversificação da matriz energética. O agregado “Outras Renováveis” aparece com a maior taxa de crescimento no período de 2005-2030, passando de 2,9% para 9,1%, enquanto, percebe-se a redução da participação do petróleo (38,7% para 28,0%), da lenha e carvão vegetal (13% para 5,5%) e a hidráulica (14,8% para 13,5%). As demais fontes de energia aumentam a participação na OIE, com destaque para o Gás Natural que passa de 9,4% para 15,5%, e para o agregado “Produtos da Cana” que passa de 13,8% para 18,5%.

Figura 3 - Oferta Interna de Energia (milhares de tep) na matriz energética brasileira de 2005 e projeções para 2030.



Fonte: Brasil, 2007.

O Brasil é detentor de um vasto potencial energético, pois suas características edafoclimáticas são favoráveis ao aproveitamento de diversas fontes de energia. No entanto, a fonte hidráulica e o petróleo, têm sido mais explorados em relação à irradiação solar, à biomassa e à eólica (BRASIL, 2007). O Ministério de Minas e Energia (MME) é responsável pela formulação das políticas energéticas e regulação das atividades do setor energético, enquanto a regulamentação e fiscalização são

atribuições da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

O sistema nacional de transmissão de energia elétrica opera de forma interligada, e sua finalidade é a distribuição da energia gerada nas usinas. A matriz elétrica brasileira é predominantemente composta por fontes renováveis, que representam 74,6% da oferta interna de eletricidade no Brasil, somando os montantes referentes à produção nacional e às importações (EPE, 2015).

Em 2014, houve acréscimo de 7.171 MW da capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras), que atingiu o total de 133.914 MW. As centrais hidráulicas contribuíram com 44,3%, as centrais térmicas com 18,1% e, as usinas eólicas e solares, com 37,6% da capacidade adicionada (EPE, 2015).

O aproveitamento do potencial hidroelétrico no Brasil foi possibilitado pelo aprimoramento das tecnologias de transmissão, que permitem a distribuição desse recurso aos centros consumidores mais distantes, além de facilitar a interligação das bacias hidrográficas das diferentes regiões do país (BRASIL, 2007). De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (PDEE) 2006-2015, a capacidade instalada em usinas hidrelétricas no Brasil em 31/12/2005, excluindo a parcela paraguaia da Usina de Itaipu, foi de 70.961 MW, sendo 2% localizadas nos sistemas isolados da região Norte e menos de 2% em pequenas centrais hidrelétricas. Esse parque gerador compreende mais de 400 instalações, porém grande parte da potência total está concentrada em poucas usinas: apenas 24 hidrelétricas, que têm, cada uma, mais de 1.000 MW instalados, somam mais de 52.000 MW.

Existem, no Sistema Interligado Nacional (SIN), 40 usinas hidrelétricas, totalizando uma potência de 7.756 MW. Entre as Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH) há 257 instalações das quais 39 estão em construção e 218 com a concessão outorgada, totalizando a potência de 4.034 MW. O Brasil faz parte do grupo de países em que a produção de eletricidade é maciçamente proveniente de usinas hidrelétricas, sendo que essas usinas correspondem a 75% da potência instalada no país e geraram, em 2005, 93% da energia elétrica requerida no SIN (ANEEL, 2002).

A biomassa é considerada, em longo prazo, uma das fontes renováveis com maiores perspectivas de aproveitamento para fins energéticos, pois o Brasil possui grande quantidade de terras agricultáveis e condições climáticas adequadas para essa produção. A produção e oferta de resíduos de biomassa estimada em 2005, como fonte de energia primária, foram de 558 milhões de toneladas em base seca. E

parte desse potencial já foi aproveitado, especialmente com o bagaço da cana e a lixívia para produção de energia elétrica, em geral na forma de autoprodução. Além disso, merecem destaque os resíduos da cana, uma vez que cerca de 50% dessa biomassa já se encontra disponível nas instalações industriais e, em 2005, somaram 118 milhões de toneladas em base seca, o equivalente a 900 mil barris de petróleo por dia (ANEEL, 2002).

Para geração de eletricidade a partir da biomassa da cana, o Brasil possui uma potência instalada de 2.822 MW, distribuída em 250 usinas, que representam cerca de 14% da capacidade termelétrica do país. O potencial eólico brasileiro também tem aumentado, sendo que já existem cerca de 5.300 MW em projetos eólicos autorizados pela ANEEL. No entanto, existem grandes desafios relacionados a essa fonte, principalmente, para reduzir os custos de investimento que tornam a “eólica” uma alternativa pouco competitiva economicamente (ANEEL, 2002).

Em relação à área da energia solar, há os sistemas fotovoltaicos, isolados ou integrados à rede, e os sistemas heliotérmicos. Os sistemas fotovoltaicos isolados tiveram ampla participação no Brasil por meio de diversos programas, totalizando, em 2004, mais de 30 mil sistemas instalados. Enquanto a energia solar fotovoltaica integrada à rede é uma alternativa para a geração distribuída, mas aspectos importantes como qualidade, segurança, proteção e o custo das células ainda devem ser estudados (ANEEL, 2002).

2.3 DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO

A seguir são apresentados conceitos relevantes para a compreensão da relação entre desenvolvimento socioeconômico e energia.

As atividades socioeconômicas tornam-se cada vez mais dependentes do consumo de eletricidade, que pode ser considerado como um dos indicadores do grau de desenvolvimento de uma região ou de um país. O suprimento de energia elétrica é fator indispensável ao bem-estar social e ao crescimento econômico do Brasil. Porém, ainda possui diversas falhas, como a falta de acesso e precariedade do atendimento em algumas regiões (BRASIL, 2007).

As características como a extensão territorial, a distribuição geográfica dos recursos e as peculiaridades regionais impõem grandes desafios ao planejamento e gerenciamento da oferta de energia.

O Brasil possui extensão territorial de aproximadamente 8,5 milhões de km² e população de 207,8 milhões de habitantes, o que representa uma densidade demográfica de 24 habitantes por km². Há, porém, forte concentração da população brasileira e de suas atividades socioeconômicas numa pequena proporção do território nacional. Com 11% do território brasileiro, a região Sudeste concentra cerca de 43% da população e 56% do poder de compra do país. Por outro lado, a região Norte corresponde a 45% do território nacional, 7,6% da população brasileira e apenas 4,9% do poder de compra do país (BRASIL, 2007).

Para compreender as relações entre a geração de energia e aspectos socioeconômicos é fundamental distinguir os conceitos de crescimento e desenvolvimento econômico. Assim, é possível estabelecer que indicadores são mais relevantes para a avaliação do grau de associação entre as variáveis pesquisadas nesse estudo.

As diferenças que delimitam crescimento e desenvolvimento econômico estão associadas, principalmente, ao caráter qualitativo considerado em seus conceitos. O crescimento é analisado apenas pela renda *per capita* ao longo do tempo, enquanto o desenvolvimento considera indicadores qualitativos como acesso à educação, moradia, alimentação e serviços de saúde, além das taxas de desemprego, pobreza e desigualdades, bem como a aplicação de recursos nos diferentes setores da economia para atingir bons índices econômicos e sociais (PALMEIRA, 2010).

A conceituação dos modelos de crescimento econômico é evidenciada no posicionamento de duas correntes de pensadores, os clássicos e neoclássicos como Harrod (1939) e Domar (1946), que concebem o crescimento como único fator relevante para o desenvolvimento. Enquanto, do outro lado, estão os marxistas ou cepalinos como Prebisch (1949) e Furtado (1977), que elegem o crescimento como condição essencial para o desenvolvimento, mas necessariamente, deve ser acompanhado de outros indicadores (OLIVEIRA, 2002).

No contexto do mundo moderno, o crescimento econômico proporciona benefícios para a sociedade, porém, o grande debate que envolve a teoria econômica geral e os modelos de desenvolvimento, centraliza-se em argumentos questionadores da suficiência desse indicador para designar o grau de qualidade e bem-estar de uma população (MALUF, 2000). E por isso, é válido afirmar que para atingir o status de equidade social é necessário avaliar outros fatores além da geração de renda em um país.

Na Tabela 1 são apresentadas algumas informações sobre os estudos pesquisados para compor o referencial teórico desta pesquisa.

Tabela 1 – Estudos sobre o consumo de energias renováveis e desenvolvimento econômico

(continua)

Autor	Local	Ano	Variáveis e período	Método
Mbarek; Abdelkafi; Feki.	Tunísia	2016	PIB; desemprego; consumo de energias renováveis; consumo total de energia; (1980-2012)	<i>Nonlinear Autoregressive Model (NARX)</i>
Antonakakis; Chatziantoniou; Filis	106 países	2015	PIB; emissões de CO2; consumo de energia renováveis; consumo de energias não renováveis; (1971-2011)	<i>Vector Autoregressive Model (VAR)</i>
Ozturk; Bilgili	51 países da África Subsariana	2015	PIB; população; abertura comercial; consumo de biomassa; (1980-2009).	<i>Panel Autoregressive Distributed Lag (ARDL)</i>
Al-Mulali; Fereidouni; Lee	18 países da América Latina	2014	PIB; capital fixo bruto; força de trabalho; comércio; consumo de eletricidade de energias renováveis; consumo de eletricidade de energias não renováveis; (1980-2010).	<i>Vector Error-Correction Model (VEC)</i>
Al-mulali et al.	108 países	2013	PIB; consumo de energia elétrica de energias renováveis;(1980-2009).	<i>Fully Modified OLS (FMOLS)</i>
Bildirici	10 países	2014	PIB; consumo de energia de biomassa; (1990-2011).	<i>Panel Autoregressive Distributed Lag (ARDL)</i>
Bildirici	10 países	2013	PIB; consumo de energia de biomassa;(1980-2009).	<i>Panel Autoregressive Distributed Lag (ARDL)</i>
Bildirici; Ozaksoy	10 países	2013	PIB; consumo de energia de biomassa; (1960-2010).	<i>Vector Error-Correction Model (VEC)</i>

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 1 – Estudos sobre o consumo de energias renováveis e desenvolvimento econômico

(conclusão)

Pao; Fu	Brasil	2013	PIB; capital bruto fixo; força de trabalho; consumo de energias não renováveis; consumo de energias renováveis; (1980-2010).	<i>Vector Error-Correction Model (VEC)</i>
Yildirim; Saraç; Aslan	EUA	2012	PIB; capital bruto fixo; emprego; consumo de energias renováveis; (1949-2010)	<i>Vector Autoregressive Model (VAR)</i>
Apergis; Payne	80 países	2012	PIB; capital bruto fixo; força de trabalho; consumo de energias não renováveis; consumo de energias renováveis;(1990-2007).	<i>Panel Autoregressive Distributed Lag (ARDL)</i>
Apergis; Payne	América Central	2011 (a)	PIB; capital bruto fixo; força de trabalho; consumo de energias renováveis; (1980-2006).	<i>Panel Autoregressive Distributed Lag (ARDL)</i>
Apergis; Payne	16 países de economias emergentes	2011 (b)	PIB; capital bruto fixo; força de trabalho; consumo de eletricidade de energias renováveis; consumo de eletricidade de energias não renováveis;(1980-2007).	<i>Panel Autoregressive Distributed Lag (ARDL)</i>
Menegaky	27 países da Europa	2011	PIB; consumo de energias renováveis; consumo de energia total; emissões de gases de efeito estufa; emprego; (1997-2007).	<i>Panel Autoregressive Distributed Lag (ARDL)</i>
Apergis; Payne	13 países da Europa e Ásia	2010 (a)	PIB; capital bruto fixo; força de trabalho; consumo de energias renováveis; (1992-2007).	<i>Panel Autoregressive Distributed Lag (ARDL)</i>
Apergis; Payne	20 países da OECD	2010 (b)	PIB; capital fixo bruto; força de trabalho; consumo de energias renováveis; (1985-2005).	<i>Panel Autoregressive Distributed Lag (ARDL)</i>
Sadorsky	18 países emergentes	2009	PIB; consumo de energias renováveis; (1994-2003).	<i>Panel Autoregressive Distributed Lag (ARDL)</i>
Payne	EUA	2009	PIB; capital bruto fixo; emprego; consumo de energias renováveis; consumo de energias não renováveis; (1949-2006).	<i>Vector Autoregressive Model (VAR)</i>
Chien; Hu	116 países	2008	PIB; formação de capital; balança comercial; importações de energia; consumo de energia; energias renováveis; (2003).	<i>Structural Equation Modeling (SEM)</i>

Fonte: elaborado pela autora.

A seguir são apresentadas as principais características e alguns resultados dos estudos apresentados na Tabela 1:

Mbarek; Abdelkafi; Feki (2016) utilizaram um *Nonlinear Autoregressive Model (NARX)* para encontrar a relação entre o consumo de energias renováveis, crescimento econômico e desemprego na Tunísia. Encontraram uma relação bidirecional entre o PIB e o consumo de energias renováveis, além de uma relação bidirecional entre o consumo de energias renováveis e o desemprego. Por isso ressaltam que é importante a criação de projetos que fomentam o uso de energias renováveis.

Com o objetivo de analisar a relação entre o consumo de energia e o crescimento econômico, Antonakakis; Chatziantoniou; Filis (2015), utilizaram o *Vector Autoregressive Model (VAR)*, em um estudo realizado com observações de 106 países, seguindo a classificação do *World Bank* os países foram classificados em grupos de acordo com a renda de cada um, porém não encontraram evidências de que as energias renováveis em particular conduzem ao crescimento econômico.

Al-Mulali; Fereidouni; Lee (2014) realizaram uma pesquisa para investigar a relação entre o consumo de eletricidade e crescimento econômico em 18 países da América Latina, incluindo o Brasil. Os resultados permitem concluir que há um efeito positivo, a longo prazo, do consumo de energias renováveis sobre o crescimento econômico. Os pesquisadores atribuem isto ao fato de que as fontes renováveis representam mais de 50% do total do suprimento de energia elétrica nos países pesquisados.

Pao e Fu (2013) analisaram a relação entre o consumo de energias renováveis e não renováveis com o crescimento econômico no Brasil, sendo que os dados utilizados correspondem ao período de 1980-2010. Os resultados revelam a relação bidirecional entre crescimento econômico e o consumo total de energias renováveis, e, em longo prazo, indicam que o aumento de 1% no consumo total de energias renováveis causa um aumento de 0,20% no PIB.

Os resultados dos estudos de Al-Mulali et al. (2013) mostram que há uma relação a longo prazo positiva bidirecional, em 11 de 17 países, entre o consumo de energias renováveis e o crescimento do PIB. Além disso, apresentam uma relação de longo prazo positiva bidirecional, em países de baixa renda, entre o consumo de energias renováveis e o crescimento do PIB.

Yildirim; Saraç; Aslan (2012) encontraram relação entre o consumo de

biomassa e o PIB, mas não encontraram relação com outros tipos de energias renováveis, enquanto os resultados de Apergis e Payne (2010a), que pesquisaram países da Europa e Ásia, indicam que um aumento de 1% no consumo de energia renovável aumenta o PIB em 0,195%; um aumento de 1% em bens formação de capital fixo bruto aumenta o PIB em 0,225%; e um 1% de aumento da força de trabalho aumenta o PIB em 0,557%.

Em pesquisa realizada por Apergis e Payne (2010b), em 20 países integrantes da *Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)*, foi investigada a relação entre o consumo de energias renováveis e crescimento econômico, utilizando as variáveis PIB, capital fixo bruto, força de trabalho e consumo de energias renováveis, os resultados indicam que 1% de aumento no consumo de energias renováveis causam um aumento de 0,76% no PIB.

Payne (2009) realizou, nos Estados Unidos, uma pesquisa com observações de 1949 a 2006 e concluiu que não existe relação de causalidade entre o consumo de energias renováveis e não-renováveis com o PIB. Enquanto Chien e Hu (2008), que utilizaram o método *Structural Equation Modeling (SEM)* para investigar a relação entre o consumo de energias renováveis com o crescimento econômico em 116 países incluindo o Brasil, os resultados indicam a existência de um efeito positivo do consumo de energias renováveis sobre o PIB.

A seguir são descritos os pressupostos e conceitos básicos sobre o modelo de vetor autorregressivo (VAR).

2.4 MODELO VETORIAL AUTORREGRESSIVO

A metodologia de Vetor Autorregressivo (VAR) é adequada quando o interesse do pesquisador é comprovar a existência de inter-relação entre variáveis a curto prazo. Além disso, a modelagem VAR também é utilizada para realizar a previsão de séries temporais inter-relacionadas, e avaliar o impacto dinâmico de perturbações aleatórias sobre o sistema de variáveis (CUNHA; SCALCO, 2013).

A partir da análise dos movimentos conjuntos de variáveis macroeconômicas, Sims (1980), elaborou um modelo econométrico capaz de verificar as mudanças das variáveis ao considerar os choques que provocam ciclos na economia. Assim surgiu o Modelo Vetorial Autorregressivo (VAR), por meio do qual tornou-se possível analisar a importância relativa e os efeitos dinâmicos de vários choques ou inovações sobre

sistemas de variáveis macroeconômicas (ROCHA; BRILHANTE, 2015).

A análise empírica dos modelos VAR proporciona aos tomadores de decisão mais recursos para atuar em um ambiente econômico que apresenta cada vez mais diversos cenários e mudanças constantes, pois possibilita o melhor entendimento das repostas de variáveis macroeconômicas aos choques de demanda e oferta. Além disso, o modelo VAR proposto por Sims (1980) oportuniza a construção de modelos VAR estruturais (SVAR), que são mais consistentes com os dados e os fundamentos teóricos que explicam as causas e os movimentos conjuntos de variáveis macroeconômicas (ROCHA; BRILHANTE, 2015).

Para compreender os princípios do modelo VAR, primeiramente, temos que em um processo autorregressivo univariado AR(p), onde “p” indica a ordem do modelo, o procedimento da modelagem é realizado para explicar o comportamento de uma única variável. Por meio da análise de seus valores passados e do termo de erro que, são descritos por uma relação linear simples (NEVES; ROSSI, 2014). Enquanto, na metodologia VAR propõe-se a modelagem de equações simultâneas, uma vez que todas as variáveis são consideradas endógenas. No entanto, cada variável é explicada por seus valores defasados e os valores defasados de todas as demais variáveis no modelo. Assim é descrita a evolução do conjunto, de k variáveis, sobre o mesmo período de tempo como uma função linear de sua evolução passada (GUJARATI; PORTER, 2011).

Em um modelo vetorial autorregressivo as variáveis são todas tratadas de forma simétrica. Por isso, não se faz a hipótese *a priori* de que alguma variável é endógena ou exógena. Todas as variáveis do modelo VAR são consideradas endógenas. No caso mais simples, de duas variáveis Y_1 e Y_2 , tem-se que a sequência Y_{1t} é afetada por valores contemporâneos e passados de Y_{2t} ; e a sequência Y_{2t} é afetada por valores contemporâneos e passados de Y_{1t} . Admita-se então um sistema simples bivariado, o modelo de vetor autorregressivo (VAR) pode ser expresso conforme a equações 1 e 2 (JOHNSTON; DINARDO, 1997):

$$y_{1t} = m_1 + a_{11}y_{1,t-1} + a_{12}y_{2,t-1} + \epsilon_{1t} \quad (1)$$

$$y_{2t} = m_2 + a_{21}y_{1,t-1} + a_{22}y_{2,t-1} + \epsilon_{2t} \quad (2)$$

Admita que:

- 1) Y_{1t} e Y_{2t} são estacionários;
- 2) e_{1t} e e_{2t} são erros ruído branco, com desvios padrão σ_{y1} e σ_{y2} , respectivamente;
- 3) As sequências e_{y1t} e e_{y2t} são erros não correlacionados, ruído branco.

Transformando o sistema de equações (1) e (2) da forma algébrica para a forma matricial (3), tem-se:

$$y_t = \begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_{1t} \\ \epsilon_{2t} \end{bmatrix} = m + Ay_{t-1} + \epsilon_t \quad (3)$$

Para resolver esse sistema de equações estimadas por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), inicialmente, é preciso transformá-lo em um sistema de equações separadas e resolver para a trajetória de cada uma das variáveis, assim cada uma das variáveis vai depender apenas de seus próprios valores passados. Posteriormente, com uma nova transformação há a reversão da solução do modelo em termos das variáveis originais do sistema de equações. Para isso, são calculados os valores das raízes características (autovalores) e dos correspondentes vetores característicos (autovetores) (NEVES; ROSSI, 2014).

Ao iniciar os procedimentos da metodologia VAR são necessárias análises preliminares dos dados amostrais, e dessa forma é importante a determinação das variáveis relevantes e das defasagens a serem incluídas no modelo. Para determinar o número de defasagens utilizadas, deve ser aplicado o teste de Razão de Verossimilhança, a utilização de um número grande de defasagens reduz os graus de liberdade do modelo. Se o número de defasagens por equação é p , então cada uma das n equações do modelo contém np coeficientes mais o termo de intercepto. Se p for muito pequeno, o modelo pode ser mal especificado; se p for muito grande, há uma perda significativa de graus de liberdade (ROCHA; BRILHANTE, 2015).

Assim, pode-se utilizar o teste da Razão de Verossimilhança (LR), o qual testa a hipótese nula (H_0) de que um conjunto de variáveis foi gerado por um modelo VAR restrito com p_0 defasagens, contra a hipótese alternativa (H_1) de um número de defasagens $p_1 > p_0$, onde p_1 é o número de defasagens de um modelo irrestrito. Para estimar o modelo VAR levando em consideração a hipótese nula, deve-se estimar,

com base nos MQO, cada uma das n equações do modelo, que são individualmente formadas por um termo de intercepto e as $p0$ defasagens de todas as variáveis do modelo (ENDERS, 2004):

$$\Sigma = (1/T)\Sigma_{t=1}^T e_t e_t' \quad (4)$$

$$\zeta(\Sigma, \hat{\Pi}) = -(Tn/2) \log(2\pi) + (T/2) \log|\Sigma^{-1}| - (1/2)\Sigma_{t=1}^T e_t' \Sigma^{-1} e_t \quad (5)$$

Em que,

Σ é dado por (4);

T é o número total de observações utilizadas para estimar os parâmetros populacionais;

n é o número de variáveis do modelo;

$\hat{\Pi}$ é um vetor de estimativas dos parâmetros do modelo.

Primeiramente, é necessário determinar se as variáveis do modelo são estacionárias em torno de uma tendência determinística ou estocástica. Pois, as variáveis usadas na estimação dos parâmetros do VAR devem ser estacionárias, para que se aplique a teoria estatística padrão (SENNA, 2015; RAMSER, 2016). A análise de estacionariedade das variáveis incluídas no modelo pode ser feita com base em testes de raiz unitária, como *Dickey-Fuller* Aumentado (ADF) (DICKEY, 1984), *Phillips-Perron* (PP) (PHILLIPS; PERRON, 1988) e *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin* (KPSS) (KWIATKOWSKI et al. 1992), os quais são descritos a seguir.

2.5 TESTES DE RAÍZES UNITÁRIAS

Os estudos que envolvem o uso de séries temporais exigem a verificação do comportamento da série ao longo do tempo, por isso é importante observar a estacionariedade de cada uma das séries objetos da pesquisa. Pode-se dizer que uma série é estacionária quando esta possui média, variância e autocorrelação constantes ao longo do tempo (MORETTIN; TOLOI, 2004). Caso contrário, a série é considerada não estacionária, e é preciso fazer transformações para que torne-se estacionária. Ao

realizar a análise gráfica de uma série é possível detectar características que auxiliam na verificação da estacionariedade, no entanto é necessária a aplicação de testes estatísticos (HAMILTON, 1994).

Para verificar a estacionariedade das séries utilizadas neste estudo foram empregados três testes de raiz unitária, denominados *Dickey-Fuller* Aumentado (ADF) (DICKEY, 1984), *Phillips-Perron* (PP) (PHILLIPS; PERRON, 1988) e *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin* (KPSS) (KWIATKOWSKI et al. 1992), esses testes, geralmente, são feitos com as variáveis em nível e diferenciadas.

O teste de *Dickey-Fuller* Aumentado (ADF) (DICKEY, 1984), além de testar se uma série é um passeio aleatório, também, testa a hipótese da existência de uma raiz unitária em presença de uma constante. Pois a existência de raízes unitárias no processo autorregressivo torna o modelo pouco eficaz e diminui a sua capacidade preditiva. O processo de raiz unitária pode ser descrito conforme a equação (6) (HILL; JUDGE; GRIFFITHS, 2010):

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + e_t \quad -1 \leq \rho \leq 1 \quad (6)$$

Em que e_t é um termo de erro de ruído branco. Dessa maneira, aplica-se a regressão de Y_t sobre o seu valor defasado, Y_{t-1} , e verifica se o ρ estimado é estatisticamente igual a 1. Assim, se $\rho = 1$, isto é no caso da raiz unitária, a equação torna-se um modelo de passeio aleatório sem deslocamento, portanto trata-se de um processo estocástico não estacionário.

O teste de *Dickey-Fuller* Aumentado (DICKEY, 1984) possui como hipótese nula (H_0) que a série é não estacionária e integrada de ordem d ($d > 0$) ou $I(1)$, contra a hipótese alternativa (H_1) de estacionariedade. Na grande maioria dos casos de séries não estacionárias, basta uma diferenciação para tornar a série resultante estacionária, isto é, $I(0)$. O resultado do teste ADF é obtido por meio da resolução da equação 7 (SOUZA, 2016):

$$\Delta y_t = \mu_0 + \mu_1 t + (\rho - 1)y_{t-1} + \sum_{k=1}^n \gamma_k \Delta y_{t-k} + e_t \quad (7)$$

Em que, μ_0 é o intercepto; γ é a ordem do modelo autorregressivo que

apresenta o comportamento da série temporal; Y é a variável dependente; Δ indica o operador de diferença em cada série de índice; e_t expressa a estrutura do erro ou série de ruído branco, a qual se assume ser idêntica e independentemente distribuída (i.i.d.).

Ao aplicar o teste *Phillips-Perron* (PP) (PHILLIPS; PERRON, 1988; SENNA, 2015) não se considera que o resíduo e_t tenha um comportamento ruído branco. Esse teste é proposto para identificar mudanças na inclinação da série e no intercepto, assim são feitas correções nas estatísticas t calculadas que seguem uma metodologia não-paramétrica. Admita-se que:

$$t_{pp} = \frac{\varphi^{1/2} t_b}{\omega} - \frac{(\omega^2 - \varphi_0) \cdot T \cdot S_b}{2\omega\sigma} \quad (8)$$

Dado que:

$$\omega^2 = \varphi_0 + 2 \sum_{j=1}^q \left(1 - \frac{j}{q+1}\right) \cdot \frac{1}{T} \sum_{t=j+1}^T \varepsilon_t e_{t-1} \quad (9)$$

Em que,

q é o número de defasagens;

t_b é a estatística do parâmetro;

S_b é o desvio padrão do parâmetro;

σ é o desvio padrão da regressão.

Para validar os testes ADF e PP, utiliza-se o teste *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin* (KPSS)(1992), em que as hipóteses apresentadas são contrárias aos dois primeiros, ou seja, a hipótese nula (H_0) postula que a série é $I(0)$ contra a hipótese alternativa (H_1) que a série seja $I(1)$ (SOUZA, 2016). O teste KPSS é um teste de Multiplicadores de Lagrange (LM) e é representado conforme o modelo:

$$Y_t = \mu_t + a_t + e_t \quad (10)$$

$$a_t = a_{t-1} + e_t \quad (11)$$

A equação (12) representa um processo estacionário em tendência. A hipótese nula de estacionariedade que é dada por variância do erro igual a zero ($\sigma_e^2 = 0$); dado que a variável residual (e_t) é estacionária. No caso especial em que Y_t é um processo estacionário em nível, o teste KPSS utiliza uma versão modificada da estatística LM (máxima verossimilhança); logo a estatística do teste KPSS é dada por:

$$LM = \frac{\sum_{t=1}^T P_t^2}{\hat{\sigma}_e^2} \quad (12)$$

Em que: $P_t = \sum_{r=1}^t e_r$ é a soma dos resíduos da regressão Y_t sobre uma constante e uma tendência determinística.

As hipóteses nulas dos testes ADF, PP e KPSS são distintas, por isso espera-se que os três testes sinalizem a mesma decisão em relação à estacionariedade da série. No entanto, podem ocorrer divergências nos resultados desses testes e o pesquisador depara-se com a inconclusão em relação à estacionariedade das séries, nesse sentido é válida ressaltar a importância das informações *a priori* sobre os modelos teóricos que explicam as relações entre as variáveis analisadas (ROCHA; BRILHANTE, 2015; SENNA, 2015).

2.6 ANÁLISE DE CAUSALIDADE

Estatisticamente pode-se verificar a existência de relação de causa e efeito entre as variáveis analisadas, bem como a direção de causalidade quando houver temporalmente uma relação entre duas variáveis. Assim, pode-se realizar o teste de causalidade de Granger, no qual é pressuposto que as informações relevantes para previsão das respectivas variáveis, estejam contidas nos dados de séries temporais destas variáveis (GUJARATI; PORTER, 2011).

O teste de causalidade de Granger é realizado por meio da análise das defasagens de uma variável, para verificar se estas entram como regressores na equação de outra variável. Para isso é necessário verificar se os coeficientes das

defasagens das variáveis, que entram como regressores na equação da outra variável, são estatisticamente significativos. Tem-se portanto como hipótese nula que Y_t não causa Z_t no sentido de Granger (ROCHA; BRILHANTE, 2015).

2.7 FUNÇÃO IMPULSO RESPOSTA (FIR)

Para explicar as relações entre as variáveis do modelo VAR, pode-se realizar a análise da Função Impulso Resposta (FIR). Por meio da inspeção gráfica, verifica-se o comportamento das séries estudadas na presença de perturbações aleatórias sobre as variáveis do sistema. Assim, é possível demonstrar as inter-relações dinâmicas entre as variáveis que compõem o modelo e avaliar os impactos de choques aleatórios no conjunto de variáveis. Admita-se, a análise da Função Impulso Resposta (FIR) de um VAR de primeira ordem com apenas duas variáveis, o mesmo pode ser expresso na forma matricial conforme a equação 13 (ENDERS, 2004; ROCHA; BRILHANTE, 2015; SENNA, 2015):

$$\begin{bmatrix} y_t \\ Z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ y_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_{1t} \\ \epsilon_{2t} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Ao considerar que o processo representado em (13) seja estacionário e o objetivo do modelo VAR, é quantificar os efeitos dos choques puros e_{yt} e e_{zt} , sobre a dinâmica das variáveis que compõem o modelo. Então tem-se a solução simplificada representada na equação 14:

$$\begin{bmatrix} y_t \\ Z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^i + \begin{bmatrix} \epsilon_{1t-i} \\ \epsilon_{2t-i} \end{bmatrix} \quad (14)$$

A equação 14 expressa Y_t e Z_t em termos das sequências de e_{1t} e e_{2t} . Assim o vetor de erros pode ser escrito na forma matricial conforme representado na equação 15:

$$\begin{bmatrix} \epsilon_{1t} \\ \epsilon_{2t} \end{bmatrix} = \frac{1}{1 - b_{12}b_{21}} + \begin{bmatrix} 1 & -b_{12} \\ -b_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{yt} \\ \epsilon_{zt} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} y_t \\ Z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} + \frac{1}{1 - b_{12}b_{21}} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} 1 & -b_{12} \\ -b_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{1t-i} \\ \epsilon_{2t-i} \end{bmatrix} \quad (16)$$

A análise da FIR permite verificar a duração dos movimentos conjuntos entre as variáveis do modelo VAR, ou seja, ao aplicar um choque, que é o mesmo que acrescentar um desvio-padrão no resíduo de uma das variáveis do sistema de equações. A FIR possibilita a verificação dos efeitos, positivos e negativos, que ocorrem em uma variável advindos de modificações nas demais vinculadas ao sistema, bem como apresenta o tempo necessário para o efeito ser ajustado (BROOKS, 2008).

Assim, para n variáveis em um sistema, são possíveis de serem gerados n^2 choques. Ao considerar duas variáveis Y_t e Z_t , para examinar a existência de relação de cointegração e causalidade entre as mesmas, o efeito de um choque em Z_t não altera os valores da variável Y_t nem os valores futuros das duas variáveis envolvidas, desde que os valores defasados estejam presentes nas equações. A FIR representa o comportamento de uma variável quando outra, do mesmo sistema ou a própria variável, sofre um choque no instante de tempo t , se transfere para o período futuro $t+1$ e assim consecutivamente (ENDERS, 2004).

Sims (1980) propôs um método triangular de decomposição de resíduos, denominado decomposição de *Choleski*, o qual permite a imposição de restrições nas análises das relações entre variáveis macroeconômicas. Dessa forma, por meio da decomposição de *Choleski* pode-se definir um modelo conforme as seguintes equações (BUENO, 2008; SENNA, 2015):

$$Y_T = \bar{Y} + \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\phi_1^i}{1 - a_{12}a_{21}} \begin{bmatrix} 1 & -a_{12} \\ -a_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_y \epsilon_{yt-i} \\ \sigma_z \epsilon_{zt-i} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\psi_i = \frac{\phi_1^i}{1 - a_{12}a_{21}} \begin{bmatrix} 1 & -a_{12} \\ -a_{21} & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$Y_T = \bar{Y} + \sum_{i=0}^{\infty} \psi_i \varepsilon_{t-i} \quad (19)$$

$$Y_T = \bar{Y} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} \psi_{i,11} & \psi_{i,12} \\ \psi_{i,21} & \psi_{i,22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_y \varepsilon_{yt-i} \\ \sigma_z \varepsilon_{zt-i} \end{bmatrix} \quad (20)$$

Os elementos da matriz ψ_i são as FIR usadas para gerar os choques e_i sobre a trajetória temporal das variáveis endógenas Y_t . Há uma decomposição diferente para cada ordenação das variáveis, a direção do efeito captado depende da seleção arbitrária da ordem das variáveis no vetor analisado. Então, quanto menor a covariância, menor a correlação entre os resíduos, e menor a importância da ordem selecionada. Mesmo que não exista sentido na causalidade entre duas variáveis ainda pode haver efeito de um choque entre elas no sistema em função da covariância entre os respectivos resíduos (BUENO, 2008; SENNA, 2015).

2.8 DECOMPOSIÇÃO DA VARIÂNCIA

Os resultados obtidos da decomposição da variância do erro de previsão de um VAR estimado mostram o percentual do movimento na trajetória temporal de uma variável, Y_t ou Z_t , devido ao seu próprio choque puro *versus* os choques puros das outras variáveis que compõem o VAR. Se os choques e_{zt} não explicam nada de $\sigma_y(n)^2$ em todo o horizonte de previsão, pode-se dizer que a sequência Y_t é exógena. Isso significa que a dinâmica de Y_t não é afetada pela sequência Z_t e nem pelos choques e_{zt} . Por outro lado, e_{zt} pode explicar completamente $\sigma_y(n)^2$, o que caracteriza Y_t como endógena. Na prática, a variância do erro de previsão de uma variável é total ou quase totalmente explicada por seus próprios choques no curto prazo. Porém, no longo prazo, os seus próprios choques explicam pouco de sua variância do erro de previsão. Deve-se esperar esse padrão se os choques e_{zt} têm pequeno efeito contemporâneo sobre Y_t com uma defasagem (BUENO, 2008; SENNA, 2015; ROCHA; BRILHANTE, 2015; RAMSER, 2016).

Por meio da decomposição da variância pode-se observar o quanto o comportamento de uma variável muda de acordo com o impacto de choques externos e de choques das demais variáveis. Ainda, com a decomposição de variância é

possível definir a importância relativa dos choques das inovações que afetam as variáveis no VAR (ENDERS, 2004).

Desta forma, é possível identificar o percentual da variação total de uma variável de acordo com o choque individual das variáveis do sistema. O entendimento dos erros do modelo VAR pode ser efetuado a partir da análise da inter-relação entre as variáveis do sistema. Quando o resíduo da variável não explica a variância dos resíduos na formação das demais séries significa que a primeira é exógena ao modelo, e quando o resíduo de uma série ajuda a explicar a variância das outras, a primeira é considerada endógena (BUENO, 2008).

Cada uma das variáveis é responsável pela explicação da variância das demais do sistema após o choque. O que a decomposição da variância busca é identificar a importância relativa de cada variável na determinação da própria e das demais utilizando uma equação matemática que permite determinar n períodos à frente de acordo com o modelo VAR ao longo do tempo (BUENO, 2008; SENNA, 2015):

$$Y_{t+h} = \bar{Y} + \sum_{i=0}^{\infty} \psi_i e_{t+h-1} \quad (21)$$

$$Y_{t+h} = \bar{Y} + \sum_{i=0}^{h-1} \psi_i e_{t+h-1} \quad (22)$$

A decomposição em relação a Y_{t+h} :

$$Y_{t+h} - E_t(Y_{t+h}) = \psi_{0;1} e_{yt+h} + \dots + \psi_{h-1;12} e_{zt+1} \quad (23)$$

Então:

$$\sigma_y^2(h) = \sigma_y^2(\psi_{0;1}^2 + \dots + \psi_{h-1;11}^2) + \sigma_z^2(\psi_{0;1}^2 + \dots + \psi_{h-1;12}^2) \quad (24)$$

Em modelos bivariados a variância é decomposta em duas partes para cada período de tempo, dividindo-as por $\sigma_y^2(h)$:

$$1 = \frac{(\psi_{0;1}^2 + \dots + \psi_{h-1;11}^2)}{\sigma_y^2(h)} + \frac{(\psi_{0;1}^2 + \dots + \psi_{h-1;12}^2)}{\sigma_y^2(h)} \quad (25)$$

A decomposição da variância do erro para y e para z é respectivamente:

$$\frac{\sigma_y^2(\psi_{0;1}^2 + \dots + \psi_{h-1;11}^2)}{\sigma_y^2(h)} \quad (26)$$

$$\frac{\sigma_z^2(\psi_{0;1}^2 + \dots + \psi_{h-1;12}^2)}{\sigma_y^2(h)} \quad (27)$$

Se ao aplicar uma inovação no termo do resíduo de uma das variáveis da equação e não obter um efeito na variância do erro de previsão das outras, se diz que essa variável é independente ou exógena.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo destina-se a apresentação do método de pesquisa utilizado. Também são apresentadas a classificação da pesquisa quanto à natureza, objetivos e finalidade, e as variáveis objeto deste estudo. Ainda, são identificadas a forma e as fontes de coleta dos dados. Por fim, é realizada a descrição dos meios estatísticos utilizados para a análise dos dados.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

No que se refere à natureza, esta pesquisa caracteriza-se como quantitativa, pois como descrevem Lakatos e Marconi (2011) utilizou-se dados de amostras amplas e informações numéricas, que são coletadas e tratadas por meio de técnicas estatísticas. Também, como destaca Appolinário (2013), a pesquisa quantitativa é caracterizada quando há mensuração de variáveis predeterminadas, bem como a verificação e interpretação da sua influência sobre outras variáveis.

Quanto aos objetivos essa pesquisa caracteriza-se como exploratória e descritiva que, conforme Cervo e Bervian (2002), permite realizar descrições da realidade e das relações entre os elementos estudados, além de ser importante para obter novas percepções e fazer descobertas sobre o fenômeno em estudo.

Quanto à finalidade, trata-se de uma pesquisa aplicada que, conforme Michel (2015) tem como objetivo utilizar os conhecimentos e resultados adquiridos na pesquisa básica para encontrar a solução de problemas específicos.

Na primeira fase desta pesquisa, com o propósito de adquirir o embasamento teórico para o desenvolvimento das outras etapas, foi realizado um estudo bibliográfico sobre o tema “energias renováveis e desenvolvimento econômico”, pois, como afirma Michel (2015), o objetivo da pesquisa bibliográfica é a identificação de informações e subsídios para definição dos objetivos, do problema e dos tópicos do referencial teórico, além de ser fundamental para a construção de hipóteses e o aprimoramento de ideias.

3.2 DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Para realização desta pesquisa, foram consideradas as variáveis: capacidades instaladas de geração elétrica no Brasil (em Megawatts); fontes renováveis (hidráulica, solar, eólica e biomassa); fontes não-renováveis (carvão mineral, nuclear, petróleo e gás natural), registradas mensalmente de abril de 2009 a março de 2017, totalizando 96 observações. As variáveis socioeconômicas foram: Produto Interno Bruto (PIB), em milhões de reais; exportações (em milhões de reais); emprego (número de admissões); e salário mínimo (em reais).

O Ministério de Minas e Energia elabora mensalmente o Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro, o qual apresenta informações sobre a produção, distribuição, expansão, custos e desempenho do setor de energia elétrica no Brasil, disponíveis no site: (<http://www.mme.gov.br/>).

As informações referentes às variáveis socioeconômicas são oriundas de relatórios do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (<http://www.ibge.gov.br>) e do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (<http://www.ipeadata.gov.br/>).

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A seguir é realizada a descrição dos procedimentos metodológicos utilizados para a análise dos dados, neste estudo, durante os quais foram observados os fundamentos e pressupostos da metodologia de Vetor Autorregressivo (VAR).

Primeiramente, foi realizada uma análise descritiva dos dados, pois como destacado por Morettin e Tolo (2004), é importante conhecer o comportamento temporal das variáveis que compõem o modelo, sendo que uma análise gráfica e descritiva das séries temporais que compõem o VAR permite que se tenha uma primeira noção sobre os tipos de variáveis que se está trabalhando. As etapas realizadas durante esta pesquisa são enumeradas a seguir:

Etapa 1: Foi realizada uma pesquisa bibliográfica para conhecimento e compreensão do atual estado da arte sobre o tema da pesquisa e, para identificar quais os métodos estatísticos tiveram destaque na análise da relação entre geração de energia por fontes renováveis e desenvolvimento socioeconômico;

Etapa 2: Foi realizada uma análise gráfica e descritiva das séries temporais

para conhecer o comportamento temporal das variáveis selecionadas;

Etapa 3: Foram realizados os testes Augmented Dickey-Fuller (ADF), Phillips-Perron (PP) e Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS); para verificar a estacionariedade das séries;

Etapa 4: Foram identificadas as relações de causalidade entre as variáveis por meio do teste de causalidade de Granger;

Etapa 5: Foi realizada a estimação dos parâmetros do modelo VAR, com o objetivo de definir o número de defasagens mais adequado de acordo com o teste da Razão de Verossimilhança (LR);

Etapa 6: Foi realizada a análise da Função Impulso Resposta (FIR), no intuito de verificar os efeitos de longo prazo das séries temporais quando ocorre um choque aleatório sobre o sistema de variáveis;

Etapa 7: Por fim, foi realizada a decomposição da variância dos erros de previsão para averiguar a interação dinâmica entre as variáveis em estudo, ou seja, para obter a porcentagem da variância do modelo que é explicada pelas variáveis.

Os procedimentos estabelecidos durante a composição da presente pesquisa resultaram na elaboração de um artigo científico, o qual será apresentado no próximo capítulo. Trata-se de uma análise empírica sobre a relação entre geração de energia elétrica e desenvolvimento socioeconômico no Brasil, por meio da aplicação da metodologia de Vetor Autorregressivo (VAR).

4 ARTIGO - RELAÇÃO ENTRE A CAPACIDADE DE GERAÇÃO ELÉTRICA POR FONTES RENOVÁVEIS E NÃO-RENOVÁVEIS E O CRESCIMENTO ECONÔMICO NO BRASIL

RESUMO

RELAÇÃO ENTRE A CAPACIDADE DE GERAÇÃO ELÉTRICA POR FONTES RENOVÁVEIS E NÃO-RENOVÁVEIS E O CRESCIMENTO ECONÔMICO NO BRASIL

AUTORA: Maiara de Oliveira Noronha
ORIENTADORA: Roselaine Ruviano Zanini

O debate sobre as causas das mudanças climáticas e ambientais é estruturado por estudos que apontam, como um dos principais fatores, o aumento da demanda de energia. As fontes renováveis são relevantes no planejamento energético de um país, porque estão atreladas à criação de oportunidades para o desenvolvimento tecnológico, econômico e produtivo norteado pelos princípios da sustentabilidade. Assim, o objetivo deste estudo foi investigar a relação entre a capacidade de geração elétrica por fontes renováveis, não-renováveis e variáveis econômicas brasileiras. Foi realizada a análise das inter-relações entre capacidade de geração elétrica e crescimento econômico no Brasil, no período de abril de 2009 a março de 2017, por meio da metodologia de Vetores Autorregressivos. Foi possível verificar que a variância do emprego é explicada pelas fontes renováveis: hidroelétrica em 7,71%, biomassa em 1,99%, pela energia eólica em 3,13% e pela energia solar em 10,58%. Enquanto a variância do PIB é explicada em 3,15% pela energia hidroelétrica, em 0,06% pela biomassa, em 1,70% pela energia eólica e em 17,38% pela energia solar. A variância da exportação é explicada pelas fontes renováveis: hidroelétrica em 2,48%, pela biomassa em 0,39%, pela energia eólica em 2,34% e pela energia solar em 17,58%. Por fim, a variância do salário mínimo é explicada pela energia hidroelétrica em 1,48%, pela biomassa em 5,09%, pela energia eólica em 9,09% e pela energia solar em 10,67%. Desta forma, a análise da Função Impulso Resposta e da Decomposição da Variância permitiram verificar que a capacidade instalada para produção de energia elétrica exerce influência sobre as variáveis macroeconômicas brasileiras consideradas neste estudo.

Palavras-chave: Energias Renováveis; Energias não-renováveis; Crescimento econômico; Causalidade de Granger; Modelo Vetorial Autorregressivo.

ABSTRACT

RELATIONSHIP BETWEEN ELECTRIC GENERATION CAPACITY BY RENEWABLE AND NON-RENEWABLE ENERGY AND ECONOMIC GROWTH IN BRAZIL

AUTHOR: Maiara de Oliveira Noronha

ADVISOR: Roselaine Ruviaro Zanini

The debate on the causes of climate and environmental changes is structured by studies that point out, as one of the main factors, the increase of energy demand. Renewable sources are relevant in a country's energy planning because they are linked to the creation of opportunities for technological, economic and productive development guided by the principles of sustainability. Thus, the objective of this study was to investigate the relation between the capacity of electric generation by renewable and non-renewable energies and Brazilian economics variables. The analysis of the interrelationships between electricity generation capacity and economic growth in Brazil, from April 2009 to March 2017, was carried out by means of the Autoregressive Vectors methodology. It was possible to verify that the variance of employment is explained by renewable sources: hydroelectric in 7.71%, biomass in 1.99%, wind energy in 3.13% and solar energy in 10.58%. While the GDP variance is explained by 3.15% for hydroelectric energy, 0.06% for biomass, 1.70% for wind energy and 17.38% for solar energy. The export variance is explained by renewable sources: hydroelectric 2.48%, biomass 0.39%, wind energy 2.34% and solar energy 17.58%. Finally, the variance of the minimum wage is explained by hydroelectric energy in 1.48%, biomass in 5.09%, wind energy in 9.09% and solar energy in 10.67%. Thus, the analysis of the Response Impulse Function and the Decomposition of Variance allowed us to verify that the installed capacity for the production of electric energy exerts influence on the Brazilian macroeconomic variables considered in this study.

Keywords: Renewable Energy; Non-renewable energies; Socioeconomic development; Granger causality; Vector Autorregressive Model.

1 INTRODUÇÃO

Desde a descoberta do fogo, os seres humanos utilizam a energia para suprir suas necessidades básicas, como alimentação, iluminação e aquecimento. Assim, ao longo da história, ocorreram descobertas que possibilitaram o aprimoramento das fontes e formas de uso da energia, essencialmente durante o período da Revolução Industrial em que iniciou o uso de um combustível fóssil em grande escala, o carvão mineral (FARIAS; SELLITTO, 2011). Os sistemas de energia destacam-se na sociedade porque estão entre os principais componentes de infraestrutura, junto aos transportes, às telecomunicações e os sistemas de abastecimento de água (REIS, 2011).

A informação disponível na matriz energética de um país é um recurso técnico que permite acompanhar a evolução da oferta interna de energia, resultado de políticas públicas e estratégias setoriais (REIS; SANTOS, 2014). Ainda, possibilita a visualização de cenários do mercado de energia e auxilia no processo de planejamento energético ao estabelecer os parâmetros de oferta e demanda de energia, além de ser fundamental no subsídio para tomada de decisão, porque apresenta a evolução da participação das diferentes fontes na matriz elétrica (SILVA et al., 2015).

Pode-se definir a matriz energética como o conjunto de fontes diversas disponíveis para oferta interna de energia de um país, de modo que há diferenciação entre os tipos de fontes e os setores de consumo. A composição da matriz energética brasileira contribui para o desenvolvimento de um setor energético com potencial para geração de energia a partir de fontes menos poluentes, bem como fomenta a implantação de melhorias nas dimensões sociais e econômicas (FREITAS; DATHEIN, 2013).

O aumento no consumo e os impactos ambiental e social, advindos das fontes de energia tradicionais acarretam mudanças na postura dos governos e da sociedade, que passam a investir em fontes alternativas para geração de energia elétrica. Assim, fontes como hidráulica, eólica, solar e biomassa estão inclusas de forma positiva no planejamento energético de muitos países. Em virtude dos constantes debates acerca dos impactos causados pela dependência de combustíveis fósseis, há intensa busca por soluções sustentáveis para geração de energia proveniente de fontes limpas e renováveis (GOLDEMBERG, 2007).

É importante destacar alguns conceitos relevantes para a compreensão da relação entre energia e desenvolvimento socioeconômico, pois as atividades socioeconômicas tornam-se cada vez mais dependentes do consumo de eletricidade, fato preocupante ao considerar os principais problemas decorrentes e limitações do uso de uma matriz energética fortemente dependente de combustíveis fósseis. O suprimento de energia elétrica é fator indispensável ao bem-estar social e ao crescimento econômico do Brasil. Porém, ainda possui diversas falhas, como a falta de acesso e a precariedade do atendimento em algumas regiões (RONDINELLI; SILVA, 2015).

Para compreender as relações entre a geração de energia e os aspectos socioeconômicos diferenciam-se os conceitos de crescimento e desenvolvimento econômico, estabelecendo-se quais indicadores são mais relevantes para a avaliação do grau de relacionamento entre as variáveis pesquisadas nesse estudo.

As diferenças que delimitam crescimento e desenvolvimento econômico estão associadas, principalmente, aos seguintes aspectos: o crescimento é analisado apenas pela renda *per capita* ao longo do tempo, enquanto o desenvolvimento considera indicadores qualitativos como acesso à educação, moradia, alimentação e serviços de saúde, além das taxas de desemprego, pobreza e desigualdades, bem como a aplicação de recursos nos diferentes setores da economia para atingir bons índices econômicos e sociais (PALMEIRA, 2010).

A conceituação dos modelos de crescimento econômico é evidenciada no posicionamento de duas correntes de pensadores, os clássicos e neoclássicos, como Harrod (1939) e Domar (1946), que concebem o crescimento como único fator relevante para o desenvolvimento. Por outro lado, estão os marxistas ou cepalinos, como Prebisch (1949) e Furtado (1977), que elegem o crescimento como condição essencial para o desenvolvimento, mas necessariamente, deve ser acompanhado de outros indicadores (OLIVEIRA, 2002).

No contexto do mundo moderno, o crescimento econômico proporciona benefícios para a sociedade, porém, o grande debate que envolve a teoria econômica geral e os modelos de desenvolvimento, centraliza-se em argumentos questionadores da suficiência desse indicador para designar o grau de qualidade e bem-estar de uma população (MALUF, 2000). E por isso, é válido afirmar que, para atingir o status de equidade social é necessário avaliar outros fatores além da geração de renda em um país.

Portanto, nesta pesquisa, foi utilizada a metodologia de Vetor Autorregressivo (VAR), pois conforme destacado em Cunha e Scalco (2013), por meio dos modelos VAR é possível analisar empiricamente a existência de inter-relação entre variáveis, além de realizar a previsão de séries temporais no curto prazo. A modelagem VAR também é útil para avaliar o impacto dinâmico de perturbações aleatórias sobre um sistema de variáveis

A pesquisa realizada por Sims (1980) teve como objetivo elaborar um modelo econométrico capaz de analisar os *comovements* de variáveis macroeconômicas, o qual verifica se os choques provocam ciclos na economia e mudanças nas variáveis do modelo. O modelo VAR permite analisar e quantificar a importância relativa e os efeitos dinâmicos de vários choques (inovações) sobre as variáveis macroeconômicas (ROCHA; BRILHANTE, 2015).

A análise empírica, por meio dos modelos VAR, proporciona aos tomadores de decisão um melhor entendimento de como as variáveis macroeconômicas respondem a choques de demanda e oferta, e dessa maneira apresentam melhores condições de responder a um ambiente econômico que passa por mudanças constantemente. O modelo, originalmente proposto por Sims (1980), permite a construção de modelos *Structural Vector Autoregressive* (SVAR), que são mais consistentes com os dados e com os fundamentos teóricos que explicam as causas e os movimentos conjuntos de variáveis macroeconômicas (ROCHA; BRILHANTE, 2015).

Em um processo autorregressivo univariado AR (p), onde “p” indica a ordem do modelo, o procedimento da modelagem é realizado para explicar o comportamento de uma única variável. A análise é realizada por meio dos valores passados da série e do termo de erro que são descritos por uma relação linear simples (NEVES; ROSSI, 2014).

Na metodologia VAR propõe-se a modelagem de equações simultâneas, uma vez que todas as variáveis são consideradas endógenas. No entanto, cada variável é explicada por seus valores defasados e os valores defasados de todas as demais variáveis do sistema. Assim, é descrita a evolução do conjunto de k variáveis sobre o mesmo período de tempo como uma função linear de sua evolução passada (GUJARATI; PORTER, 2011).

Em um modelo vetorial autorregressivo as variáveis são todas tratadas de forma simétrica. Por isso, não se faz a hipótese *a priori* de que alguma variável é endógena ou exógena. Todas as variáveis do modelo VAR são consideradas

endógenas. No caso mais simples, de duas variáveis Y_1 e Y_2 , tem-se que a sequência Y_{1t} é afetada por valores contemporâneos e passados de Y_{2t} ; e a sequência Y_{2t} é afetada por valores contemporâneos e passados de Y_{1t} . Admita-se então um sistema simples bivariado, o modelo de vetor autorregressivo (VAR) pode ser expresso de forma matricial conforme a equação 1 (JOHNSTON; DINARDO, 1997):

$$y_t = \begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_{1t} \\ \epsilon_{2t} \end{bmatrix} = m + Ay_{t-1} + \epsilon_t \quad (1)$$

Ao iniciar os procedimentos da metodologia VAR são necessárias análises preliminares dos dados amostrais, e dessa forma é importante a determinação das variáveis relevantes e das defasagens a serem incluídas no modelo (ROCHA; BRILHANTE, 2015). Ainda, é necessário determinar se as variáveis no modelo são estacionárias em torno de uma tendência determinística ou estocástica, pois as variáveis usadas na estimação dos parâmetros do VAR devem ser estacionárias, para que se aplique esta metodologia. Esta análise de estacionariedade (estabilidade) das variáveis incluídas no modelo pode ser feita com base em testes univariados de estacionariedade como *Dickey-Fuller* Aumentado (ADF) (DICKEY, 1984), *Phillips-Perron* (PP) (PHILLIPS; PERRON, 1988) e *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin* (KPSS) (KWIATKOWSKI et al. 1992).

Os estudos que envolvem o uso de séries temporais exigem a verificação do comportamento da série ao longo do tempo, assim é importante uma análise descritiva dos dados, pois como ressalta Morettin e Toloí (2004) deve-se conhecer o comportamento temporal das variáveis que compõem o modelo. As análises gráfica e descritiva das séries temporais, como média, desvio-padrão e coeficiente de variação, permitem que se tenha uma avaliação inicial sobre as características das variáveis analisadas.

Portanto, o objetivo deste estudo foi analisar a relação da capacidade instalada de geração de energia elétrica por fontes renováveis e não-renováveis com as seguintes variáveis socioeconômicas: produto interno bruto, exportações, emprego e salário mínimo.

Além desta introdução, este artigo está organizado em mais três seções. Na próxima seção é realizada a descrição das variáveis pesquisadas, bem como o detalhamento dos procedimentos metodológicos. Na terceira seção são apresentados

os resultados da investigação e a sua discussão em consonância com a literatura sobre o tema de pesquisa. Por fim, na quarta e última seção, são apresentadas as considerações finais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta sessão são apresentadas a classificação da pesquisa quanto à natureza, objetivos e finalidade e a descrição dos procedimentos metodológicos e das variáveis utilizadas neste estudo.

No que se refere à natureza, esta pesquisa caracteriza-se como quantitativa, pois como descrevem Lakatos e Marconi (2011) são utilizadas observações de amostras amplas e informações numéricas, que são coletadas e tratadas por meio de técnicas estatísticas. Também, como destaca Appolinário (2013), a pesquisa quantitativa é caracterizada quando há mensuração de variáveis predeterminadas, bem como a verificação e interpretação da sua influência sobre outras variáveis.

Quanto aos objetivos essa pesquisa caracteriza-se como exploratória e descritiva, que conforme Cervo e Bervian (2002) permite realizar descrições da realidade e das relações entre os elementos estudados, além de ser importante para obter novas percepções e fazer descobertas sobre o fenômeno em estudo.

Quanto à finalidade, trata-se de uma pesquisa aplicada que, conforme Michel (2015), tem como objetivo utilizar os conhecimentos e resultados adquiridos na pesquisa básica para encontrar a solução de problemas específicos. Na primeira fase desta pesquisa, com o propósito de adquirir o embasamento teórico para o desenvolvimento das outras etapas, foi realizado um estudo bibliográfico sobre o tema “energias renováveis e desenvolvimento econômico” pois, como afirma Michel (2015), o objetivo da pesquisa bibliográfica é a identificação de informações e subsídios para definição dos objetivos, do problema e dos tópicos do referencial teórico, além de ser fundamental para a construção de hipóteses e o aprimoramento de ideias.

Para realização desta pesquisa, foram utilizadas as seguintes variáveis, capacidade instalada de geração elétrica (em Megawatts) no Brasil referente às fontes renováveis (hidráulica, solar, eólica e biomassa) e às fontes não-renováveis (carvão mineral, nuclear, petróleo e gás natural). Ainda foram incluídas no modelo variáveis socioeconômicas, como Produto Interno Bruto (em milhões de reais), exportações (em milhões de reais); emprego (número de admissões); e salário mínimo (em reais). As

variáveis utilizadas na análise são de periodicidade mensal e compreendem o período de abril de 2009 a março de 2017.

A coleta das observações sobre a capacidade instalada para geração de energia elétrica foi realizada por meio das informações disponibilizadas no Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro, o qual é elaborado pelo Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico (vinculado ao Ministério de Minas e Energia), e apresenta informações sobre a produção, distribuição, expansão, custos e desempenho do setor de energia elétrica no Brasil. As informações referentes às variáveis socioeconômicas são oriundas de relatórios do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

Primeiramente, foram realizadas a inspeção gráfica e a análise descritiva das variáveis pois, como ressalta Morettin e Tolo (2004), é importante conhecer o comportamento temporal das variáveis que compõem o modelo. A análise descritiva das séries em estudo foi utilizada para descrever, organizar, compreender e facilitar o entendimento do comportamento das variáveis observadas. Foram calculadas as medidas de tendência central, média e mediana, e as medidas de dispersão, desvio-padrão e coeficiente de variação percentual.

Foi realizada a inspeção gráfica das séries em nível (valores originais) para observar o comportamento de cada variável ao longo do período estudado, e verificar a presença de características como por exemplo tendência, sazonalidade e ciclos. A análise descritiva foi utilizada para obter um resumo do conjunto de observações e efetuar uma análise global sobre as variáveis pesquisadas.

A seguir são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados neste estudo, de acordo com os pressupostos da metodologia de vetor autorregressivo (VAR).

Foram realizados testes para verificar se as séries usadas na estimação dos parâmetros do VAR eram estacionárias em nível ou em suas diferenças. Para tanto, utilizou-se os testes *Augmented Dickey-Fuller* (ADF)(1984), *Phillips-Perron* (PP)(1988) e *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin* (KPSS)(1992). O teste de *Dickey-Fuller* Aumentado (ADF) (DICKEY, 1984), além de testar se uma série é um passeio aleatório, também testa a hipótese da existência de uma raiz unitária em presença de uma constante. A existência de raízes unitárias no processo autorregressivo torna o modelo pouco eficaz e diminui a sua capacidade preditiva. O teste de *Dickey-Fuller* Aumentado (1984) possui a hipótese nula (H_0) na qual a série é não estacionária e

integrada de ordem d ($d > 0$), $I(1)$ ou $I(2)$, contra a hipótese alternativa (H_1) de estacionariedade. Na grande maioria dos casos de séries não estacionárias, basta uma diferenciação para estacionarizá-la (SOUZA, 2016).

Para corroborar os resultados dos testes ADF e PP, utilizou-se o teste *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin* (KPSS)(1992), em que as hipóteses apresentadas são contrárias aos dois primeiros, ou seja, a hipótese nula (H_0) postula que a série é $I(0)$ contra a hipótese alternativa (H_1) que a série seja $I(1)$ (SOUZA, 2016).

Posteriormente aplicou-se o teste de Granger, realizado para verificar as relações de causalidade entre as variáveis estudadas no modelo, o qual foi realizado por meio da análise das defasagens de uma variável (Z_t), para verificar se estas entram como regressores na equação de outra variável (Y_t). Para isso é necessário verificar se os coeficientes das defasagens das variáveis, que entram como regressores na equação da outra variável, são estatisticamente significativos. Tem-se portanto como hipótese nula que Y_t não causa Z_t no sentido de Granger (ROCHA; BRILHANTE, 2015).

A ordem (ou número de defasagens) do modelo VAR foi definida de acordo com o resultado do teste da Razão de Verossimilhança (LR), o qual testa a hipótese nula (H_0) de que um conjunto de variáveis foi gerado por um modelo VAR restrito com p_0 defasagens, contra a hipótese alternativa (H_1) de um número de defasagens $p_1 > p_0$, onde p_1 é o número de defasagens de um modelo irrestrito (NGUYEN, 2011).

Foi realizada a análise da Função Impulso Resposta para verificar os efeitos de longo prazo das séries temporais, na presença de uma perturbação externa sobre o sistema de variáveis do modelo. A análise da FIR permite verificar a duração dos movimentos conjuntos entre as variáveis do modelo VAR, ou seja, ao aplicar um choque, que é o mesmo que acrescentar dois desvios-padrões no resíduo de uma das variáveis do sistema de equações. A FIR possibilita a verificação dos efeitos, positivos e negativos, que ocorrem em uma variável advindos de modificações nas demais vinculadas ao sistema, bem como apresenta o tempo necessário para o efeito ser ajustado (BROOKS, 2008).

Sims (1980) propôs um método triangular de decomposição de resíduos, denominado decomposição de *Choleski*, o qual permite a imposição de restrições nas análises das relações entre variáveis macroeconômicas. Dessa forma, por meio da decomposição de *Choleski* pode-se definir um modelo conforme as seguintes equações (BUENO, 2008; SENNA, 2015):

$$Y_T = \bar{Y} + \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\phi_1^i}{1 - a_{12}a_{21}} \begin{bmatrix} 1 & -a_{12} \\ -a_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_y \epsilon_{yt-i} \\ \sigma_z \epsilon_{zt-i} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\psi_i = \frac{\phi_1^i}{1 - a_{12}a_{21}} \begin{bmatrix} 1 & -a_{12} \\ -a_{21} & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Y_T = \bar{Y} + \sum_{i=0}^{\infty} \psi_i \epsilon_{t-i} \quad (4)$$

$$Y_T = \bar{Y} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} \psi_{i,11} & \psi_{i,12} \\ \psi_{i,21} & \psi_{i,22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_y \epsilon_{yt-i} \\ \sigma_z \epsilon_{zt-i} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Os elementos da matriz ψ_i são as FIR usadas para gerar os impulsos e_i sobre a trajetória temporal das variáveis endógenas Y_t . Há uma decomposição diferente para cada ordenação das variáveis, a direção do efeito captado depende da seleção arbitrária da ordem das variáveis no vetor analisado. Então, quanto menor a covariância, menor a correlação entre os resíduos, e menor a importância da ordem selecionada. Mesmo que não exista sentido na causalidade entre duas variáveis ainda pode haver efeito de um choque entre elas no sistema em função da covariância entre os respectivos resíduos (BUENO, 2008; SENNA, 2015).

Por meio da inspeção gráfica, verificou-se o comportamento das séries estudadas na presença de uma perturbação aleatória nas variáveis do sistema. Assim, foi possível demonstrar as inter-relações dinâmicas entre as variáveis que compõem o modelo e avaliar os impactos dessas perturbações no conjunto de variáveis (ENDERS, 2004; BUENO, 2008; ROCHA; BRILHANTE, 2015; SENNA, 2015).

Por fim, realizou-se a análise da decomposição da variância, no intuito de verificar a porcentagem da variância do erro originada pela variável ao longo do tempo previsto. O que a decomposição da variância busca é identificar a importância relativa, provocada pelas perturbações aleatórias, na variância de todas as variáveis utilizando uma equação matemática que permite estabelecer k períodos à frente de acordo com o modelo VAR (BUENO, 2008; SENNA, 2015).

O software utilizado para o tratamento e modelagem dos dados foi o Eviews 9.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva das variáveis, utilizadas neste estudo, foi realizada a partir da interpretação das medidas descritivas de tendência central (média e mediana) e de dispersão (desvio-padrão e coeficiente de variação) apresentadas na Tabela 1, e dos gráficos das séries originais apresentados na Figura 1.

Tabela 1 - Estatística descritiva da capacidade de geração elétrica (em megawatts) das fontes de energia não-renováveis, fontes de energia renováveis e variáveis socioeconômicas brasileiras, no período de abril de 2009 a março de 2017

Fontes não-renováveis						
	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	CV (%)
Gás natural	12935,76	13003,50	671,65	11779	14303	5,19
Petróleo	7667,54	7400,50	1595,50	4910	10320	20,81
Energia nuclear	1999,39	2007	8,5	1990	2007	0,43
Carvão mineral	2568,83	2124	883,07	1455	3614	34,38
Fontes renováveis						
	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	CV (%)
Hidroelétrica	84885,51	84348	5279,68	77523	96929	6,22
Biomassa	9904,42	9958,50	2731,36	4787	14187	27,58
Energia eólica	3096,79	1887,50	2907,42	359	10124	93,88
Energia solar	7,82	3,00	11,04	0,02	80	141,26
Variáveis socioeconômicas						
	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	CV (%)
PIB	4126769	422934	83704	244024	557308	20,28
Emprego	1552333	1623692	261114	869439	1989181	16,82
Exportações	17677	17598	3526	9586	26158	19,95
Salário mínimo	840	862	54	687	927	6,53

Fonte: elaborado pela autora.

Na Tabela 1 é apresentado um resumo das estatísticas descritivas das fontes de energia não-renováveis, fontes de energia renováveis e variáveis socioeconômicas. Por meio das medidas de tendência central, pode-se afirmar que o Hidroelétrica e Gás natural possuem as maiores médias, respectivamente 84885,51 e 12935,76, enquanto a variável Energia nuclear é a que possui a menor média 1999,39. Conforme pode ser observado na Figura 1, ao longo do período estudado houve uma tendência crescente, com algumas oscilações, na capacidade instalada para

produção de Gás natural a partir do ano de 2011 até o início do ano de 2014.

Essas informações se confirmam ao considerar os planos de expansão, a descoberta de novos reservatórios de petróleo, além do grande aporte de investimento em tecnologia e equipamentos realizados pelo governo federal para aumentar a produção de Gás e Petróleo no Brasil durante esse período (EPE, 2015). Porém, houve uma queda brusca no início do ano de 2015, e pode-se observar uma variação acentuada no restante do período analisado.

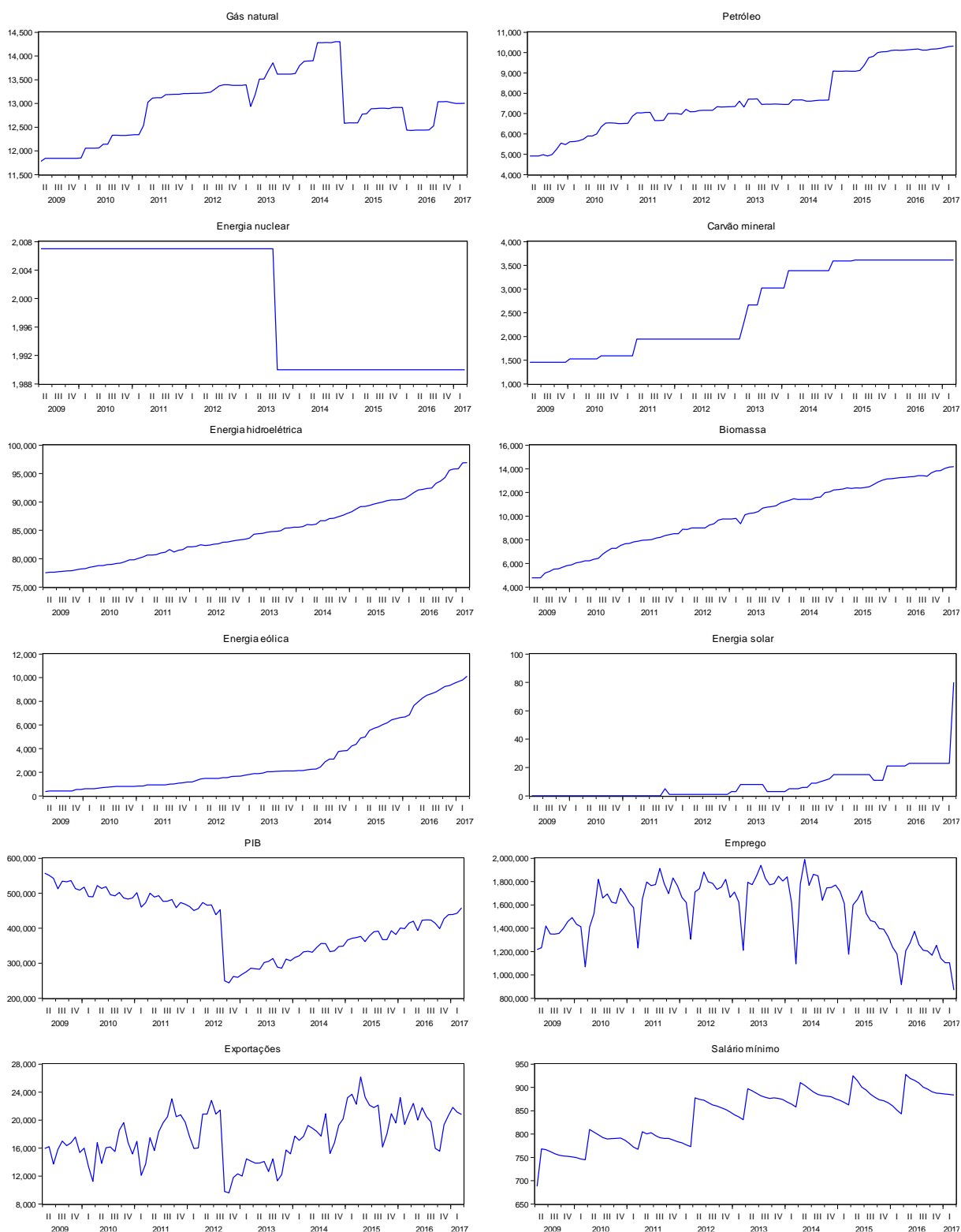
Ainda, de acordo com os valores máximo (2007,00) e mínimo (1990,00) observa-se que houve redução da capacidade instalada para produção de energia nuclear a partir do ano de 2013. Ao analisar o coeficiente de variação percentual da capacidade instalada das fontes não-renováveis constata-se que a energia nuclear também apresenta o menor valor (0,43%), indicando pouca variação para esta série, enquanto o carvão mineral possui o coeficiente de variação maior (34,38%), observada também pelos valores máximo (3614,00) e mínimo (1455,00) dessa série.

Observa-se, também, que há variação e dispersão elevadas em algumas das séries do grupo de fontes renováveis. A medida de amplitude, que representa a dispersão da série por meio da diferença entre os valores mínimo e máximo, para energia solar, eólica e biomassa, respectivamente, 79,98, 9.765 e 9.400. Os registros de energia solar são os que apresentaram maior coeficiente de variação (141,26%), seguidas da energia eólica (93,88%) e biomassa (27,58%).

Na Figura 1, observa-se que há uma tendência de crescimento da capacidade instalada para produção de energia por fontes renováveis, principalmente, que ocorreu um aumento mais acentuado nas fontes solar e eólica, a partir de 2014.

Por isso é válido destacar que, em 2014, houve acréscimo de 7.171 MW da capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras), que atingiu o total de 133.914 MW. As centrais hidráulicas contribuíram com 44,3%, as centrais térmicas com 18,1% e, as usinas eólicas e solares, com 37,6% da capacidade adicionada. Em relação à área da energia solar, os sistemas fotovoltaicos isolados tiveram ampla participação no Brasil por meio de diversos programas, totalizando, em 2004, mais de 30 mil sistemas instalados (EPE, 2015).

Figura 1 - Gráficos da capacidade instalada para geração de energia elétrica e variáveis socioeconômicas brasileiras no período de abril de 2009 a março de 2017



Fonte: Ministério de Minas e Energia; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

Para iniciar a análise de séries temporais por meio da metodologia de Vetor Autorregressivo é necessário verificar a estabilidade das séries, pois deve-se satisfazer a condição de que todas as variáveis que compõem o modelo sejam estacionárias. Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos testes de raiz unitária para as séries em nível e em primeira diferença.

Tabela 2 – Resultados dos testes de raiz unitária ADF, PP e KPSS

	ADF (t-stat)		PP (t-stat)		KPSS (LM-stat)	
	Em nível	d=1	Em nível	d=1	Em nível	d=1
Hidroelétrica	1,025	-10,705	1,558	-10,680	0,287	0,138
Energia eólica	0,749	-9,151	0,520	-9,275	0,311	0,135
Energia solar	0,311	-3,117	0,573	-3,081	0,350	0,114
Biomassa	-2,648	-11,963	-2,486	-12,046	0,262	0,354
Energia nuclear	-2,079	-9,645	-2,103	-9,645	0,144	-
Petróleo	-2,175	-10,014	-2,174	-10,053	0,153	-
Carvão mineral	-1,391	-8,426	-1,567	-8,393	0,136	-
Gás natural	-1,869	-9,323	-1,922	-9,323	0,272	0,042
PIB	-1,432	-10,796	-1,432	-10,826	0,263	0,054
Emprego	-2,427	-11,374	-2,427	-11,399	0,146	-
Exportações	-4,187	-	-4,251	-	0,104	-
Salário mínimo	-4,517	-	-4,611	-	0,241	0,084

$\alpha = 0,01$; ADF (t-stat) valor crítico = -4,0575; PP (t-stat) valor crítico = -4,0575; KPSS (LM-stat) valor crítico = 0,2160. Fonte: elaborado pela autora.

Ao realizar a entrada das variáveis no modelo optou-se por manter as séries Energia nuclear, Petróleo, Carvão mineral e Emprego em primeira diferença, conforme apresentado na Tabela 2, houve divergência nos resultados dos testes ADF e KPSS quanto à condição de estacionariedade dessas variáveis.

Após a aplicação dos testes de raiz unitária, foi realizado o teste de Causalidade de Granger para verificar a presença de relação direta entre as variáveis estudadas e dessa forma, averiguou-se o sentido da causalidade para confirmar se as relações eram unidirecionais ou bidirecionais. Na Tabela 3 é apresentado um resumo com os resultados das relações significativas entre as fontes de energia renováveis e não-renováveis e as variáveis socioeconômicas brasileiras.

Tabela 3 – Resultado do teste de Causalidade de Granger

Hipótese nula	F-stat	p-valor (<0,05)
$\Delta(\text{Emprego}) \rightarrow \Delta(\text{Biomassa})$	2,44079	0,0327
$\Delta(\text{Energia nuclear}) \leftrightarrow \Delta(\text{Emprego})$	2,28662	0,0444
$\Delta(\text{Emprego}) \leftrightarrow \Delta(\text{Energia nuclear})$	2,24332	0,0479
$\Delta(\text{Energia eólica}) \rightarrow (\text{Salário mínimo})$	3,12846	0,0086
$(\text{Exportações}) \rightarrow \Delta(\text{Biomassa})$	2,39998	0,0354
$(\text{Salário mínimo}) \rightarrow \Delta(\text{Energia Hidroelétrica})$	2,55420	0,0263
$\Delta(\text{Energia solar}) \rightarrow (\text{Salário mínimo})$	3,18345	0,0077
$\Delta(\text{PIB}) \rightarrow \Delta(\text{Biomassa})$	3,24755	0,0068

O símbolo \rightarrow indica causalidade unidirecional; O símbolo \leftrightarrow indica causalidade bidirecional. H_0 : série “X” não causa série “Y” no sentido de Granger; H_1 : série “X” causa série “Y” no sentido de Granger; $\alpha = 0,05$. Fonte: elaborado pela autora.

Considerando os resultados dispostos na Tabela 3, verifica-se que há apenas uma relação de causalidade bidirecional, entre a Energia nuclear e o Emprego, sendo todas as demais relações de causalidade unidirecionais. Ao considerar o objetivo dessa pesquisa, destacam-se as relações de causalidade entre as variáveis econômicas e a capacidade de geração elétrica, Emprego e Biomassa, Salário mínimo e Energia eólica, Exportações e Biomassa, Salário mínimo e Energia hidroelétrica, Salário mínimo e Energia solar, PIB e Biomassa.

Foi realizado o teste *Granger Causality/Block Exogeneity Wald (GCBEW)* para encontrar a ordem de entrada das variáveis no modelo. Também foi verificado o nível de significância conjunta das variáveis endógenas defasadas na equação do modelo VAR e, conforme os resultados, o p-valor foi considerado o indicativo do grau de endogeneidade da variável dependente. Assim quanto mais próximo de zero o p-valor mais endógena é a variável dependente.

Dessa forma, verificou-se que a variável mais endógena do modelo é o Salário mínimo (p-valor<0,0001), sendo a mais sensível às variações das demais variáveis. Ainda, de acordo com o teste GCBEW, a variável mais exógena do modelo é o PIB, pois possui o maior p-valor (0,9398). Dessa forma foi estabelecida a ordem de entrada das variáveis na composição do modelo VAR, considerando da mais exógena para a mais endógena: PIB, Energia solar, Energia hidroelétrica, Carvão mineral, Exportações, Petróleo, Biomassa, Emprego, Energia eólica, Gás natural, Energia

nuclear e Salário mínimo.

Após determinar a ordenação das variáveis, procedeu-se a determinação do número de defasagens usadas no modelo. Na Tabela 4 estão dispostos os resultados dos testes para a seleção do número de defasagens do modelo. O número de defasagens adequado para o modelo VAR, nesta pesquisa, conforme indicado por meio dos critérios de seleção LR (*Likelihood maximum*), FPE (*Final prediction error*), AIC (*Akaike information criterion*) e HQ (*Hannan-Quinn information criterion*), é igual a 1.

Tabela 4 - Teste para a escolha do número de defasagens do modelo VAR

Lag	LR	FPE	AIC	HQ
0	NA	$5,02 \times 10^{57}$	1,669	1,670
1	469,44*	$2,96 \times 10^{56}$ *	164,06*	165,79*
2	1,571	$7,53 \times 10^{56}$	1,648	1,681
3	1,205	$2,92 \times 10^{57}$	1,657	1,707
4	1,456	$5,45 \times 10^{57}$	1,654	1,720

O símbolo * indica a ordem de defasagem selecionada pelos critérios de informação.
Fonte: elaborado pela autora.

Os resultados do ajuste do modelo VAR são apresentados na Tabela 5. Na qual estão dispostos os coeficientes do modelo VAR, representado na ordem de exogeneidade das variáveis, bem como, estão representados os valores da estatística-t calculada e do erro padrão para cada coeficiente.

Tabela 5 – Coeficientes do modelo VAR ajustado

(continua)

	Δ PIB	Δ SOL	Δ HDR	Δ CAR	EXP	Δ PET
Δ PIB _{t-1}	-0,044152	-3,10E-06	-0,000732	0,000515	0,003630	-0,000330
	(0,11295)	(2,6E-05)	(0,00104)	(0,00037)	(0,01032)	(0,00087)
	[-0,39092]	[-0,11762]	[-0,70433]	[1,39258]	[0,35173]	[-0,38099]
Δ SOL _{t-1}	1610,769	-0,089855	-9,399436	6,936555	257,1756	7,812685
	(1927,77)	(0,44957)	(17,7443)	(6,30794)	(176,141)	(14,8011)
	[0,83556]	[-0,19987]	[-0,52972]	[1,09966]	[1,46005]	[0,52785]
Δ HDR _{t-1}	6,318062	0,009603	-0,057421	0,014095	-0,345819	-0,024855
	(12,5710)	(0,00293)	(0,11571)	(0,04113)	(1,14862)	(0,09652)
	[0,50259]	[3,27564]	[-0,49624]	[0,34267]	[-0,30107]	[-0,25752]
Δ CAR _{t-1}	-0,957531	-0,004683	-0,064929	0,028714	-3,457972	-0,011054
	(37,6792)	(0,00879)	(0,34682)	(0,12329)	(3,44277)	(0,28929)
	[-0,02541]	[-0,53300]	[-0,18721]	[0,23290]	[-1,00442]	[-0,03821]
EXP _{t-1}	-2,131354	0,000169	0,004225	-0,006205	0,658938	0,003157
	(0,91655)	(0,00021)	(0,00844)	(0,00300)	(0,08375)	(0,00704)
	[-2,32540]	[0,79156]	[0,50076]	[-2,06892]	[7,86829]	[0,44865]
Δ PET _{t-1}	8,803172	0,000891	0,036923	-0,008480	0,848115	0,012657
	(19,3901)	(0,00452)	(0,17848)	(0,06345)	(1,77168)	(0,14887)
	[0,45400]	[0,19709]	[0,20688]	[-0,13365]	[0,47871]	[0,08502]
Δ BIO _{t-1}	-1,012063	0,002132	0,041012	0,031124	1,424762	0,279300
	(22,5156)	(0,00525)	(0,20725)	(0,07367)	(2,05727)	(0,17287)
	[-0,04495]	[0,40596]	[0,19789]	[0,42246]	[0,69255]	[1,61566]
Δ EMP _{t-1}	-0,007626	1,69E-06	-0,000134	-1,48E-05	-0,001165	-9,03E-06
	(0,01601)	(3,7E-06)	(0,00015)	(5,2E-05)	(0,00146)	(0,00012)
	[-0,47627]	[0,45384]	[-0,90724]	[-0,28295]	[-0,79598]	[-0,07348]
Δ EOL _{t-1}	27,86035	-0,005053	0,146582	-0,068315	3,956440	-0,098014
	(22,0151)	(0,00513)	(0,20264)	(0,07204)	(2,01153)	(0,16903)
	[1,26551]	[-0,98425]	[0,72336]	[-0,94834]	[1,96688]	[-0,57987]
Δ GAS _{t-1}	-5,466276	0,001544	-0,081298	0,002574	-1,363195	0,073140
	(168,484)	(0,00393)	(0,15508)	(0,05513)	(1,53944)	(0,12936)
	[-0,32444]	[0,39301]	[-0,52423]	[0,04669]	[-0,88551]	[0,56540]
Δ NUC _{t-1}	479,0964	-0,030101	-9,862204	1,518842	3,698267	-0,651204
	(1750,73)	(0,40828)	(16,1148)	(5,72866)	(159,966)	(13,4418)
	[0,27365]	[-0,07373]	[-0,61200]	[0,26513]	[0,02312]	[-0,04845]
SAL _{t-1}	36,10778	0,005642	0,959962	0,231108	1,438328	0,060652
	(61,3931)	(0,01432)	(0,56510)	(0,20089)	(5,60952)	(0,47137)
	[0,58814]	[0,39407]	[1,69875]	[1,15044]	[0,25641]	[0,12867]
Constante	1473,065	-8,520764	-684,5707	-62,20519	4382,858	-66,03461
	(49554,0)	(11,5563)	(456,124)	(162,148)	(4527,78)	(380,467)
	[0,02973]	[-0,73733]	[-1,50084]	[-0,38363]	[0,96799]	[-0,17356]

Onde: SOL = Energia Solar; HDR = Energia Hidroelétrica; CAR = Carvão Mineral; EXP = Exportação; PET = Petróleo; BIO = Biomassa; EMP = Emprego; EOL = Energia Eólica; GAS = Gás Natural; NUC = Energia Nuclear; SAL = Salário Mínimo. Os valores entre () representam o erro-padrão, [] representam a estatística-t e Δ = Aplicação de uma diferença. Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 5 – Coeficientes do modelo VAR ajustado

(conclusão)

	Δ BIO	Δ EMP	Δ EOL	Δ GAS	Δ NUC	SAL
Δ PIB _{t-1}	-0,000787	0,420348	-0,000809	-0,000654	-3,44E-06	9,03E-05
	(0,00057)	(0,80530)	(0,00056)	(0,00102)	(6,8E-06)	(7,0E-05)
	[-1,38036]	[0,52198]	[-1,44478]	[-0,64070]	[-0,50467]	[1,29035]
Δ SOL _{t-1}	4,791667	6262,096	-12,57414	0,370161	0,123989	-0,239826
	(9,72779)	(13744,9)	(9,56014)	(17,4198)	(0,11645)	(1,19400)
	[0,49258]	[0,45559]	[-1,31527]	[0,02125]	[1,06474]	[-0,20086]
Δ HDR _{t-1}	-0,049712	-32,20866	0,095199	0,092512	0,000702	0,007780
	(0,06343)	-896,307	(0,06234)	(0,11359)	(0,00076)	(0,00779)
	[-0,78367]	[-0,35935]	[1,52705]	[0,81441]	[0,92461]	[0,99928]
Δ CAR _{t-1}	0,040893	-175,3712	0,142982	0,176304	-0,010815	0,023165
	(0,19013)	-268,651	(0,18686)	(0,34048)	(0,00228)	(0,02334)
	[0,21508]	[-0,65278]	[0,76519]	[0,51781]	[-4,75175]	[0,99260]
EXP _{t-1}	-0,006958	-9,567633	0,008332	-0,005425	2,42E-05	-0,000945
	(0,00463)	6,53500)	(0,00455)	(0,00828)	(5,5E-05)	(0,00057)
	[-1,50436]	[-1,46406]	[1,83314]	[-0,65504]	[0,43676]	[-1,66445]
Δ PET _{t-1}	0,027661	290,9802	-0,030165	0,111016	0,004071	0,003027
	(0,09785)	(138,251)	(0,09616)	(0,17521)	(0,00117)	(0,01201)
	[0,28271]	[2,10473]	[-0,31370]	[0,63360]	[3,47597]	[0,25203]
Δ BIO _{t-1}	-0,234547	-248,7734	-0,157987	-0,062509	0,000169	-0,025871
	(0,11362)	(160,536)	(0,11166)	(0,20346)	(0,00136)	(0,01395)
	[-2,06436]	[-1,54965]	[-1,41491]	[-0,30723]	[0,12431]	[-1,85518]
Δ EMP _{t-1}	-5,96E-05	-0,143404	-5,12E-05	8,44E-05	2,21E-06	-4,15E-05
	(8,1E-05)	(0,11417)	(7,9E-05)	(0,00014)	(9,7E-07)	(9,9E-06)
	[-0,73733]	[-1,25606]	[-0,64433]	[0,58297]	[2,28402]	[-4,18090]
Δ EOL _{t-1}	-0,057336	286,7389	0,113631	0,150601	0,000155	0,048832
	(0,11109)	(156,967)	(0,10918)	(0,19893)	(0,00133)	(0,01364)
	[-0,51612]	[1,82675]	[1,04080]	[0,75704]	[0,11657]	[3,58125]
Δ GAS _{t-1}	-0,006190	174,4516	-0,152780	0,084930	0,002086	-0,001432
	(0,08502)	(120,128)	(0,08355)	(0,15225)	(0,00102)	(0,01044)
	[-0,07281]	[1,45221]	[-1,82852]	[0,55784]	[2,05006]	[-0,13722]
Δ NUC _{t-1}	5,744440	-3782,549	10,02080	-0,513981	-0,098909	-0,041129
	(8,83445)	(12482,7)	(8,68220)	(15,8201)	(0,10576)	(1,08435)
	[0,65023]	[-0,30302]	[1,15418]	[-0,03249]	[-0,93526]	[-0,03793]
SAL _{t-1}	-0,064042	-206,7791	0,782897	-0,374690	-0,002441	0,899593
	(0,30980)	(437,731)	(0,30446)	(0,55476)	(0,00371)	(0,03802)
	[-0,20672]	[-0,47239]	[2,57144]	[-0,67541]	[-0,65814]	[23,6580]
Constante	312,5349	325022,5	-714,0235	383,3211	1,207990	97,95397
	(250,056)	(353318,)	(245,747)	(447,782)	(2,99337)	(30,6922)
	[1,24986]	[0,91991]	[-2,90552]	[0,85604]	[0,40355]	[3,19149]

Onde: SOL = Energia Solar; HDR = Energia Hidroelétrica; CAR = Carvão Mineral; EXP = Exportação; PET = Petróleo; BIO = Biomassa; EMP = Emprego; EOL = Energia Eólica; GAS = Gás Natural; NUC = Energia Nuclear; SAL = Salário Mínimo. Os valores entre () representam o erro-padrão, [] representam a estatística-t e Δ = Aplicação de uma diferença. Fonte: elaborado pela autora.

A etapa que procedeu-se após a elaboração do modelo, foi a análise da Função Impulso Resposta (FIR), a qual representa graficamente o comportamento das séries estudadas quando ocorre uma perturbação aleatória, que afeta todo o sistema de equações. Assim, é possível demonstrar as inter-relações dinâmicas entre as variáveis que compõem o modelo e analisar os impactos causados em todo o conjunto de variáveis.

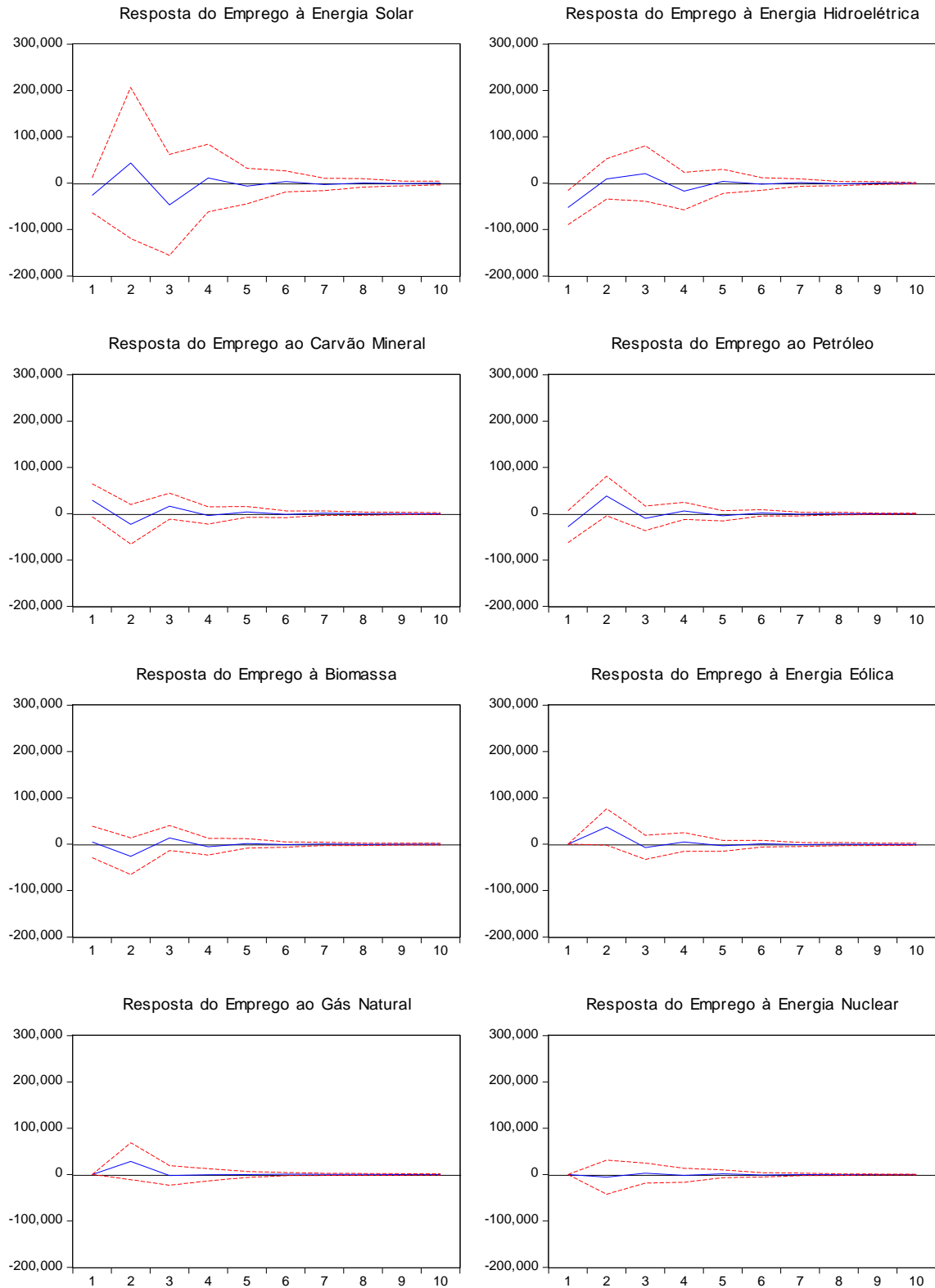
Nesta pesquisa, em razão do objetivo ser a análise da relação entre geração de energia por fontes renováveis e crescimento econômico, a análise da FIR foi realizada considerando os impactos das variáveis de geração de energia sobre as variáveis macroeconômicas. Portanto, foram verificadas as respostas das variáveis PIB, emprego, salário mínimo e exportações, frente às perturbações aleatórias advindas das variáveis gás natural, petróleo, energia nuclear, carvão mineral, energia solar, biomassa, energia eólica e energia hidroelétrica.

Por meio da análise gráfica da FIR, obtida via método de decomposição de *Choleski*, verifica-se que um choque positivo, de dois desvios-padrões, é transmitido para as demais variáveis do sistema por meio da estrutura de defasagens do modelo VAR pois observa-se que as variáveis macroeconômicas PIB, emprego, exportações e Salário mínimo oscilam nos períodos iniciais, atingindo estabilidade a partir de cinco períodos à frente.

Na Figura 2 estão dispostos os resultados da FIR considerando as respostas do emprego frente às perturbações advindas das variáveis Gás, Petróleo, Energia nuclear, Carvão mineral, Energia solar, Biomassa, Energia eólica e Hidroelétrica. Observa-se que a variável emprego decai no primeiro instante de tempo em resposta às mudanças nas variáveis gás, carvão mineral e biomassa mas, a partir do segundo período volta a subir e estabiliza nos períodos seguintes. Entretanto, a resposta da variável Emprego para os choques aplicados nas variáveis Petróleo, Energia nuclear, Energia solar, Energia eólica e Hidroelétrica é positiva, apresenta crescimento no primeiro instante de tempo.

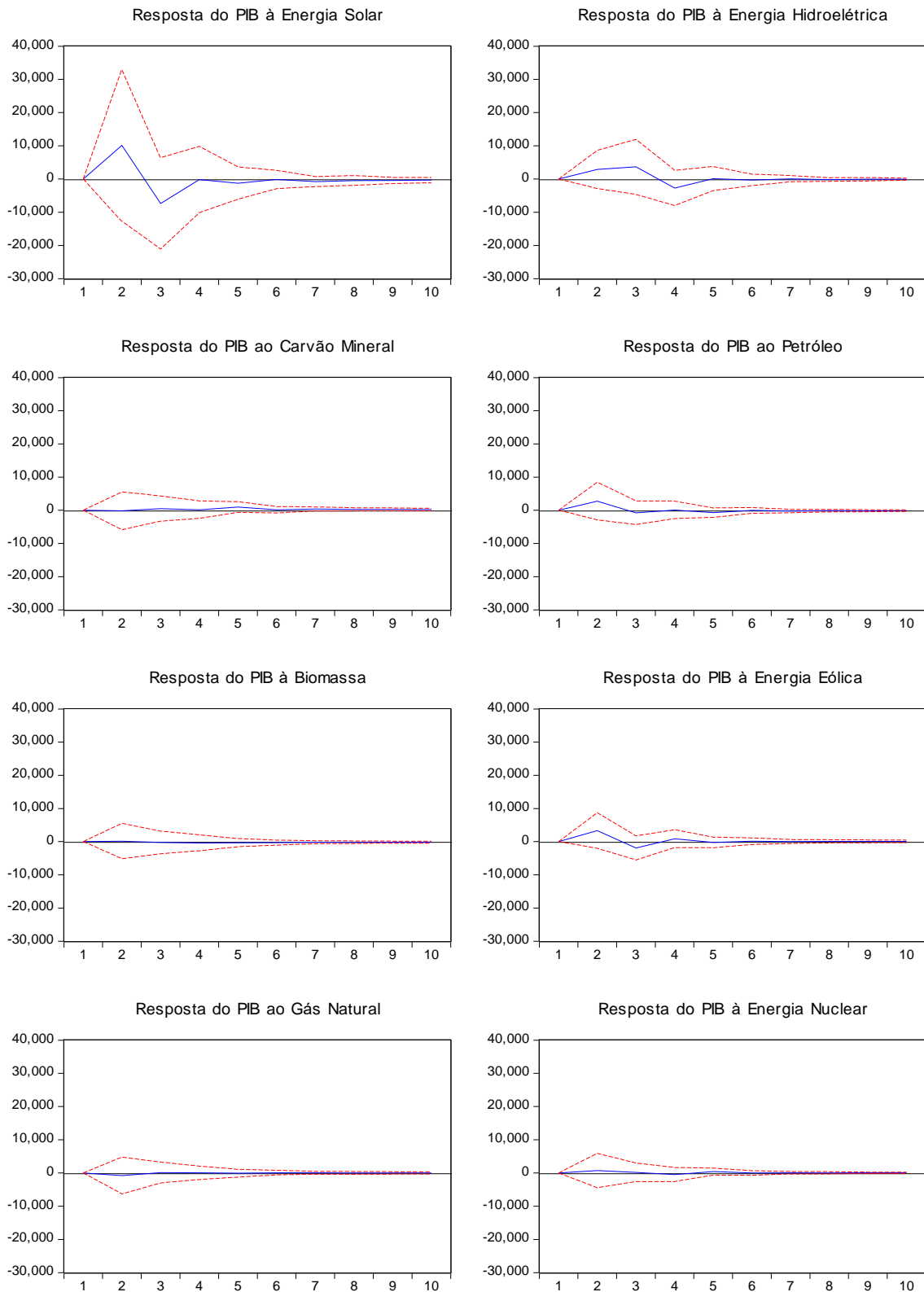
Na Figura 3 estão os resultados da FIR considerando as respostas da variável PIB frente aos choques aplicados nas variáveis Gás, Petróleo, Energia nuclear, Carvão mineral, Energia solar, Biomassa, Energia eólica e Hidroelétrica. Observa-se que a variável Energia solar tem uma maior influência sobre o PIB e o Emprego do que as demais variáveis, resultado este que concorda com os da decomposição da variância.

Figura 2 – Gráficos dos resultados da Função Impulso Resposta (FIR) da variável Emprego frente aos choques aplicados nas variáveis de geração de energia elétrica



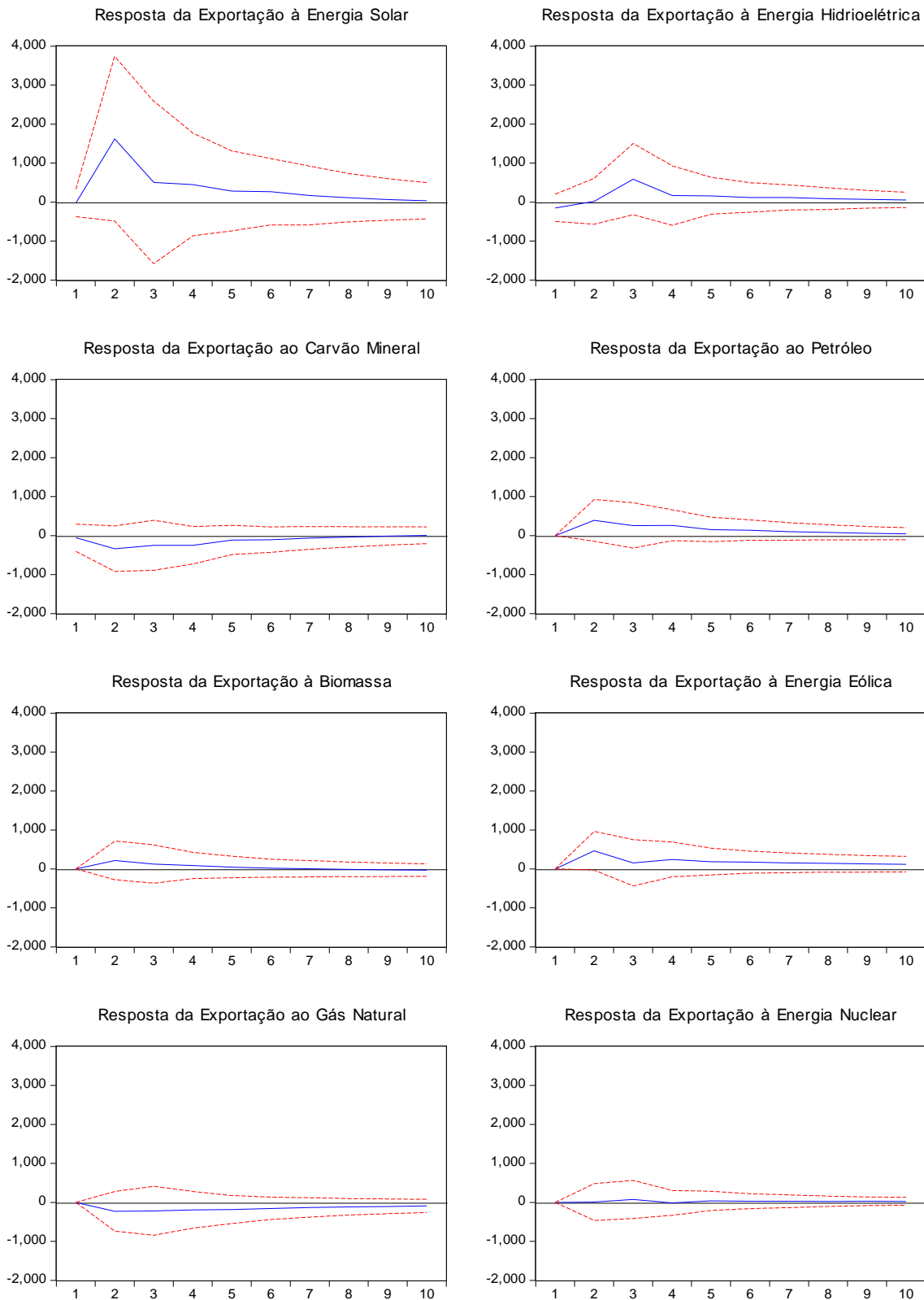
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 3 – Gráficos dos resultados da Função Impulso Resposta (FIR) da variável PIB frente aos choques aplicados nas variáveis de geração de energia elétrica



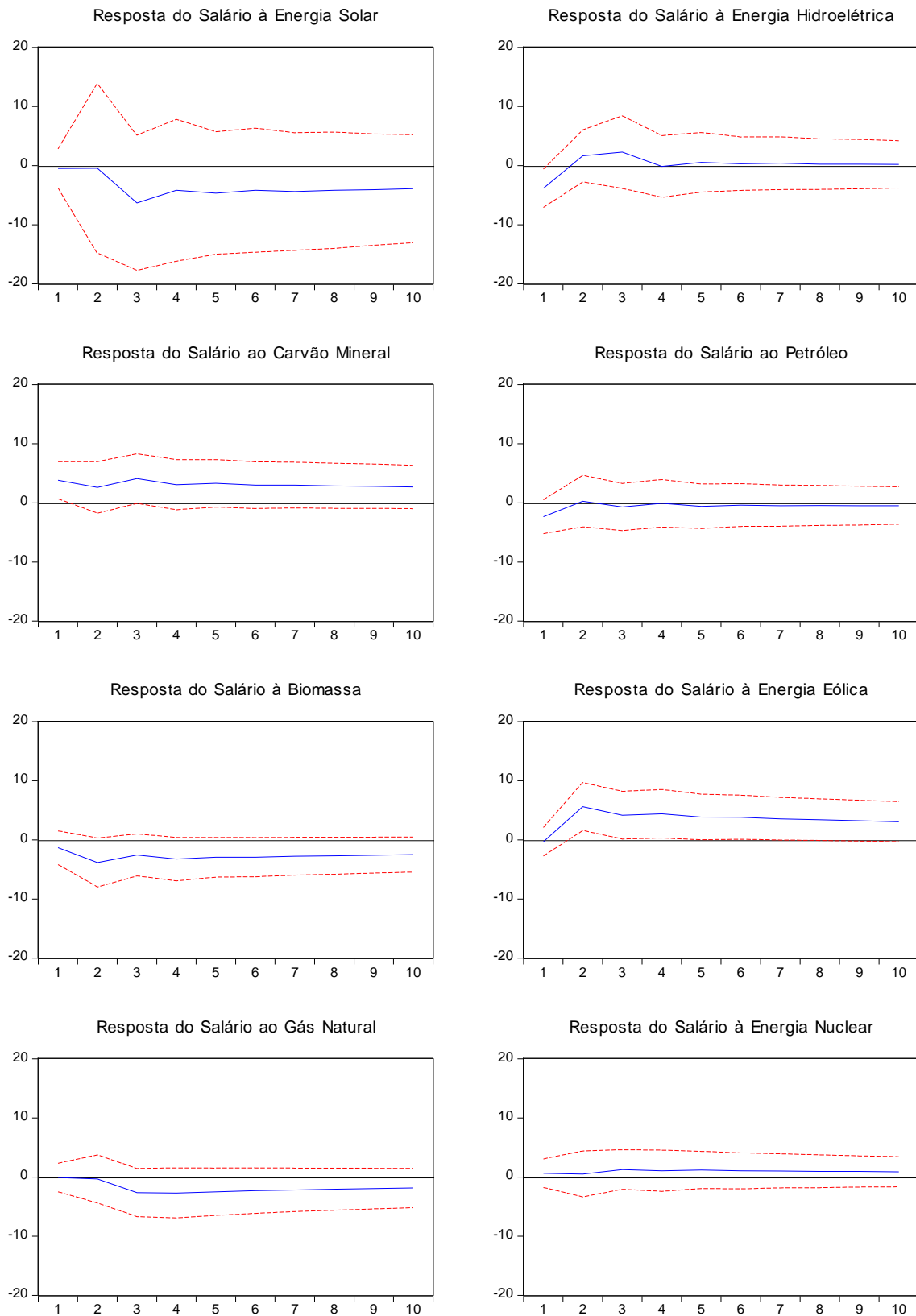
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 4 – Gráficos dos resultados da Função Impulso Resposta (FIR) da variável Exportação frente aos choques aplicados nas variáveis de geração de energia elétrica



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5 – Gráficos dos resultados da Função Impulso Resposta (FIR) da variável Salário frente aos choques aplicados nas variáveis de geração de energia elétrica



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 4 estão os resultados da FIR considerando as respostas da variável exportação frente aos choques aplicados nas variáveis Gás, Petróleo, Energia nuclear, Carvão mineral, Energia solar, Biomassa, Energia eólica e Hidroelétrica. Enquanto na Figura 5 estão os resultados da FIR considerando as respostas da variável Salário mínimo frente aos choques aplicados nas variáveis Gás natural, Petróleo, Energia nuclear, Carvão mineral, Energia solar, Biomassa, Energia eólica e Hidroelétrica.

Posteriormente foi realizada a análise da decomposição de variância das variáveis Emprego, PIB, Exportação e Salário mínimo, afim de verificar a importância dos efeitos das perturbações externas nos diferentes instantes de tempo. O pressuposto da modelagem VAR sobre a ordenação das variáveis por nível de exogeneidade e a sequência de entrada das variáveis foi a mesma especificada para o modelo, conforme resultados do teste *Granger Causality/Block Exogeneity Wald*.

Na análise da decomposição da variância, realizada em um horizonte de dez períodos à frente, observa-se que, no primeiro período, 81,15% de sua variância é explicada pelo próprio Emprego. Porém, sua trajetória temporal é afetada, no quinto período, pelas variáveis PIB (0,69%), Energia solar (10,55%), Energia hidroelétrica (7,71%), Carvão mineral (3,58%), Exportações (3,87%), Petróleo (5,15%), Biomassa (1,99%), Energia eólica (3,13%), Gás natural (1,76%) e Energia nuclear (0,10%). Enquanto, no décimo período, a variância do Emprego é explicada pelo próprio Emprego em 61,39%, e mantém-se estável em relação as demais variáveis. Na Tabela 6 são apresentadas as respectivas proporções de variância explicada para o Emprego, além do erro padrão.

Tabela 6 – Análise da Decomposição da Variância do Emprego

Período	Erro padrão	$\Delta(\text{PIB})$	$\Delta(\text{SOL})$	$\Delta(\text{HDR})$	$\Delta(\text{CAR})$	EXP	$\Delta(\text{PET})$	$\Delta(\text{BIO})$	$\Delta(\text{EMP})$	$\Delta(\text{EOL})$	$\Delta(\text{GAS})$	$\Delta(\text{NUC})$	SAL
1	237,26	0,02	2,03	8,21	2,47	3,71	2,35	0,07	81,15	0,00	0,00	0,00	0,00
5	250,71	0,69	10,55	7,71	3,58	3,87	5,15	1,99	61,46	3,13	1,76	0,10	0,01
10	252,15	0,70	10,58	7,71	3,58	3,88	5,15	1,99	61,39	3,13	1,75	0,11	0,01

Ordenação de Cholesky: $\Delta(\text{PIB}) \Delta(\text{SOL}) \Delta(\text{HDR}) \Delta(\text{CAR}) \text{EXP} \Delta(\text{PET}) \Delta(\text{BIO}) \Delta(\text{EMP}) \Delta(\text{EOL}) \Delta(\text{GAS}) \Delta(\text{NUC}) \text{SAL}$

Fonte: elaborado pela autora.

Na Tabela 7 contém os resultados da decomposição de variância do PIB, o qual tem sua trajetória temporal explicada 100% pelo próprio PIB. Enquanto, no quinto período de defasagem, observa-se que a variância do PIB é explicada também pelas

variáveis Energia solar (17,34%), Energia hidroelétrica (3,15%), Carvão mineral (0,14%), Petróleo (0,95%), Biomassa (0,04%), Emprego (0,53%), Energia eólica (1,71%), Gás natural (0,07%), Energia nuclear (0,10%) e Salário mínimo (0,17%). No décimo período, a variância do PIB é explicada 74,07% pelo próprio PIB.

Tabela 7 – Análise da Decomposição da Variância do PIB

Período	Erro padrão	$\Delta(\text{PIB})$	$\Delta(\text{SOL})$	$\Delta(\text{HDR})$	$\Delta(\text{CAR})$	EXP	$\Delta(\text{PET})$	$\Delta(\text{BIO})$	$\Delta(\text{EMP})$	$\Delta(\text{EOL})$	$\Delta(\text{GAS})$	$\Delta(\text{NUC})$	SAL
1	25,78	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	30,25	74,36	17,34	3,15	0,14	1,43	0,95	0,04	0,53	1,71	0,07	0,10	0,17
10	30,32	74,07	17,38	3,15	0,17	1,54	0,96	0,06	0,53	1,70	0,07	0,10	0,26

Ordenação de Cholesky: $\Delta(\text{PIB})$ $\Delta(\text{SOL})$ $\Delta(\text{HDR})$ $\Delta(\text{CAR})$ EXP $\Delta(\text{PET})$ $\Delta(\text{BIO})$ $\Delta(\text{EMP})$ $\Delta(\text{EOL})$ $\Delta(\text{GAS})$ $\Delta(\text{NUC})$ SAL

Fonte: elaborado pela autora.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados da decomposição da variância da Exportação. A variância da Exportação é explicada, no primeiro instante, em 51,55% pela própria Exportação, e em 47,96% pelo PIB. Enquanto, no quinto período, também é explicada pelas variáveis PIB (35,59%), Energia solar (18,68%), Energia hidroelétrica (2,48%), Carvão mineral (1,52%), Petróleo (1,83%), Biomassa (0,42%), Emprego (0,52%), Energia eólica (1,95%), Gás natural (1,02%), Energia nuclear (0,04%) e Salário mínimo (0,24%).

Tabela 8 – Análise da Decomposição da Variância da Exportação

Período	Erro padrão	$\Delta(\text{PIB})$	$\Delta(\text{SOL})$	$\Delta(\text{HDR})$	$\Delta(\text{CAR})$	EXP	$\Delta(\text{PET})$	$\Delta(\text{BIO})$	$\Delta(\text{EMP})$	$\Delta(\text{EOL})$	$\Delta(\text{GAS})$	$\Delta(\text{NUC})$	SAL
1	6,01	47,96	0,01	0,41	0,06	51,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	6,54	35,59	18,68	2,48	1,52	35,70	1,83	0,42	0,52	1,95	1,02	0,04	0,24
10	6,55	35,22	17,58	2,48	1,46	35,65	1,89	0,39	0,54	2,34	1,32	0,06	1,07

Ordenação de Cholesky: $\Delta(\text{PIB})$ $\Delta(\text{SOL})$ $\Delta(\text{HDR})$ $\Delta(\text{CAR})$ EXP $\Delta(\text{PET})$ $\Delta(\text{BIO})$ $\Delta(\text{EMP})$ $\Delta(\text{EOL})$ $\Delta(\text{GAS})$ $\Delta(\text{NUC})$ SAL

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados da decomposição da variância do Salário mínimo. No primeiro período a variância do Salário é explicada pelo próprio Salário em 53,80%, pelo Emprego em 20,44%, pela Exportação em 11,05% e o restante pelas demais variáveis, enquanto que no quinto período a variância do Salário mínimo é explicada pelo próprio Salário em 56,08%, mantendo-se estável pelos próximos períodos.

Tabela 9 – Análise da Decomposição do Salário

Período	Erro padrão	$\Delta(\text{PIB})$	$\Delta(\text{SOL})$	$\Delta(\text{HDR})$	$\Delta(\text{CAR})$	EXP	$\Delta(\text{PET})$	$\Delta(\text{BIO})$	$\Delta(\text{EMP})$	$\Delta(\text{EOL})$	$\Delta(\text{GAS})$	$\Delta(\text{NUC})$	SAL
1	84,34	0,04	0,09	5,76	5,72	11,05	2,19	0,70	20,44	0,04	0,00	0,16	53,80
5	98,77	1,12	8,28	2,37	6,04	4,04	0,68	4,43	5,66	8,66	2,15	0,50	56,08
10	99,34	0,79	10,67	1,48	6,34	2,64	0,49	5,09	3,50	9,09	2,71	0,61	56,59

Ordenação de Cholesky: $\Delta(\text{PIB})$ $\Delta(\text{SOL})$ $\Delta(\text{HDR})$ $\Delta(\text{CAR})$ EXP $\Delta(\text{PET})$ $\Delta(\text{BIO})$ $\Delta(\text{EMP})$ $\Delta(\text{EOL})$ $\Delta(\text{GAS})$ $\Delta(\text{NUC})$ SAL

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados deste estudo apontam, que há um impacto positivo das mudanças na capacidade de geração de energia elétrica sobre o crescimento econômico brasileiro, bem como foram encontradas relações diretas de causalidade entre Emprego e Biomassa, Emprego e Energia nuclear, Salário mínimo e Energia eólica, Exportações e Biomassa, Salário mínimo e Energia hidroelétrica, Salário mínimo e Energia solar, PIB e Biomassa.

Os resultados dessa pesquisa também confirmam as considerações feitas por Antonakakis; Chatziantoniou e Filis (2015), que utilizaram o modelo de Vetor Autorregressivo para avaliar a relação entre crescimento econômico e consumo de energias renováveis. Os autores realizaram uma análise, por meio do teste de causalidade de Granger, para verificar as relações entre a renda *per capita* e o consumo de energia em 106 países. Os países pesquisados foram classificados em cinco grupos, de acordo com a renda *per capita*, e foram utilizados seis tipos diferentes de consumo de energia, o consumo total de energia, consumo de energia elétrica, consumo de óleo, consumo de energias renováveis, consumo de gás natural e consumo de carvão.

Assim, os pesquisadores encontraram que o consumo total de energia elétrica e de óleo tem relação causal direta com o crescimento econômico em todos os países analisados, enquanto que, mesmo percebendo evidências de um impacto positivo a longo prazo, o consumo de energias renováveis não teve relação causal direta com o crescimento econômico dos países estudados.

Ao verificar os resultados das relações de causalidade, entre a geração de energia por fontes renováveis e não-renováveis e desenvolvimento socioeconômico, observa-se similaridade com as conclusões apresentadas por Pao e Fu (2013), que analisaram a relação de causalidade entre o consumo de energias renováveis e não renováveis com o crescimento econômico no Brasil. Por meio do teste de causalidade de Granger, analisaram a relação entre o consumo de energia com o PIB, formação

de capital fixo e força de trabalho, correspondentes ao período de 1980 a 2010. Os resultados corroboram para evidenciar a relação bidirecional entre crescimento econômico e o consumo total de energias renováveis que indicam, que a longo prazo, um aumento de 1% no consumo total de energias renováveis causa um aumento de 0,20% no PIB, além de concordar com Al-Mulali; Fereidouni e Lee (2014), que também realizaram uma pesquisa para investigar a relação entre o consumo de eletricidade e crescimento econômico em 18 países da América Latina, incluindo o Brasil. Assim, os resultados permitiram concluir que há um efeito positivo, a longo prazo, do consumo de energias renováveis sobre o crescimento econômico. Os pesquisadores atribuem isto ao fato de que as fontes renováveis representam mais de 50% do total do suprimento de energia elétrica nos países pesquisados.

Os resultados dos estudos de Al-Mulali (2013) mostram que há uma relação a longo prazo, positiva bidirecional, em 11 de 17 países, entre o consumo de energias renováveis e o crescimento do PIB. Além disso, apresentam uma relação de longo prazo positiva bidirecional, em países de baixa renda, entre o consumo de energias renováveis e o crescimento do PIB.

Yildirim; Saraç e Aslan (2012) encontraram relação entre o consumo de biomassa e o PIB, mas não encontraram relação com outros tipos de energias renováveis, enquanto os resultados de Apergis e Payne (2010a), que pesquisaram países da Europa e Ásia, indicam que um aumento de 1% no consumo de energia renovável aumenta o PIB em 0,195%; um aumento de 1% em bens formação de capital fixo bruto aumenta o PIB em 0,225%; e um 1% de aumento da força de trabalho aumenta o PIB em 0,557%.

Em pesquisa realizada por Apergis e Payne (2010b), em 20 países integrantes da *Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)*, foi investigada a relação entre o consumo de energias renováveis e crescimento econômico, utilizando as variáveis PIB, capital fixo bruto, força de trabalho e consumo de energias renováveis, sendo que os resultados indicam que 1% de aumento no consumo de energias renováveis causam um aumento de 0,76% no PIB.

Payne (2009) realizou, nos Estados Unidos, uma pesquisa com observações de 1949 a 2006 e concluiu que não existe relação de causalidade entre o consumo de energias renováveis e não-renováveis com o PIB, enquanto Chien e Hu (2008), que utilizaram o método *Structural Equation Modeling (SEM)*, para investigar a relação entre o consumo de energias renováveis com o crescimento econômico em 116 países

incluindo o Brasil, os resultados indicam a existência de um efeito positivo do consumo de energias renováveis sobre o PIB.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi verificar a existência de relação entre a capacidade instalada para geração de energia elétrica e crescimento econômico no Brasil, no período de abril de 2009 a março de 2017, utilizando a metodologia de Vetor Autorregressivo. E, para compor o quadro de análise dessa pesquisa, foram utilizadas informações sobre a capacidade de geração de energia por fontes renováveis e não-renováveis, além de variáveis econômicas do país.

Os resultados dessa pesquisa possibilitam evidenciar que a geração de energia elétrica, no Brasil, por fontes renováveis exerce um impacto positivo sobre o crescimento econômico do país pois, por meio dos resultados do teste de causalidade de Granger, verificou-se relações diretas de causalidade entre emprego e biomassa, emprego e energia nuclear, salário mínimo e energia eólica, exportações e biomassa, salário mínimo e energia hidroelétrica, salário mínimo e energia solar, PIB e biomassa.

Por meio das ferramentas analíticas, Função Impulso Resposta e Decomposição da Variância, foi possível observar que a capacidade instalada para geração de energia elétrica exerce influência sobre as variáveis econômicas, quando aplicado um choque positivo de dois desvios padrões nos resíduos do modelo. Ainda, conforme a decomposição da variância, foi possível verificar que a variância do emprego é explicada pelas fontes renováveis, hidroelétrica em 7,71%, biomassa em 1,99%, pela energia eólica em 3,13% e pela energia solar em 10,58%.

Além disso a variância do PIB é explicada em 3,15% pela energia hidroelétrica, em 0,06% pela biomassa, em 1,70% pela energia eólica e em 17,38% pela energia solar. A variância da exportação é explicada pelas fontes renováveis hidroelétrica em 2,48%, pela biomassa em 0,39%, pela energia eólica em 2,34% e pela energia solar em 17,58%. Por fim, a variância do salário mínimo é explicada pela energia hidroelétrica em 1,48%, pela biomassa em 5,09%, pela energia eólica em 9,09% e pela energia solar em 10,67%.

A presente pesquisa apresenta-se como uma contribuição para a área de estudo, pois os resultados concordam com os resultados de outros pesquisadores ao considerar que o investimento em fontes renováveis para compor a matriz elétrica de

países como o Brasil é de grande importância para o crescimento econômico. Dessa forma, o investimento em políticas que visam o uso de fontes renováveis como estratégia para geração de soluções sustentáveis na geração de energia, podem contribuir para alavancar a economia do país.

O uso da modelagem VAR foi eficiente para verificar as inter-relações entre as variáveis analisadas nesta pesquisa, porém algumas limitações como o tamanho da amostra e as características de estacionariedade de algumas das variáveis, apresentaram-se como motivação para o desenvolvimento de outros estudos com novas abordagens acerca do tema discutido. Assim, para futuras pesquisas serão abordados novos tratamentos para as variáveis com outras técnicas estatísticas de análise de séries temporais, bem como a inclusão de outras variáveis que possam contribuir para o aperfeiçoamento do modelo.

REFERÊNCIAS

- AL-MULALI, U.; FERREIDOUNI, H. G.; LEE, J. Y.m. Electricity consumption from renewable and non-renewable sources and economic growth: Evidence from Latin American countries. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 30, p.290-298, fev. 2014. DOI:10.1016/j.rser.2013.10.006.
- AL-MULALI, U. et al. Examining the bi-directional long run relationship between renewable energy consumption and GDP grow. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 22, p.209-222, jun. 2013.DOI: 10.1016/j.rser.2013.02.005.
- ANTONAKAKIS, N.; CHATZIANTHIOU, I.; FILIS, G. Energy Consumption, CO2 Emissions, and Economic Growth: A Moral Dilemma. **MPRA Paper**, n. 67422. 2015. Disponível em: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/67422/>. Acesso em: 18 abr. 2016.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Renewable energy consumption and growth in Eurasia. **Energy Economics**, v. 32, n. 6, p. 1392-1397, 2010a.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Renewable energy consumption and economic growth: evidence from a panel of OECD countries. **Energy policy**, v. 38, n. 1, p. 656-660, 2010b.
- APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da Ciência: Filosofia e prática da pesquisa**. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- BROOKS, C. **Introductory econometrics for finance**. 2 ed. [S.L.]: Cambridge University Press, 2008. 674 p.
- BUENO, R. L. S. **Econometria de Séries Temporais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P.A. **Metodologia Científica**. 5ª ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CHIEN, T.; HU, J. Renewable energy: An efficient mechanism to improve GDP. **Energy Policy**, [s.l.], v. 36, n. 8, p. 3045-3052, ago. 2008. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.04.012.

CUNHA, C. A.; SCALCO, P. R. CRESCIMENTO ECONÔMICO BRASILEIRO E EMISSÃO DE CO₂. **Redes**, v. 18, n. 2, p. 214-230, 2013.

DICKEY, D. A. Power of Unit Root Tests. Proceedings of business and economic statistics Sections. **American Statistical Assn.** v. 74, 489-493, 1984.

DOMAR, E.D. Capital Expansion, Rate of Growth, and Employment. **Econometrica**, v. 14, n. 2, p. 137-147. 1946.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2015**: Ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. 2 ed. Nova York: John Wiley and Sons, 2004.

FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, v. 12, n. 17, p. 07-16, 2011.

FREITAS, G. S.; DATHEIN, R. As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. **Revista Nexos Econômicos**, v. 7, n. 1, p. 71-93, 2013.

FURTADO, C. **Teoria e política do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Nacional, 1971.

GOLDEMBERG, J. Energy choices toward a sustainable future. **Environment**, v. 49, n. 10, pp. 7-17, dez. 2007.

GUJARATI, D. N.; PORTER, C. **Econometria Básica**. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

HAMILTON, J. **Time series analysis**. New Jersey: Princetor University Press, 1994.

HARROD, R. F. An Essay in Dynamic Theory. **The Economic Journal**, v. 49, n. 193, p. 14-33, 1939.

JOHNSTON, J.; DINARDO, J. **Econometric methods**. 4 ed. [S.L.]: McGraw-Hill, 1997. 531 p.

KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P. C.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. How sure are we that economic time series have a unit root? **Journal of Econometrics**, 44, 1992.

- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia científica**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- MALUF, R. S. Atribuindo sentidos(s) à noção de desenvolvimento econômico. **Revista Estudos, Sociedade e Agricultura**, v. 15, p. 53-86, 2000.
- MICHEL, M. H. **Metodologia e Pesquisa Científica em Ciências Sociais**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2015.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: Blucher, 2004.
- NEVES, C.; ROSSI, J. W. **Econometria e séries temporais com aplicações à dados da economia brasileira**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- NGUYEN, H. T. Exports, imports, FDI and economic growth. **Discussion papers in economics. Working paper**, n. 11-03, p. 1-47, 2011.
- OLIVEIRA, G.B. Uma discussão sobre o conceito de desenvolvimento. **Revista da FAE**, v. 5, n. 2, p. 37-48, 2002.
- PALMEIRA, E. M. Desenvolvimento e crescimento econômico: uma revisão teórica. **Ideação – Revista do Centro de Educação e Letras**, v. 12, n. 1, p.21-33, 2010.
- PAYNE, J. E. On the dynamics of energy consumption and output in the US. **Applied Energy**, [s.l.], v. 86, n. 4, p.575-577, abr. 2009.DOI: 10.1016/j.apenergy.2008.07.003.
- PAO, H.; FU, H. Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 25, p. 381-392, set. 2013. DOI: 10.1016/j.rser.2013.05.004.
- PHILLIPS, P. C. B.; PERRON, P. Testing for a unit root in time series regression. **Biometrika**, v. 75, n. 3, p. 335-346, 1988.
- PREBISCH, R. (1949) El desarrollo económico de la América Latina y algunos de sus principales problemas. In: GURRIERI, A. **La obra de Prebisch en la Cepal**. México: Fondo de Cultura Económica, 1982.
- REIS, L. B. **Geração de Energia Elétrica**. 2ª ed. Barueri: Manole, 2011.
- REIS, L. B.; SANTOS, E. C. **Energia Elétrica e Sustentabilidade: Aspectos Tecnológicos, Socioambientais e Legais**. 2ª ed. Barueri: Manole, 2014.
- ROCHA, F. J. S.; BRILHANTE, A. A. **Introdução à metodologia de vetor autorregressivo (var): teoria e aplicação**. 1 ed. São Paulo: Iglu, 2015. 69 p.
- RONDINELLI, F.; SILVA, P. M. Avaliação da matriz elétrica brasileira com foco em aspectos econômicos, ambientais e sociais. **Ampliando Revista Científica da Facerb**, v. 2, n. 2, p. 06-22, 2015.

SENNA, V. **A relação dos gastos em programas de assistência social com as variáveis macroeconômicas brasileiras**. 2015. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

SILVA, S. S. F. et al. Complementaridade Hidro Eólica: desafios e perspectivas para o planejamento energético nacional. **HOLOS**, v. 6, n. 31, 2015.

SIMS, C. Macroeconomics and Reality. **Econometrica**. v. 48 (1): 1–48, 1980.

SOUZA, F. M. **Modelos de previsão**: aplicações à energia elétrica - ARIMA - ARCH - AI e ACP. 1 ed. Curitiba: Appris, 2016. 229 p.

YILDIRIM, E.; SARAÇ, S.; ASLAN, A. Energy consumption and economic growth in the USA: Evidence from renewable energy. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 16, n. 9, p. 6770-6774, dez. 2012. DOI: 10.1016/j.rser.2012.09.004.

5 CONCLUSÃO

Quanto aos objetivos deste estudo os mesmos foram alcançados satisfatoriamente, pois foi possível verificar a existência de relação entre a capacidade instalada para geração de energia elétrica e o crescimento econômico no Brasil.

Por meio da análise descritiva constatou-se que há uma tendência de crescimento da participação das fontes de energia renováveis na matriz elétrica brasileira, e uma redução de fontes como energia nuclear e gás natural.

Os resultados dessa pesquisa possibilitam afirmar que a geração de energia elétrica, no Brasil, por fontes renováveis exerce um impacto positivo sobre o crescimento econômico do país pois, por meio dos resultados do teste de causalidade de Granger, verificou-se relações diretas de causalidade entre emprego e biomassa, emprego e energia nuclear, salário mínimo e energia eólica, exportações e biomassa, salário mínimo e energia hidroelétrica, salário mínimo e energia solar, PIB e biomassa.

Por meio das ferramentas analíticas, Função Impulso Resposta e Decomposição da Variância, foi possível observar que a capacidade instalada para geração de energia elétrica exerce influência sobre as variáveis macroeconômicas, quando aplicado um choque positivo de dois desvios padrões nos resíduos do modelo. Ainda, conforme a decomposição da variância, foi possível verificar que a variância do emprego é explicada pelas fontes renováveis, hidroelétrica em 7,71%, biomassa em 1,99%, pela energia eólica em 3,13% e pela energia solar em 10,58%.

A variância do PIB é explicada em 3,15% pela energia hidroelétrica, em 0,06% pela biomassa, em 1,70% pela energia eólica e em 17,38% pela energia solar. A variância da exportação é explicada pelas fontes renováveis hidroelétrica em 2,48%, pela biomassa em 0,39%, pela energia eólica em 2,34% e pela energia solar em 17,58%. Por fim, a variância do salário mínimo é explicada pela energia hidroelétrica em 1,48%, pela biomassa em 5,09%, pela energia eólica em 9,09% e pela energia solar em 10,67%.

O uso da modelagem VAR foi eficiente para verificar as inter-relações entre as variáveis analisadas nesta pesquisa, porém algumas limitações como o tamanho da amostra e as características de estacionariedade de algumas das variáveis, apresentaram-se como motivação para o desenvolvimento de outros estudos com novas abordagens acerca do tema discutido. Assim, para futuras pesquisas serão abordados novos tratamentos para as variáveis com outras técnicas estatísticas de

análise de séries temporais, bem como a inclusão de outras variáveis que possam contribuir para o aperfeiçoamento do modelo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002.

AL-MULALI, U.; FERREIDOUNI, H. G.; LEE, J. Y.m. Electricity consumption from renewable and non-renewable sources and economic growth: Evidence from Latin American countries. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 30, p. 290-298, fev. 2014. DOI:10.1016/j.rser.2013.10.006.

AL-MULALI, U. et al. Examining the bi-directional long run relationship between renewable energy consumption and GDP grow. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 22, p.209-222, jun. 2013.DOI: 10.1016/j.rser.2013.02.005.

ANTONAKAKIS, N.; CHATZIANTHIOU, I.; FILIS, G. Energy Consumption, CO2 Emissions, and Economic Growth: A Moral Dilemma. **MPRA Paper**, n. 67422. 2015. Disponível em: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/67422/>. Acesso em: 18 abr. 2016.

APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Renewable and non-renewable energy consumption-growth nexus: Evidence from a panel error correction model. **Energy Economics**, [s.l.], v. 34, n. 3, p.733-738, maio 2012. DOI:10.1016/j.eneco.2011.04.007.

APERGIS, N.; PAYNE, J. E. The renewable energy consumption-growth nexus in Central America. **Applied Energy**, [s.l.], v. 88, n. 1, p. 343-347, jan. 2011(a). DOI: 10.1016/j.apenergy.2010.07.013.

APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Renewable and non-renewable electricity consumption-growth nexus: Evidence from emerging market economies. **Applied Energy**, [s.l.], v. 88, n. 12, p. 5226-5230, dez. 2011(b). DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.06.041.

APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Renewable energy consumption and growth in Eurasia.**Energy Economics**, [s.l.], v. 32, n. 6, p.1392-1397. nov. 2010(a). DOI: 10.1016/j.eneco.2010.06.001.

APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Renewable energy consumption and economic growth: evidence from a panel of OECD countries. **Energy Policy**, [s.l.], v. 38, n. 1, p. 656-660, jan. 2010(b). DOI: 10.1016/j.enpol.2009.09.002.

APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da Ciência**: Filosofia e prática da pesquisa. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

BERMANN, C. Crise ambiental e as energias renováveis. **Ciência e Cultura**. [online], v. 60, n. 3, p. 20-29, 2008.

BILDIRICI, M. E. Relationship between biomass energy and economic growth in transition countries: panel ARDL approach. **Gcb Bioenergy**, [s.l.], v. 6, n. 6, p. 717-726, 7 mar. 2014. DOI: 10.1111/gcbb.12092.

BILDIRICI, M. E. Economic growth and biomass energy. **Biomass And**

Bioenergy, [s.l.], v. 50, p.19-24, mar. 2013. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.09.055.

BILDIRICI, M. E.; OZAKSOY, F. The relationship between economic growth and biomass energy consumption in some European countries. **J. Renewable Sustainable Energy**, [s.l.], v. 5, n. 2, p.1-9, 2013. DOI: 10.1063/1.4802944.

BRASIL. Resolução Normativa nº 673, de 04 de agosto de 2015. Estabelece os requisitos e procedimentos para a obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamento de potencial hidráulico com características de Pequena Central Hidrelétrica – PCH. **Resolução Aneel 673**. Brasília, DF, Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015673.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2016.

BRASIL. Lei 10.438, DE 26 DE ABRIL DE 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica. **Lei 10.438**. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm>. Acesso em: 11 mai. 2016.

BRASIL. Lei 10.762, DE 11 DE NOVEMBRO DE 2003. Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica. **Lei 10.762**. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.762.htm>. Acesso em: 11 mai. 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética Nacional 2030**. Brasília: MME/EPE, 2007. Disponível em:< <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/matriz-energetica-nacional-2030>>. Acesso em: 04 abr. 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020**. Brasília: MME/EPE, 2011. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/pdee/forms/epeestudo.aspx>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

BROOKS, C. **Introductory econometrics for finance**. 2 ed. [S.L.]: Cambridge University Press, 2008. 674 p.

BUENO, R. L. S. **Econometria de Séries Temporais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P.A. **Metodologia Científica**. 5ª ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

COSTA, F. J. P.; RODRIGUES, M. G. Energia, Meio Ambiente e Inovação Tecnológica. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 1, n. 2, p. 15-26, 2015.

CHIEN, T.; HU, J. Renewable energy: An efficient mechanism to improve GDP. **Energy Policy**, [s.l.], v. 36, n. 8, p. 3045-3052, ago. 2008. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.04.012.

CUNHA, C. A.; SCALCO, P. R. Crescimento econômico brasileiro e emissão de CO₂. **Redes**, v. 18, n. 2, p. 214–230, 2013.

DICKEY, D. A. Power of Unit Root Tests. Proceedings of business and economic statistics Sections. **American Statistical Assn.** v. 74, 489-493, 1984.

DOMAR, E. D. Capital Expansion, Rate of Growth, and Employment. **Econometrica**, v. 14, n. 2, p. 137-147. 1946.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional 2015**: Ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. 2 ed. Nova York: John Wiley and Sons, 2004.

FADIGAS, E. A. F. A. **Energia Eólica**. Barueri: Manole, 2011.

FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, v. 12, n. 17, p. 07-16, 2011.

FREITAS, G. S.; DATHEIN, R. As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. **Revista Nexos Econômicos**, v. 7, n. 1, p. 71-93, 2013.

FURTADO, C. **Teoria e política do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Nacional, 1971.

GOLDEMBERG, J. O estado atual do setor elétrico brasileiro. **Revista USP**, v. 1, p. 39-44, 2015.

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. Política energética no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 55, 2005.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, 2007.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: EDUSP, 2003.

GUJARATI, D. N.; PORTER, C. **Econometria Básica**. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

HAMILTON, J. **Time series analysis**. New Jersey: Princeton University Press, 1994.

HARROD, R. F. An Essay in Dynamic Theory. **The Economic Journal**, v. 49, n. 193, p. 14-33, 1939.

HILL, C.; JUDGE, G. G.; GRIFFITHS, W. E. **Econometria**. 3ª ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Ibge**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: 4 mar. 2016

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Ipea Data**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>> Acesso em: 4 mar. 2016.

JOHNSTON, J.; DINARDO, J. **Econometric methods**. 4 ed. [S.L.]: McGraw-Hill, 1997. 531 p.

KEMERICH, P. D. C. et al. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 241-247, 2016.

KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P. C.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. How sure are we that economic time series have a unit root? **Journal of Econometrics**, 44, 1992.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia científica**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2011.

LIMA, R. A. A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: uma análise no cenário da mudança do clima. **Revista Eletrônica Direito E-nergia**, v. 5, 2012.

MALUF, R. S. Atribuindo sentidos(s) à noção de desenvolvimento econômico. **Revista Estudos, Sociedade e Agricultura**, v. 15, p. 53-86, 2000.

MANZANO-AGUGLIARO, F. et al. Scientific production of renewable energies world wide: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 18, n.10, p.134-143, 2013. DOI: 10.1016/j.rser.2012.10.020.

MBAREK, M. B.; ABDELKAFI, I.; FEKI, R. Nonlinear Causality Between Renewable Energy, Economic Growth, and Unemployment: Evidence from Tunisia. **J Knowl Econ**, [s.l.], v. p.1-9, 2 fev. 2016. DOI: 10.1007/s13132-016-0357-9.

MENEGAKI, A. N. Growth and renewable energy in Europe: A random effect model with evidence for neutrality hypothesis. **Energy Economics**, [s.l.], v. 33, n. 2, p. 257-263, mar. 2011. DOI: 10.1016/j.eneco.2010.10.004

MICHEL, M. H. **Metodologia e Pesquisa Científica em Ciências Sociais**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **MME**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>> Acesso em: 4 mar. 2016

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: Blucher, 2004.

NEVES, C.; ROSSI, J. W. **Econometria e séries temporais com aplicações à dados da economia brasileira**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

OLIVEIRA, G.B. Uma discussão sobre o conceito de desenvolvimento. **Revista da FAE**, v. 5, n. 2, p. 37-48, 2002.

OZTURK, I.; BILGILI, F. Economic growth and biomass consumption nexus: Dynamic panel analysis for Sub-Sahara African countries. **Applied Energy**, [s.l.], v. 137, p.110-116, jan. 2015. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.10.017.

PALMEIRA, E. M. Desenvolvimento e crescimento econômico: uma revisão teórica. **Ideação – Revista do Centro de Educação e Letras**, v. 12, n. 1, p.21-33, 2010.

PAYNE, J. E. On the dynamics of energy consumption and output in the US. **Applied Energy**, [s.l.], v. 86, n. 4, p.575-577, abr. 2009.DOI: 10.1016/j.apenergy.2008.07.003.

PAO, H.; FU, H. Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 25, p. 381-392, set. 2013. DOI: 10.1016/j.rser.2013.05.004.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PHILLIPS, P. C. B.; PERRON, P. Testing for a unit root in time series regression. **Biometrika**, v. 75, n. 3, p. 335-346, 1988.

PINTO, M. O. **Energia Elétrica - Geração, Transmissão e Sistemas Interligados**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

PREBISCH, R. (1949) El desarrollo económico de la América Latina y algunos de sus principales problemas. In: GURRIERI, A. **La obra de Prebisch en la Cepal**. México: Fondo de Cultura Económica, 1982.

RAMSER, C. A. S. **Análise das principais commodities minerais brasileiras**. 2016. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

REIS, L. B. **Geração de Energia Elétrica**. 2ª ed. Barueri: Manole, 2011.

REIS, L. B.; SANTOS, E. C. **Energia Elétrica e Sustentabilidade: Aspectos Tecnológicos, Socioambientais e Legais**. 2ª ed. Barueri: Manole, 2014.

ROCHA, F. J. S.; BRILHANTE, A. A. **Introdução à metodologia de vetor autorregressivo (var): teoria e aplicação**. 1 ed. São Paulo: Iglu, 2015. 69 p.

RONDINELLI, F.; SILVA, P. M. Avaliação da matriz elétrica brasileira com foco em aspectos econômicos, ambientais e sociais. **Ampliando Revista Científica da Facerb**, v. 2, n. 2, p. 06-22, 2015.

SACHS, I. A Revolução Energética do Século XXI. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 21-38, 2007.

SADORSKY, P. Renewable energy consumption and income in emerging economies. **Energy Policy**, [s.l.], v. 37, n. 10, p. 4021-4028, out. 2009. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.05.003.

SENNA, V. **A relação dos gastos em programas de assistência social com as variáveis macroeconômicas brasileiras**. 2015. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

SILVA, S. S. F. et al. Complementaridade Hidro Eólica: desafios e perspectivas para o planejamento energético nacional. **HOLOS**, v. 6, n. 31, 2015.

SIMS, C. Macroeconomics and Reality. **Econometrica**. v. 48 (1): 1–48, 1980.

SOUZA, F. M. **Modelos de previsão: aplicações à energia elétrica - ARIMA - ARCH - AI e ACP**. 1 ed. Curitiba: Appris, 2016. 229 p.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos-CEBRAP**, n. 79, p. 47-69, 2007.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamentos do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 247-260, 2012.

YILDIRIM, E.; SARAÇ, S.; ASLAN, A. Energy consumption and economic growth in the USA: Evidence from renewable energy. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 16, n. 9, p. 6770-6774, dez. 2012. DOI: 10.1016/j.rser.2012.09.004.